

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС»**

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»

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор

Кубрин Сергей Сергеевич

Москва – 2021

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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, чтобы 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 (груженного и порожнем) 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 наблюденными;
- 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 карьерауправление» 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;
- Международный симпозиум «Неделя горняка – 2020» Москва, НИТУ «МИСиС», 2020;
- IV Конференция международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр», Москва, ИПКОН РАН, 2020;
- Международный симпозиум «Неделя горняка – 2021» Москва, НИТУ «МИСиС», 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 карьерауправление» 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе анализируются существующие системы планирования работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в условиях сильно пересеченного рельефа местности, с учетом покрытия дорог, осложненных особенностями климата, заключающимися в продолжительном сезоне дождей, характерном для угольных месторождений Республики Союз Мьянма. Рассмотрены условия ведения горных работ и факторы, влияющие на транспортировку угля.

Месторождение «Шве Таунг» находится на северо-западе в горной местности Республики Союз Мьянма. Разработка месторождения ведется тремя участками открытых горных работ. Добытый уголь поставляется на цементный завод «Апачи», единственный в северо-западном регионе страны. Завод работает в круглосуточном режиме. При этом для технологического процесса при производстве цемента необходим уголь. Вынутый экскаваторами 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 в плане общее количество будет увеличено до 7 и более). Со складов в речном порту, уголь грузят на суда (самоходные баржи), которые по реке Чиндуинг доставляют его на цементный завод. Работы по добыче угля и его транспортировке зависят от климатических условий. В сезон дождей работа не осуществляется. После сезона дождей дороги частично размыты, что ведет ежегодно к изменению маршрутов (рис. 1, 2). Транспортное обеспечение работы угольного разреза зависит от

многих факторов. К ним относятся структура автомобильного парка, объем перевозок, инфраструктура угольного производства и т.д. Разработка метода управления карьерного автомобильного транспорта в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности является важной задачей для развития Республики Союз Мьянма.

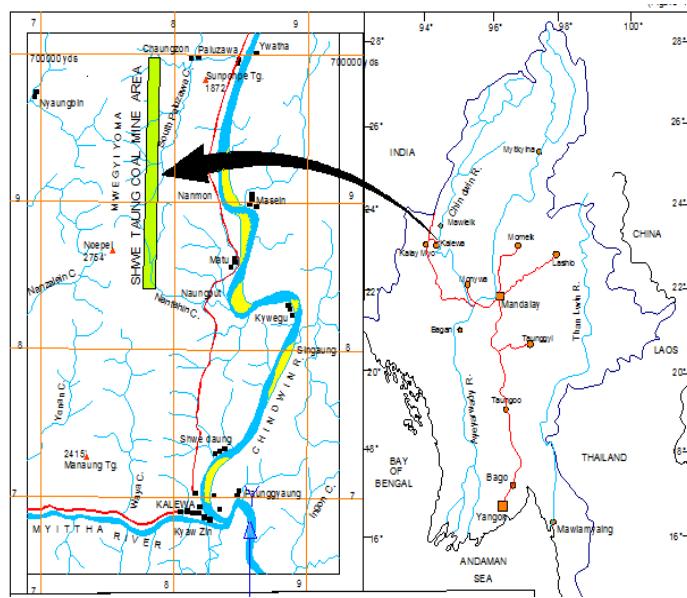


Рисунок 1 – Карта местонахождения угольного месторождения «Шве Таунг»

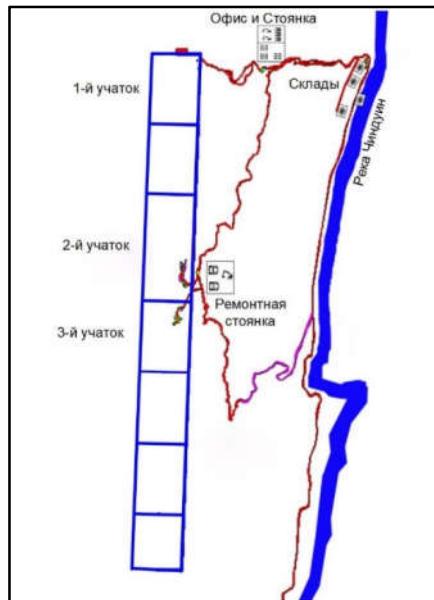


Рисунок 2 – Схема размещения участков, складов и маршрутов транспортировки угля месторождения «Шве Таунг»

Во второй главе диссертационной работы исследуются возможности использования теоретических основ и методов математического моделирования

организационно-технологических систем планирования работы карьерного автомобильного транспорта. Разработана методика определения удельного расхода топлива для карьерного автотранспорта при его движении в зависимости от профиля и покрытия участков дорог. Созданы алгоритм определения времени для карьерного автотранспорта при его движении с учетом уклонов и алгоритм выбора количества резервных автосамосвалов с учетом периодического технического обслуживания.

