

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР
ЙЎЛЛАРИ» ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**На правах рукописи
УДК 629.424.023.11**

ЗОИРХОНОВ САИДХОН ТОЛИБ ЎГЛИ
(Фамилия, Имя, Отчество магистранта)

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ
РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ НА ХОЛМИСТОМ УЧАСТКЕ
ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ»**

(Тема магистерской диссертации)

по специальности

5А310603 - «Железнодорожный транспорт (Локомотивы)»

для получения степени магистра

ДИССЕРТАЦИЯ МАГИСТРА

Научный руководитель: доцент Абляимов О. С.,

к.т.н., с.н.с.

Ташкент – 2019

**«O‘ZBEKISTON TEMIR YO‘LLARI» AKSIYADORLIK JAMIYATI
TOSHKENT TEMIR YO‘L MUHANDISLARI INSTITUTI**

**qo‘lyozma xuquqida
UDK 629.424.023.11**

ZOIRXONOV SAIDXON TOLIB O‘GLI

**«TEMIR YO‘LNING TEPALIK UCHASTKALARIDA
LOKOMOTIV TORTUVIDAN FOYDALANISH
SAMARADORLIGINI TADQIQ KILISH»**

**5A310603 -«Temir yo‘l transporti (Lokomotivlar)» mutaxassisligi
buyicha magistr darajasini olish uchun**

Magisterlik dissertatsiyasi

**Ilmiy raxbar: dotsent Ablyalimov O. S.,
t.f.n., k.i.x.**

Toshkent – 2019

**JOINT - STOCK COMPANY «O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI»
THE TASHKENT INSTITUTE OF ENGINEERS OF THE RAILWAY
TRANSPORTATION**

**As the manuscript
UDC 629.424.023.11**

ZOIRKHONOV SAIDKHON TOLIB O'GLI

**«INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF LOKOMOTIVES
TRANSPORTATION WORK ON THE HILLY DIRECTION OF THE
RAILWAY»**

On a speciality

5A310603 - «The Railway transport (Lokomotives)»

For reception of degree of the master

THE DISSERTATION OF THE MASTER

**Scientific the head: docent Ablyalimov O. S.,
c.t.d., c.s.w.**

Tashkent – 2019

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ»
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

Факультет «Эл. Механика»
Кафедра «Локомотивы и л/х»
Учебный год 2017-2019

Студент магистратуры: Зоирхонов С. Т.
Научн. рук.: доцент Абляимов О. С.
Специальность: 5А310603 «Железнодорожный транспорт (Локомотивы)»

АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Объектом исследования являются магистральные трёхсекционные локомотивы - электровозы серии ЗВЛ80^С и тепловозы ЗТЭ10М, U_нTE16MЗ, а также виртуальный холмистый участок железной дороги.

Предмет исследования - основные показатели перевозочной работы локомотивов электрической и дизельной тяги, и обоснование топливно - энергетической эффективности использования разных видов локомотивной тяги на заданном виртуальном холмистом участке железнодорожного пути.

Сформулирована задача по исследованию процесса движения грузовых поездов с учётом критерия эффективности, опираясь на которые предложен алгоритм реализации упомянутой выше задачи для реальных условий эксплуатации тягового подвижного состава АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Разработаны и реализованы модели расчёта движения грузового поезда и методики определения параметров основных показателей перевозочной работы магистральных трёхсекционных электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов ЗТЭ10М, U_нTE16MЗ, а также предложены критерии оценки эффективности использования разных видов локомотивной тяги (серий локомотивов), которые позволяют анализировать перевозочный процесс и обосновывать параметры упомянутых показателей по их численным значениям.

Доказано преимущество электрической тяги над дизельной, а уменьшение (увеличение) общего и удельного расхода электрической энергии магистральными электровозами ЗВЛ80^С и натурального дизельного топлива поездными тепловозами ЗТЭ10М, U_нTE16MЗ на тягу поездов связано с увеличением (уменьшением) времени хода грузовых поездов на режимах холостого хода и торможения, и соответственно, с уменьшением (увеличением) механической работы сил, действующих на упомянутые поезда на режимах тяги.