Для конкретного автосамосвала Scania P420 8×4 по данным производителя на основе паспортных диаграмм движения с грузом и порожнем (рис. 3) определены тяговое усилие двигателя и скорость на подъемах с разными уклонами (табл. 1).

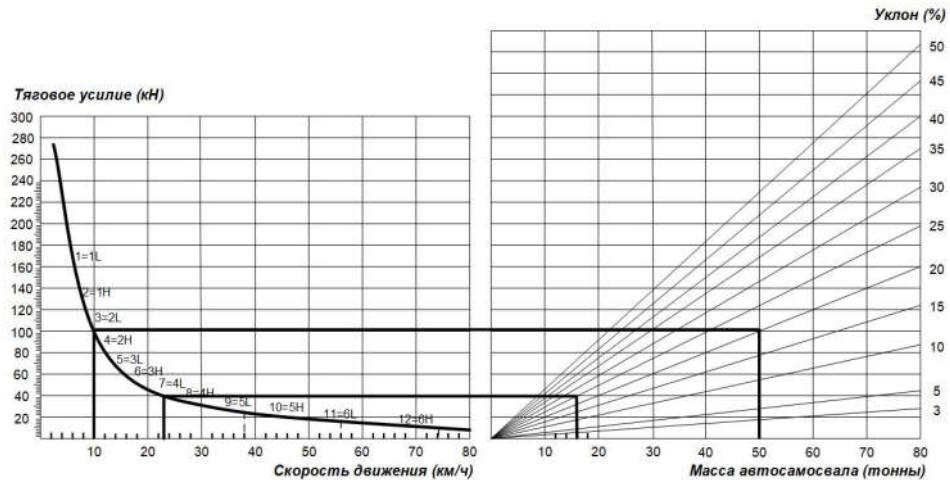


Рисунок 3 – Тяговая диаграмма автосамосвала

Таблица 1 – 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

Произведена аппроксимация тягового усилия гиперболой:

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

где a, b, c – искомые коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов и вычисляемые из системы уравнений:

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

в виде:

$$f(x) = -\frac{10,36}{x^2} + \frac{164,42}{x} + 1,43, \quad (3)$$

или, в соответствии с выражением (1):

$$v = -\frac{10,36}{a^2} + \frac{164,42}{a} + 1,43. \quad (4)$$

и графика (рис. 4).

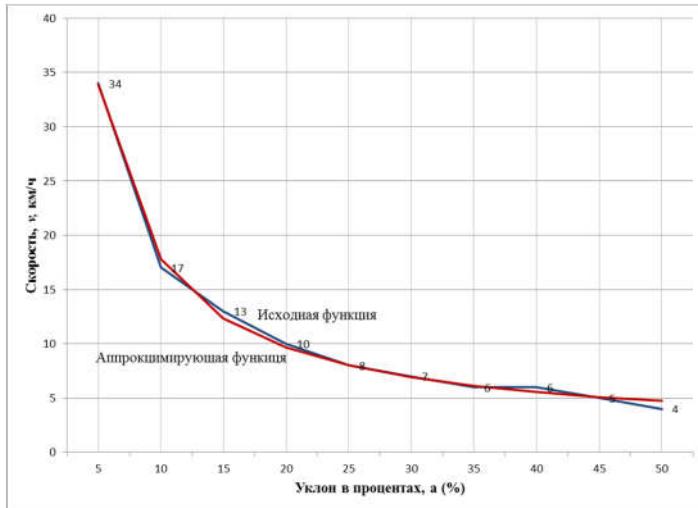


Рисунок 4 – График зависимости скорости от уклона при движении с полной массой автосамосвала

Аналогично вычисляются аппроксимации функций остальных зависимостей. Мощность двигателя рассчитывается по формуле:

$$N_e = T \cdot v \quad (5)$$

где N_e – мощность двигателя, кВт;

T – тяговое усилие, кН;

v – скорость движения автосамосвала, км/ч.

С учетом расчета мощности двигателя, вычисляется удельный расход топлива (рис. 5). На основе полученных зависимостей разработан алгоритм определения удельного расхода топлива (рис. 6).

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

$$v = \frac{l_a}{t_{\pi}} \quad (6)$$

$$t_{\pi} = \frac{l_a}{v} \quad (7)$$

где: t_{π} – время в пути, с;

l_a – протяженность уклонов, м;

v – скорость, м/с.

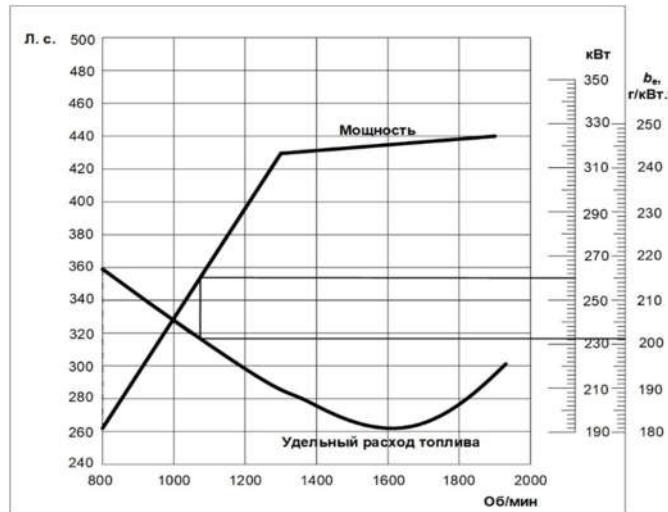


Рисунок 5 – График зависимости мощности и удельного расхода топлива от оборотов в минуту

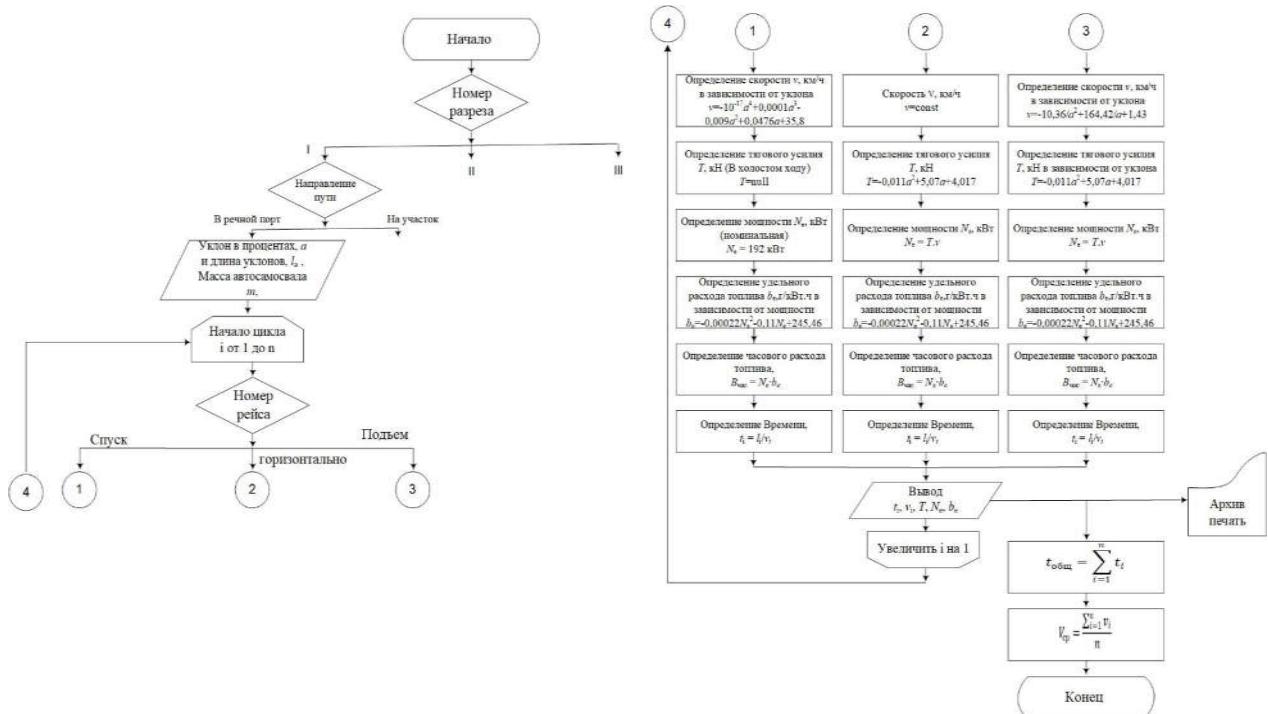


Рисунок 6 – Алгоритм определения удельного расхода топлива и времени на маршрутах для перевозки угля

Время погрузки определяется по формуле:

$$t_{\Pi} = t_{\text{Ц}} \times n_k \quad (8)$$

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

n_k – число ковшей, загружаемых в кузов, которое определяется по формуле:

$$n_k = \frac{\Gamma \times K_{разр}}{V_k \times \rho \times K_{нк}} \quad (9)$$

где: Γ – грузоподъемность автосамосвала = 34 тонны;

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

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

V_k – объем ковша экскаватора = 2,5 м³;

ρ – плотность угля = 1,5 т/м³.

Рассчитывается время одного рейса транспортирования угля автосамосвалами по формуле:

$$t_{об} = t_o + t_n + t_p + t_{ожп} + t_{уп} + t_{yp} \quad (10)$$

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_{up} — норматив времени установка под погрузку, 0,7 мин;

t_{yp} — норматив времени установка под разгрузку, 0,6 мин;

Для планирования работ создан алгоритм расчета объемов и времени транспортировки угля (рис. 7).

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

Третья глава диссертационной работы посвящена обработке результатов экспериментальных исследований, проведенных на месторождении «Шве Таунг», заключающиеся в определении зависимости расхода топлива от профиля дорог, технологических факторов с помощью регрессионного анализа.