Научный руководитель:
доцент кафедры «Локомотивы и л/х»

к.т.н., с.н.с.

Студент магистратуры:

Абляимов О. С.
Зоирхонов С.Т.

«O‘ZBEKISTON TEMIR YO‘LLARI» AKSIYADORLIK JAMIYATI
TOSHKENT TEMIR YO‘L MUHANDISLARI INSTITUTI

«El. mexanika» fakulteti
«Lokomotivlar va lokomotiv
xo‘jaligi» kafedrası
2017-2019 o‘quv yili

Magistratura talabasi: Zoirxonov S.T.
Ilmiy rahbar: dotsent Ablyalimov O.S
Mutaxassislik: 5A310603 - «Temir yo‘l.
transporti (Lokomotivlar)»

MAGISTERLIK DISSERTATSIYASIGA ANNOTATSIYASI

Tadqiqot ob‘ekti uch seksiyali magistral lokomotivlar - 3VL80^S va 3TE10M, UzTE16M3 hamda temir yo‘lning virtual tepalik qismi hisoblanadi.

Tadqiqot predmeti – elektrovoz va teplovoz tortishining asosiy ko‘rsatkichlari va temir yo‘lning berilgan virtual tepalik qismida lokomotivning turli xil tortishlaridan foydalangan holda yonilg‘i – energiya samaradorligini asoslash. «O‘zbekiston temir yo‘llari» aksiyadorlik jamiyati tortuv xarakat tizimidan real sharoitda foydalanish uchun yuqorida qayd etilgan masalani samaradorlikni hisobga olgan holda amalga oshirishga mo‘ljallangan algoritm taklif etilgan va yuk poezdlari xarakat jarayonini tadqiq etish bo‘yicha masala ko‘rib chiqilgan.

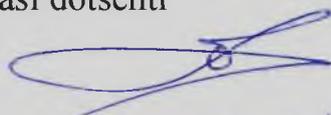
Uch seksiyali magistral teplovozlar 3TE10M, UzTE16M3 va 3VL80^S elektrovozining yuk tashish ishlarining asosiy ko‘rsatkich parametrlarini aniqlash metodikasi va yuk poezdining harakati xisoblab chiqildi va amalga oshirildi, shu bilan birga eslatib o‘tilgan ko‘rsatkichlar parametrlarini ularning sonli qiymatlari asosida tahlil qilinadigan lokomotivlarning turli hil tortishlarida samaradorlikni baxolash me‘zoni taklif etildi.

Elektr tortishi teplovoz tortishidan afzalligi isbotlandi 3VL80^S elektrovozi va magistral 3TE10M, UzTE16M3 teplovozlarining poezd tortishi uchun elektr energiyasining umumiy va solishtirma sarfi kamayishi (ko‘payishi) salt yurish va tormozlanish rejimlarida yurish vaqtining ortishi (kamayishi)ga va mexanik ishning ortishi (kamayishiga) bog‘liq.

Ilmiy rahbar:

«Lokomotivlar va l/x» kafedrası dotsenti

t.f.n., k.i.x.



Ablyalimov O. S.

Magistratura talabasi:



Zoirxonov S. T.

О т з ы в

на диссертационную работу магистранта Зоирхонова Саидхона Толиб угли «Исследование эффективности перевозочной работы локомотивов на холмистом участке железной дороги»

Диссертационная работа магистранта Зоирхонова С.Т. посвящена исследованию эффективности использования дизельной и электрической тяги при вождении грузовых поездов разной массы составов магистральными трёхсекционными (поездными) грузовыми локомотивами на виртуальном холмистом участке железной дороги.

Цель упомянутых исследований состоит в обосновании параметров основных показателей перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов ЗТЭ10М и *UzTE16M3*, а также разработке рекомендаций и мероприятий, связанных с повышением топливно - энергетической эффективности их использования на виртуальных и идентичных им, реальных, холмистых участках железнодорожных линий.