Величина удельного расхода топлива зависит от многих факторов. К ним относятся величина уклона дороги (a %) текущая мощность (N_e , кВт) и скорость движения автомобиля (v , км/ч), тяговое усилие (T , кН), масса машины с грузом (m , кг) и др. Наиболее существенны перечисленные выше пять факторов. На первом этапе необходимо определить вид зависимости:

$$b_e = f(a, v, T, N_e, m) \quad (11)$$

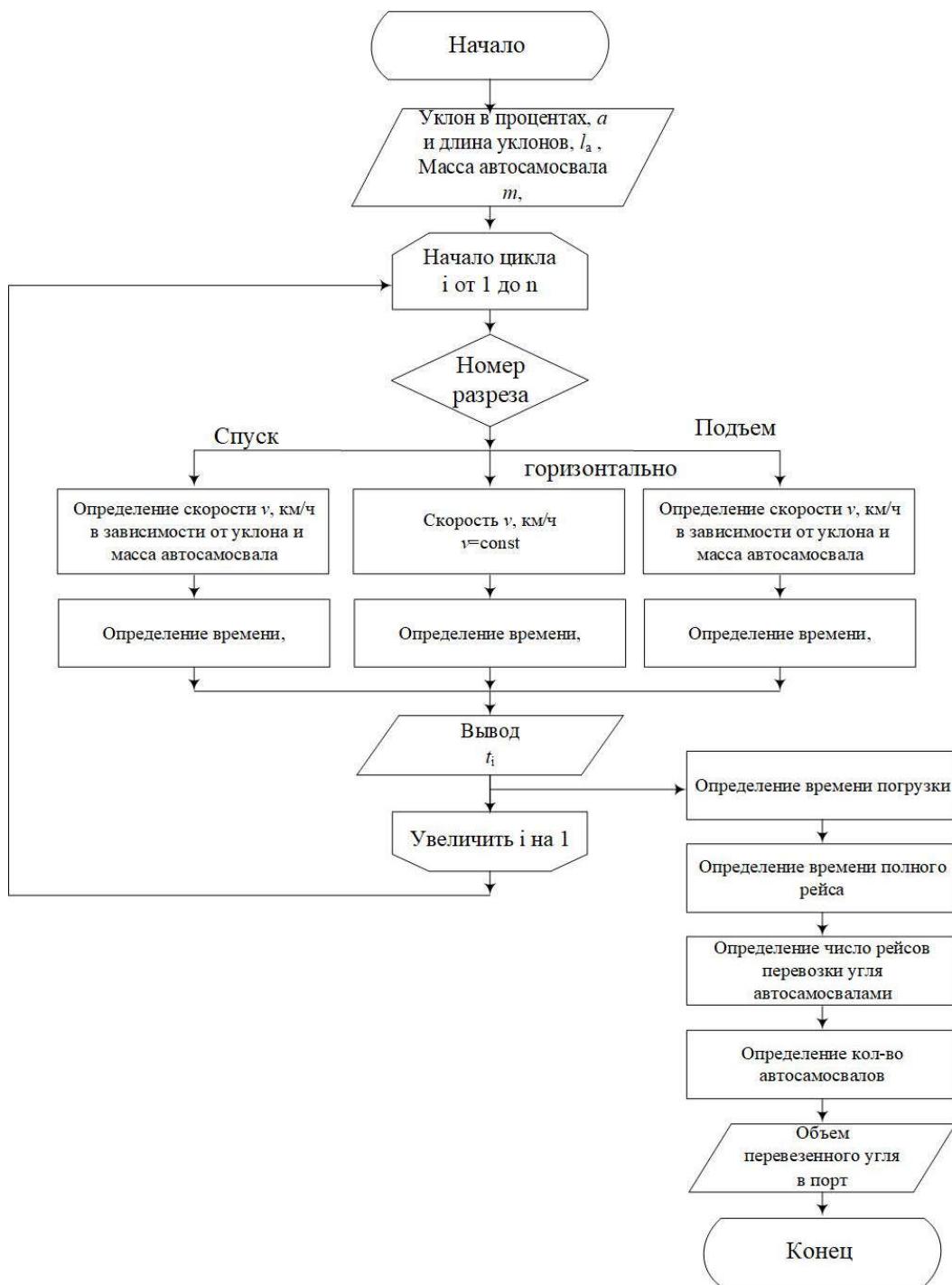


Рисунок 7 – Алгоритм планирования заполнения пространственно разнесённых складов угля для обеспечения непрерывности технологического процесса конечного потребителя полезного ископаемого

По результатам полученных в ходе эксперимента статистических данных при транспортировке угля с месторождения в порт были сформированы таблицы для определения зависимости расхода топлива от выбранных влияющих

параметров. Существующие зависимости не учитывают специфические условия ведения горных работ (горный рельеф, грунтовое покрытие и климатические условия) в Республике Союз Мьянма.

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 (табл. 2). Из них число оборотов - вспомогательный параметр. 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 (табл. 3).