Магистерская диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 71 наименований. Общий объём – 125 страницы машинописного текста, 21 рисунок и 20 таблиц.

За время обучения в магистратуре и работы над своей диссертацией магистрант Зоирхонов С.Т. проявил себя только с наилучшей стороны, как весьма грамотный, целеустремлённый и сформировавшийся специалист - железнодорожник, способный самостоятельно решать поставленные перед ним задачи.

Для реализации сформулированной цели исследований магистрант Зоирхонов С.Т. провёл теоретические исследования по обоснованию кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров энергетических показателей эффективности электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов ЗТЭ10М, *UzTE16M3* на заданном виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, на котором движение грузовых поездов разной массы составов организовывалось с остановками и без остановок на промежуточных станциях.

Для выполнения поставленной цели магистрантом Зоирхоновым С.Т. были решены следующие задачи:

1. Выполнен обзор исследований по эффективности использования магистральных локомотивов в условиях эксплуатации и совершенствованию системы потребления топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

2. Обоснованы графические методы и принципы расчёта движения поезда, предназначенные для интегрирования дифференциального уравнения движения и позволяющие определять траектории, а также кинематические и динамические параметры движения на всех этапах управления.

3. Сформулирована задача по исследованию процесса движения поездов с учётом критерия эффективности и алгоритм её решения, опираясь на реальные условия организации эксплуатации дизельного и электрического тягового подвижного состава применительно к участкам узбекских железных дорог.

4. Разработаны и реализованы модели вождения грузовых поездов с разными массами составов, организованные магистральными трёхсекционными (поездными) грузовыми электровозами ЗВЛ80^С и тепловозами *UzTE16M3*, ЗТЭ10М на виртуальном холмистом участке железной дороги, и обоснована методика определения основных показателей эффективности этих локомотивов в условиях эксплуатации.

5. Установлены обобщающий критерий сравнения энергетической эффективности и параметры основных показателей использования электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3* и ЗТЭ10М на виртуальном холмистом участке железной дороги.

6. Получены параметры основных показателей эффективности использования электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3* и ЗТЭ10М, а также характер (графические зависимости) их изменения в зависимости от массы состава грузового поезда с учётом организации остановочного процесса на промежуточной и конечной станциях.

7. Предложены критерии оценки эффективности дизельной и электрической тяги в разнообразных условиях организации эксплуатации локомотивов.

8. Получены рекомендации по повышению эффективности перевозочной работы магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3* и ЗТЭ10М на виртуальном и идентичном ему холмистом участке железной дороги.

9. Разработаны и предложены рекомендации по дальнейшему совершенствованию перевозочного процесса в грузовом и пассажирском движении на железнодорожных участках АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Основные положения магистерской диссертации были доложены и получили одобрения на научных семинарах кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» электромеханического факультета (г. Ташкент, ТашИИТ, 2017...2019 годы); на XVI-й межвузовской научно – практической конференции студентов бакалавриата и магистратуры, стажёров – исследователей - соискателей «Молодой научный исследователь» (г. Ташкент, ТашИИТ, 2018 год); на Республиканской научно-технической конференции «Гармоничное развитие поколения – условие стабильного развития Республики Узбекистан» (г.Ташкент, 2018 год); на Международной научной конференции «Наука. Исследования. Практика» (г. Санкт - Петербург, 2018 год); на XIII-й Международной научно-практической конференции «Перспективы и развития науки в современном мире» (г. Уфа, 2018 год); на XVI-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки» (г. Томск, 2018 год); на XIII-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в науке и практике» (г. Самара, 2018 год).

По результатам выполненных исследований магистрантом Заирхоновым С. Т., опубликовано семь научных статей и ещё четыре статьи подготовлено к опубликованию.

Считаю, что диссертационная работа магистранта Зоирхонова Саидхона Толиб угли на тему: «Исследование перевозочной работы локомотивов на холмистом участке железной дороги» отвечает всем требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, имеет научный интерес и практическую значимость, а её автор Зоирхонова Саидхона Толиб угли заслуживает присвоения ему академической степени магистра по специальности 5А310603 - «Железнодорожный транспорт (Локомотивы)».