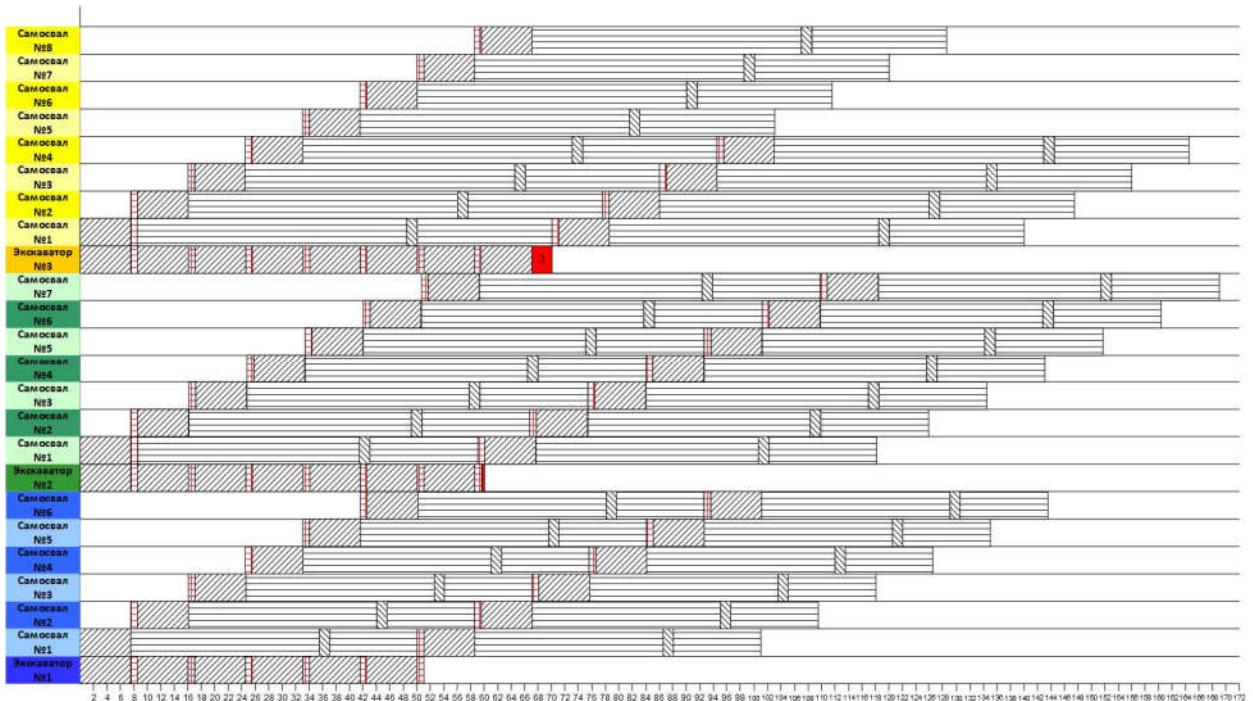


Рисунок 8 – График работы автомобильного транспорта для перевозки угля месторождения «Шве Таунг»

Данные обрабатывалась с помощью программных пакетов «Statgraphics Plus 5.0» и «Statistica 8.0». В результате расход топлива определяется соотношением (12) (рис. 10). Максимальная погрешность аппроксимации экспериментальных значений на всем исследуемом диапазоне не превышает 8,0%. Значения коэффициентов взаимной корреляции рассматриваемых

параметров (уклон дороги, текущая мощность, скорость движения, тяговое усилие и масса машины) представлены на рис. 9.

$$b_e = (146 v^{0,229} T^{1,319} r^{0,165}) / (a^{1,104} m^{1,096}) \quad (12)$$

Таблица 2 – Измеренные в ходе эксперимента 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)

Таблица 3 – Исходные данные (самосвал 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)
							Var7
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	-	-	-	-

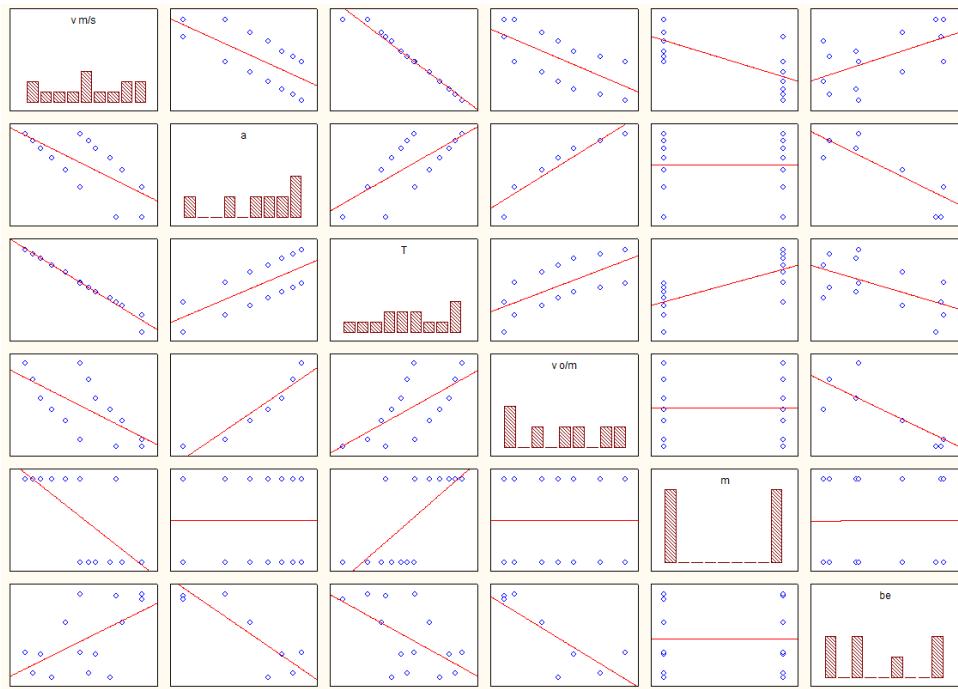


Рисунок 9 – Взаимные корреляции параметров табл. 3.

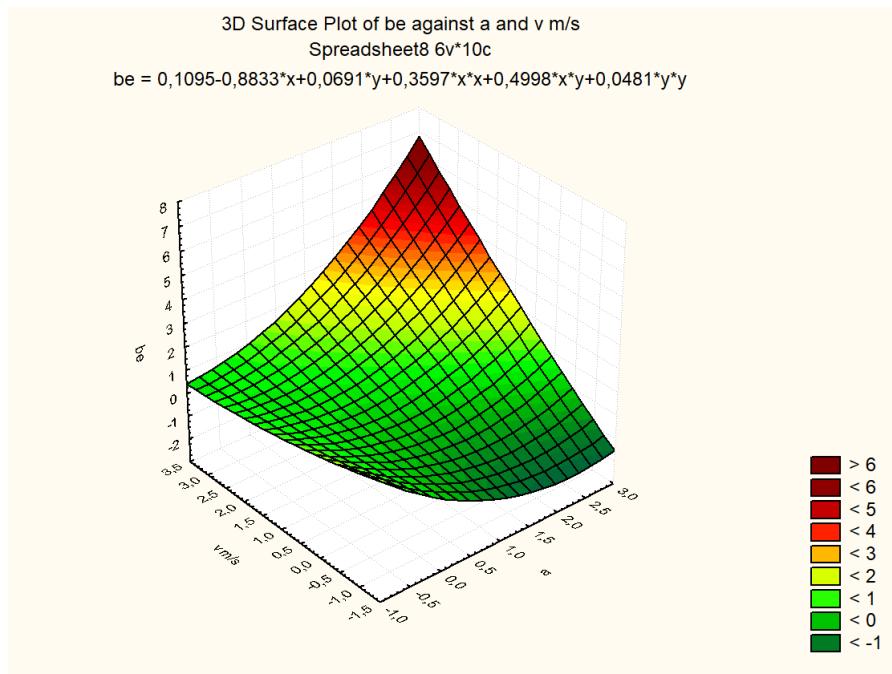


Рисунок 10 – Влияние уклона и скорости автосамосвала на расход топлива

Порядок распределения поступающего угля на склады в порту представлен на рисунке 11. 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, одинаковый на всём протяжении года.

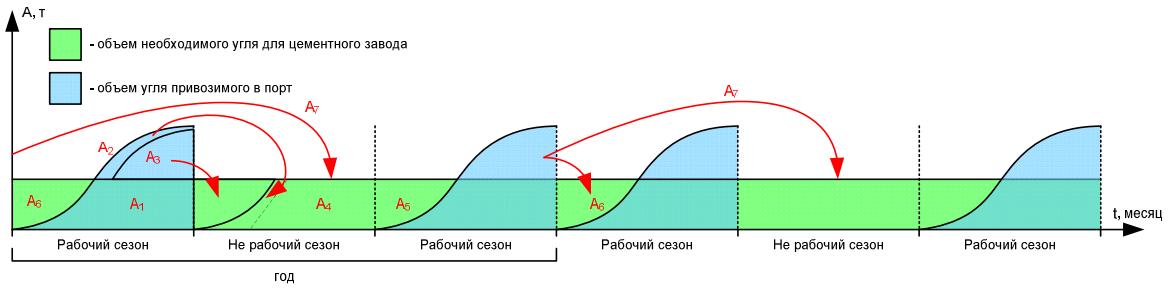


Рисунок 11 – Распределение поступающего угля на склады

Для бесперебойной поставки угля на цементный завод необходимо, чтобы первоначально избыточные объемы угля ($A_2 + A_3 + A_7$) покрывали необходимое в будущий нерабочий сезон. На основе данных эксперимента определена зависимость скорости от уклона участка дороги и массы самосвала (13) с помощью которой определены кинематические параметры движения автомобилей на подъемах и спусках (рис. 12).