Научный руководитель:
доцент кафедры «Локомотивы и л/х»,
к.т.н., старший научный сотрудник



Абляимов О.С.

Рецензия

На диссертационную работу магистранта Зоирхонова Саидхона Толиб угли
«Исследование эффективности перевозочной работы локомотивов на холмистом
участке железной дороги»

Диссертационная работа магистранта Зоирхонова С.Т. посвящена проблеме повышения эффективности использования локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари», в которой он проводит исследования по изучению эффективности трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых локомотивов - электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов UzTE16M3, ЗТЭ10М при вождении грузовых поездов с различной массой составов и постоянным числом осей в составах на виртуальном холмистом участке железной дороги.

По структуре рецензируемая магистерская диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 71 наименований. Общий объём – 125 страницы машинописного текста, 21 рисунок и 20 таблиц.

Магистрантом Зоирхоновым С.Т. в результате проведённого анализа научно-технической литературы и нормативной документации железнодорожной компании были сформулирована цель и обозначены задачи исследований, а также определены пути их решения, которые он вполне успешно реализовал в пяти последующих главах магистерской диссертации.

Первая глава посвящена обзору научно-исследовательских работ по эффективности использования различных типов и серий магистральных локомотивов в условиях эксплуатации и совершенствованию системы потребления и расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу.

Во второй главе обосновываются теоретические методы расчёта движения поезда, сущность графического метода расчёта кинематических и динамических параметров движения, а также формулируется постановка задачи по изучению процесса движения поезда и предлагается укрупнённый алгоритм её реализации.

Третья глава посвящена методике тяговых расчётов для различных видов локомотивной тяги, которая реализуется трёхсекционными магистральными электровозами ЗВЛ80^С и тепловозами ЗТЭ10М, UzTE16M3 на заданном виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, где характеристики, принятые в расчётах, являются базовыми.

В четвёртой главе диссертант приводит анализ топливно - энергетической эффективности использования различных серий магистральных локомотивов тепловозной и электрической тяги на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, а также исследуют вопросы, связанные с организацией остановочного процесса на промежуточной и конечной станции.

Пятая глава посвящена исследованиям по обоснованию эффективности дизельного и электрического тягового подвижного состава в разных условиях

организации эксплуатации на виртуальном холмистом участке железной дороги методом осреднения расчётных величин и по обобщающему критерию энергетической эффективности локомотивной тяги.

Научную новизну диссертационной работы представляют: модели вождения грузовых поездов; методика и уравнения регрессии по определению параметров основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) локомотивов - электровозы ЗВЛ80^С и тепловозы ЗТЭ10М и UzTE16M3; а также критерии оценки эффективности различных видов локомотивной тяги в эксплуатации и режимов вождения грузовых поездов упомянутыми локомотивами; обобщающий критерий сравнения эффективности использования электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов ЗТЭ10М, UzTE16M3 в эксплуатации. Кроме того, автором получены численные значения и динамика изменения кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции, а также уравнения регрессии по их определению в диапазоне принятого им интервала варьирования массы состава грузового поезда.

Практическую ценность диссертационной работы составляют: графические методы и принципы расчёты движения поезда, постановка, задача по изучению процесса движения поезда; параметры основных показателей перевозочной работы магистральных локомотивов - электровозы ЗВЛ80^С и тепловозы ЗТЭ10М и UzTE16M3, а также величина расхода электрической энергии и дизельного топлива за поездку; аналитические зависимости и характер изменения расходов натурального дизельного топлива и электрической энергии на тягу поездов в зависимости от массы состава грузового поезда.