$$v = 653,93 / (a^{0,328} m^{0,832}) \quad (13)$$

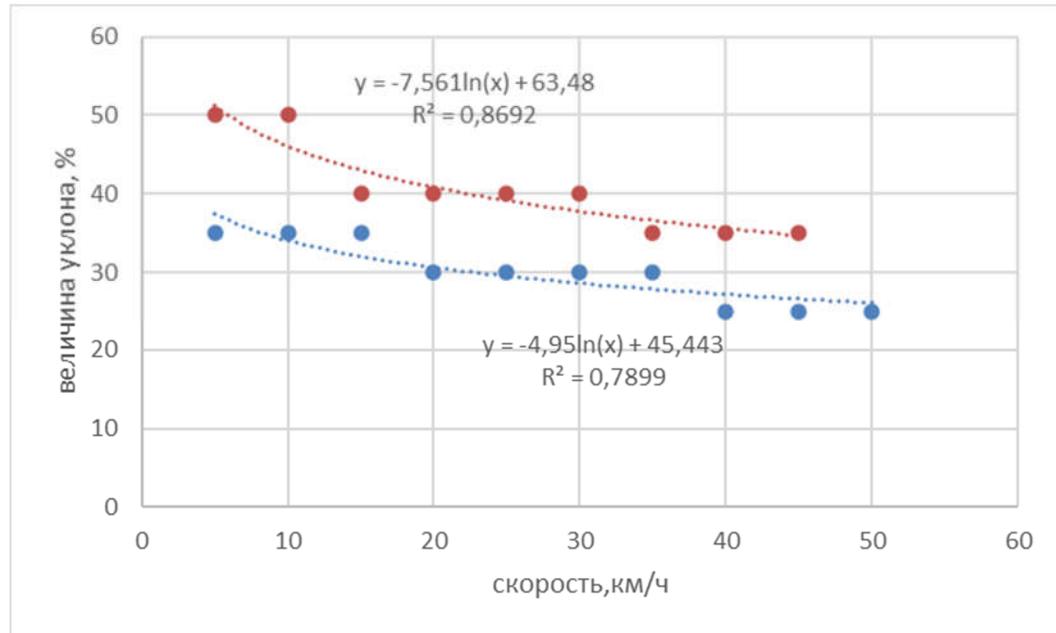


Рисунок 12 – Графики зависимости скорости автосамосвала от уклона автодороги (груженного – красные точки и порожнего – синие точки)

Система управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности относится к системам оперативного, среднесрочного управления транспортом и используется для расчета производственной программы. Её место в интегрированной среде управления работой месторождения «Шве Таунг» показано на рисунке 13.

Информационная составляющая системы, обеспечивающая сбор данных об объемах угля на складах в порту и на складе цементного завода работает постоянно.



Рисунок 13. Схема интегрированной среды управления работой месторождения «Шве Таунг»

Расчетная часть системы работает периодически при необходимости определения режимов работы автосамосвалов в начале сезона и при изменении количества исправных автомашин в связи с поломкой или починкой. Последовательность выполнения расчета по определению режимов работы автосамосвалов в виде алгоритма представлена на рисунке. 14

Заключение

В диссертации дано решение научной задачи управления карьерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности, обусловленной необходимостью освоения удаленных территорий, обеспечивающей равномерность горных работ и бесперебойное снабжением углем потребителей.