Однако, по рукописи диссертационной работы магистранта Зоирхонова С.Т., имеются следующие замечания:

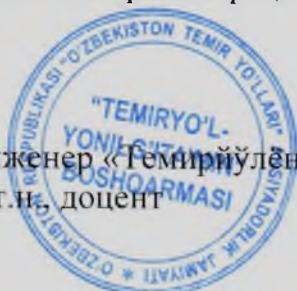
1. Почему в своих исследованиях автор ограничивается диапазоном изменения массы состава грузового поезда в пределах 2500...3500 тонн.

2. Расчёты значений полной и удельной стоимости железнодорожных перевозок грузов локомотивами электрической и дизельной тяги на холмистом участке железной дороги автор проводит по нормативам 2012 года – почему так...?

3. Автором допущены орфографические ошибки на страницах 13, 43 и 71 магистерской диссертации.

В целом, на основании вышесказанного, считаю, что диссертационная работа Зоирхонова С.Т. по теме: «Исследование эффективности перевозочной работы локомотивов на холмистом участке железной дороги» отвечает всем требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, имеет научный интерес и практическую значимость, а её автор Зоирхонов Саидхона Толиб угли заслуживает присвоения ему степени магистра по специальности 5А310603 – «Железнодорожный транспорт (Локомотивы)».

Главный инженер «Темирйўл» филиал «Ташкент»
к.т.н., доцент



Турсунов К.Т.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1. Состояние проблемы, постановка цели и задач исследований	16
1.1 Обзор исследований по обоснованию эффективности магистральных локомотивов в условиях эксплуатации	16
1.2. Постановка цели и задач исследования.....	28
ГЛАВА 2. Обоснование метода расчёта по изучению технологического процесса движения поезда.....	32
2.1. Графический способ интегрирования уравнения движения поезда $v = f(s)$	33
2.2. Графический способ интегрирования уравнения движения поезда $t = f(s)$	35
2.3. Алгоритм построения кривой скорости движения и времени хода поезда графическим способом.....	37
2.4. Постановка и решение задачи по изучению технологического процесса движения поезда.....	43
ГЛАВА 3. Тяговые расчёты на холмистом участке железной дороги.....	48
3.1. Алгоритм и исходная информация выполнения тягового расчёта.....	48
3.2. Методика выполнения тягового расчёта для локомотивов дизельной и электрической тяги АО «Ўзбекистон темир йўллари».....	50
ГЛАВА 4. Оценка энергетической эффективности использования локомотивной тяги на холмистом участке железной дороги.....	58
4.1. Анализ энергетической эффективности электрической тяги.....	58
4.1.1. Обоснование параметров основных показателей перевозочной работы электровозов ЗВЛ80 ^С	58
4.2. Анализ энергетической эффективности дизельной тяги.....	71
4.2.1. Обоснование параметров основных показателей использования тепловозов <i>UzTE16M3</i>	71

4.2.2. Обоснование параметров основных показателей перевозочной работы тепловозов ЗТЭ10М.....	85
ГЛАВА 5. Обоснование эффективности использования локомотивной тяги в условиях эксплуатации.....	99
5.1. Анализ энергетической эффективности использования локомотивов дизельной тяги методом осреднения расчётных величин.....	99
5.2. Оценка перевозочной работы электровозов ЗВЛ80 ^С методом осреднения расчётных величин.....	102
5.3. Анализ эффективности использования локомотивной тяги на холмистом участке железной дороги.....	106
Основные выводы и рекомендации.....	112
Список использованной литературы.....	115
Приложение.....	125

Введение

В [1] было отмечено о независимом государственном суверенитете Узбекистана, а также достижениях страны, основанных на справедливом законодательстве и приоритетных принципах законов, обозначенных в Конституции и направленных на обеспечение в обществе прав человека и его свобод. Принятые в прошлом законы способствовали достижению правового регулирования всех сфер жизни граждан, обеспечению их прав и интересов.

В [2] на основе глубокого анализа и критического подхода была дана оценка социально-экономического развития Узбекистана в 2016 году. Детально и всесторонне проанализированы имеющиеся нерешённые проблемы и используемые не в полную силу резервы, внесены предложения по ключевым стратегическим задачам и важнейшим приоритетам экономической и социальной программы республики на 2017 год.

Кроме того, условием стабильного развития Республики Узбекистан является гармонично развитое поколение, которое может формироваться посредством инновационных технологий в учебном процессе, например, в виде управленческой имитационной (деловой) игры [68].

Сказанное выше в полной мере касается и основных приоритетов развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства, применительно к действующим и новым, вновь строящимся, железным дорогам Узбекистана.

Железные дороги Узбекистана являются ведущим видом транспорта в государстве, которые играют решающую роль и занимают ведущее место в обеспечении заданного размера перевозок народнохозяйственных разных по структуре, типу, виду и содержанию грузов, пассажиров, топлива, промышленного сырья и готовой продукции.

Реализация высоких экономических показателей перевозочного процесса в работе железнодорожного транспорта во многом определяется эксплуатацией, техническими возможностями и состоянием локомотивов и

вагонов, а также затратами топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

Одной из важнейших задач линейного предприятия локомотивного комплекса железных дорог является повсеместное сокращение расхода натурального дизельного топлива и электрической энергии на тягу поездов. В процессе развития и модернизации железнодорожной отрасли огромное значение приобретают вопросы, связанные с повышением эксплуатационных технико-экономических показателей современных тепловозов и электровозов и со снижением количества потребляемого ими топливно – энергетических ресурсов при реализации железнодорожных перевозок грузов и пассажиров. Это обуславливает проведение исследований по обоснованию параметров основных показателей использования локомотивов в зависимости от режимов работы их силовых энергетических установок и систем с учётом разных условий организации перевозочного процесса.

Следует отметить, что все усилия специалистов железнодорожного транспорта, направленные на повышение эффективности его работы, непосредственно сводятся к обновлению подвижного состава современными высокопроизводительными и высокоэффективными локомотивами, грузовыми и пассажирскими вагонами, а также к повышению эффективности эксплуатационной деятельности локомотивного парка и железных дорог. Сказанное, вполне успешно реализуется путём оптимизации взаимной связи перевозочной работы локомотивов с совершенствованием управления и планирования их использования в период эксплуатации.

Исследования, направленные на обоснование параметров основных показателей использования локомотивов с учётом повышения эффективности перевозочной работы локомотивного парка в эксплуатации являются актуальными задачами АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Попытка решения этих задач была нами предпринята в настоящей магистерской диссертационной работе, изложенной на 125 листах машинописного текста.

Актуальность проблемы. Железнодорожный транспорт является крупнейшим потребителем топливно-энергетических ресурсов, затраты на которые составляют в целом по сети железных дорог стран СНГ и Узбекистана примерно 11,2 процента от общеотраслевых эксплуатационных расходов, из них на тягу поездов расходуется около 72,2 процента. Локомотивное хозяйство является одним из ведущих структурных подразделений в отрасли железнодорожного транспорта, слаженная работа специалистов линейных предприятий которого во многом предопределяет технологический процесс железнодорожной перевозки грузов и пассажиров, а также способствует обеспечению безопасности движения поездов с учётом нормативов негативного воздействия тягового подвижного состава на окружающую среду.

Успешное выполнение железнодорожных перевозок важнейших грузов, топлива, промышленного сырья и готовой продукции напрямую зависит от правильного планирования работы локомотивов, эффективности системы организации труда и отдыха локомотивных бригад, и достигается за счёт широкого внедрения ресурсосберегающих технологий, направленных на сокращение общих и удельных расходов топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

Объектом исследования являются трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые локомотивы – электровозы серии ЗВЛ80^С, тепловозы *UzTE16M3*, ЗТЭ10М и виртуальный холмистый участок железной дороги.

Предмет исследования составляют основные показатели перевозочной работы упомянутых локомотивов и обоснование энергетической эффективности использования разных видов локомотивной тяги на заданном виртуальном холмистом участке железнодорожного пути.