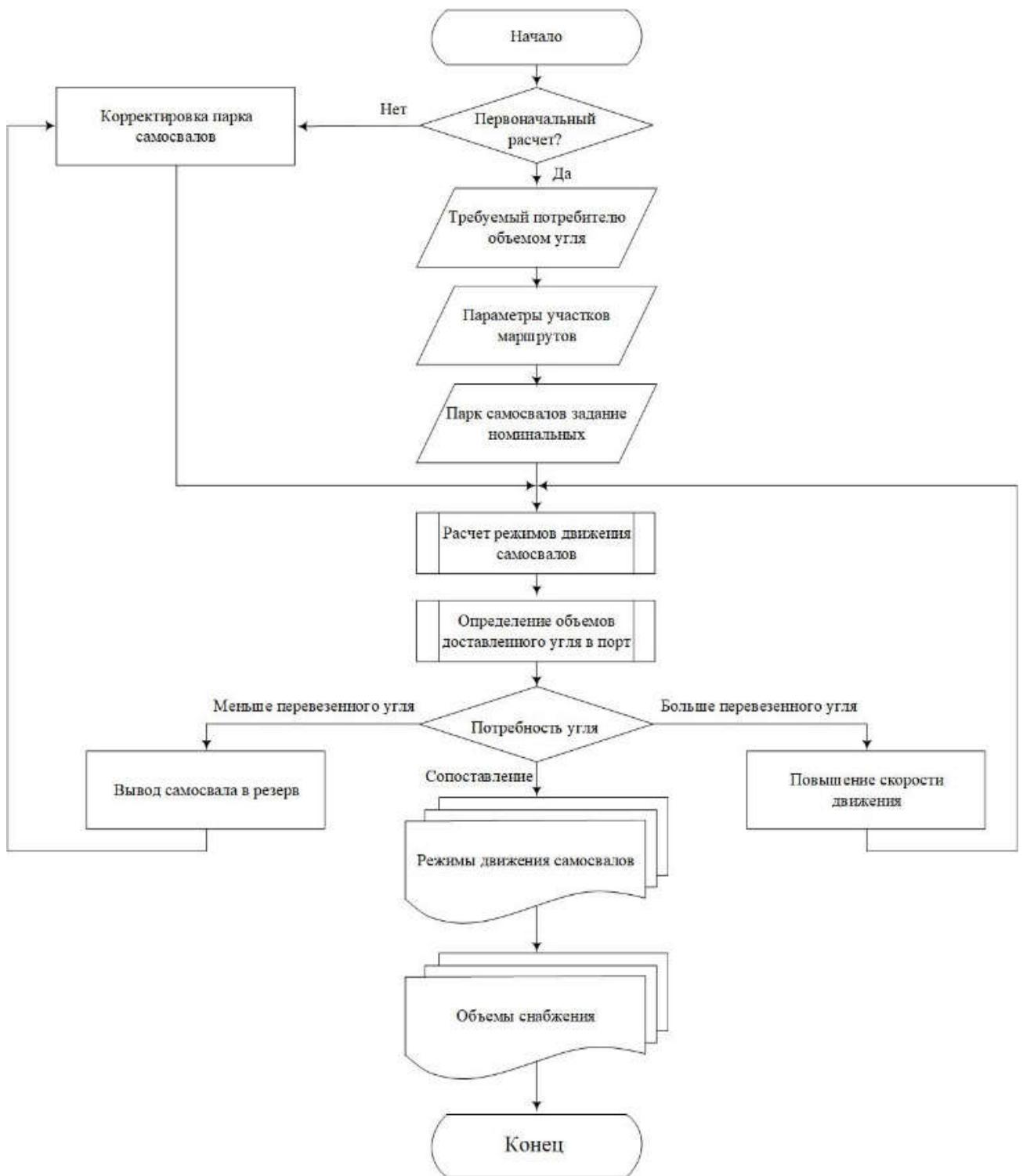


Рисунок 14 – Алгоритм обработки экспериментальных данных для решения прикладных задач при построении автоматизированных систем управления режимами работы автосамосвалов

В результате создана автоматизированная система управления технологическим процессом транспортного обеспечения углем в условиях сезонной транспортной недоступности, увязывающая совместную работу экскаваторов, автосамосвалов и речного транспорта, при погрузке и транспортировке угля в единую интегрированную систему управления и оперативного (среднесрочного) планирования параметров движения автосамосвалов, минимизирующую объемы снабжения материально-техническими ресурсами (топливом, расходными материалами, запчастями) и обеспечивающей бесперебойность работы потребителей угля.

Основные научные практические результаты работы заключаются в следующем:

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 профиля и климатических условиях.
3. Разработана математическая модель работы карьерного автомобильного транспорта для перевозки угля в сложных условиях местности, сезонной транспортной недоступности.
4. Создан алгоритм для планирования заполнения пространственно разнесённых складов угля для обеспечения непрерывности технологического процесса конечного потребителя полезного ископаемого.
5. Разработаны формализованные методы анализа, синтеза, исследования и параметризации элементов планирования и управления транспортными потоками для условий, районов, расположенных в высокогорье и не имеющих транспортную инфраструктуру.
6. Разработаны теоретические методы и алгоритмы обработки экспериментальных данных для решения прикладных задач при

построении автоматизированных систем управления режимами работы автосамосвалов с учетом их загрузки, уклона и состояния покрытия грунтовых дорог.

7. Получены зависимости для определения расхода топлива автосамосвалов от совокупного влияния разнородных факторов (профиля дорог, массы перевозимого угля, скорости движения, тягового усилия и оборотов двигателя), которые следует использовать при планировании работы транспорта на месторождениях, добывающих уголь открытым способом.
8. Разработана система управления картерным автомобильным транспортом в сложных условиях местности и сезонной транспортной недоступности месторождения «Шве Таунг»

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК России:

1. Сис Мье, Анализ состояния горнодобывающей промышленности Республики Союз Мьянма и оценка путей повышения уровня автоматизации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 213–218.
2. Сис Мье, Буй Чунг Кьен, Кубрин С.С.. Автоматизированная система определения моментов проведения взрывной отбойки и последующей транспортировки неравномерных потоков угля из очистных забоев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 11 (специальный выпуск 48). – С. 121–131.
3. Сис Мье, Кубрин С.С., Расчет графика движения автомобильного транспорта для оптимизации работы угольного месторождения «Шве Таунг» в сложных условиях рельефа // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр сборник трудов IV Конференция международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого, сб. – 2018. – С. 404–406.
4. Сис Мье, Оптимизация движения автомобильного транспорта для обеспечения ритмичной и эффективной работы участков открытых горных работ угольного месторождения «Шве Таунг» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5. – С. 146–156.