Методика исследования. Основу теории и методологии магистерской диссертационной работы составили исследования ведущих отечественных и зарубежных учёных в области локомотивного хозяйства и теории

локомотивной тяги с учётом системного подхода к анализу параметров основных показателей перевозочной работы локомотивов и режимов вождения поездов на участках их обращения. Используются специальная техническая литература, научно-методические публикации по теории локомотивной тяге и организации движения поездов, а также информация из «Интернета», научных журналов ближнего и дальнего зарубежья.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы теории локомотивной тяги и математической статистики, корреляционного анализа, а также графоаналитические способы расчёта основных показателей перевозочной работы локомотивов.

Научную новизну представляют:

модели вождения грузовых поездов с разными массами составов, организованные трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми электровозами ЗВЛ80^С, тепловозами *UzTE16M3* и ЗТЭ10М на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути;

методика обоснования основных показателей эффективности магистральных электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов *UzTE16M3*, ЗТЭ10М для разнообразных условий эксплуатации;

математические модели для определения основных показателей перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов *UzTE16M3*, ЗТЭ10М на виртуальном холмистом участке железной дороги;

гистограмма изменения основных показателей эффективности магистральных электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов *UzTE16M3*, ЗТЭ10М на виртуальном холмистом участке железной дороги в зависимости от массы состава грузового поезда;

численные значения и динамика изменения кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции, а также уравнения регрессии по их определению в диапазоне принятого нами интервала варьирования массы состава грузового поезда;

темпы изменения значений кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции для пути перемещения и скорости движения грузовых поездов при каждом последовательном увеличении – уменьшении их массы состава:

критерии оценки эффективности использования локомотивной тяги в эксплуатации - приведённые затраты денежных средств эквивалентные удельной стоимости перевозок грузов C (тыс.сум/км) и коэффициент $K_{\text{э}}$ оценки эффективности использования разных видов тяги, равный отношению удельной стоимости железнодорожных перевозок грузов при дизельной тяге к электрической;

критерии использования режимов тяги, холостого хода и торможения, равные отношению времени хода поезда на этих режимах к общему, за поездку.

Практическую ценность представляют:

графические методы и принципы расчёта движения поезда, позволяющие определять траектории, а также кинематические и динамические параметры движения на всех этапах управления;

задача по изучению процесса движения поездов с учётом критерия эффективности и алгоритм выполнения тяговых расчётов для реальных условий организации эксплуатации тягового подвижного состава;

параметры основных показателей использования электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3*, 3ТЭ10М и виртуальные характеристики профиля пути для холмистого участка железных дорог;

закономерности изменения общего и удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов в зависимости от времени хода грузовых поездов на режимах тяги, холостого хода и торможения;

обоснование эффективности использования различных видов локомотивной тяги в эксплуатации с учётом метода осреднения расчётных

величин.

Реализация научно-технических результатов работы. Рекомендации по обоснованию параметров основных показателей эффективности электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов *UzTE16M3*, 3ТЭ10М будут переданы в локомотивные депо АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Апробация работы. Основные положения магистерской диссертации были доложены и получили одобрения на научных семинарах кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» электромеханического факультета (г. Ташкент, ТашИИТ, 2017...2019 годы); на XVI-й межвузовской научно – практической конференции студентов бакалавриата и магистратуры, стажёров – исследователей - соискателей «Молодой научный исследователь» (г. Ташкент, ТашИИТ, 2018 год); на Республиканской научно-технической конференции «Гармоничное развитие поколения – условие стабильного развития Республики Узбекистан» (г.Ташкент, 2018 год); на Международной научной конференции «Наука. Исследования. Практика» (г. Санкт - Петербург, 2018 год); на XIII-й Международной научно-практической конференции «Перспективы и развития науки в современном мире» (г. Уфа, 2018 год); на XVI-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки» (г. Томск, 2018 год); на XIII-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в науке и практике» (г. Самара, 2018 год).

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в семи научных статьях и ещё четыре научные статьи подготовлены к опубликованию в открытой печати.

Структура и объём диссертации. Магистерская диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 71 наименований. Общий объём составляет 125 стр. машинописного текста, 21 рисунок и 20 таблиц.

Основные положения, представляемые к защите, перечислены в рубриках "Научная новизна", "Практическая ценность" и "Реализация научно-технических результатов работы".

В первой главе «Состояние проблемы, постановка цели и задач исследований» проводится обзор научно-исследовательских работ по эффективности использования магистральных локомотивов в условиях эксплуатации и совершенствованию системы потребления топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов, сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе «Обоснование метода расчёта по изучению технологического процесса движения поезда» приводятся теоретические методы расчёта и постановка задачи по изучению процесса движения поезда, раскрывается сущность графического метода расчёта кинематических и динамических параметров движения, а также укрупнённый алгоритм реализации упомянутой задачи.

В третьей главе «Тяговые расчёты на холмистом участке железной дороги» приводятся исходные данные и анализ заданного профиля пути, а также методика выполнения тягового расчёта для тягового подвижного состава (электровозы ЗВЛ80^С, тепловозы UzTE16M3 и ЗТЭ10М) АО «Ўзбекистон темир йўллари» в условиях эксплуатации.

В четвертой главе «Оценка энергетической эффективности использования локомотивной тяги на холмистом участке железной дороги» приводятся исследования и их результаты по анализу и оценке топливно-энергетической эффективности электрической и дизельной тяги.

В пятой главе «Обоснование эффективности использования локомотивной тяги в условиях эксплуатации» приводятся исследования сравнительной оценке эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги в различных условиях организации эксплуатации с учётом метода осреднения расчётных величин.

Глава 1. Состояние проблемы, постановка цели и задач исследования

1.1. Обзор исследований по обоснованию эффективности магистральных локомотивов в условиях эксплуатации

Ниже приводим краткий обзор научно – технических работ (литературы), посвящённый исследованиям эффективности использования тягового подвижного состава в условиях эксплуатации и совершенствованию системы потребления топливно - энергетических ресурсов на тягу поездов

Достаточно большое количество научных работ зарубежных учёных [3], часть из которых обозначена в [4-11], посвящается исследованиям по повышению эксплуатационной надёжности тягового электрического подвижного состава в различных условиях организации обычного, скоростного и высокоскоростного видов движения.

Исследования [4-8], в основном касаются изучения процесса передачи электрической энергии от контактного провода к оборудованию тягово – энергетической системы движущегося упомянутого электрического подвижного состава через токоприёмник (пантограф) со скользящим электрическим контактом в области изоляторов и нейтральных вставок контактной сети применительно к высокоскоростным железным дорогам. Делая упор на движение электрического подвижного состава с высокими скоростями, авторы рекомендуют улучшить и повысить качественную составляющую процесса токосъёма, то есть за счёт оптимизации режимов токосъёма путём нормирования верхнего и нижнего пределов контактного нажатия, и при помощи применения механических и электрических средств защиты от возникновения всякого рода резонансных явлений. Несомненно, эти решения несколько "сгладят" ("смягчат") динамику взаимодействия токоприёмника с контактным проводом, что является немаловажным, особенно, в кривых участках электрифицированного железнодорожного пути и тем самым, позволят обеспечить повышение общего уровня организации безопасности движения в целом по участку.

Действительно, опыт эксплуатации тягового электрического подвижного состава показывает, что нарушение контакта при токосъёме может привести к возникновению бесконтактной электродуговой (недостаточное контактное нажатие) или контактной электровзрывной (перегрузка точек контакта рабочим током) эрозий, следствием чего является повышенный износ контактирующих элементов (контактные провода и контактные вставки токоприёмника) и их обязательное искрение.

Авторами [9,10], исследуются условия работы автоматических средств, используемых на высокоскоростном пассажирском электрическом подвижном составе для отключения тока, основным предназначением которых является организация прохождения ими сопряжений анкерных участков с нейтральной вставкой на режиме выбега (холостого хода) с целью исключения любого вида (типа) пережога контактного провода. При вынужденной остановке поезда под нейтральной вставкой рекомендуется для временной подачи напряжения на нейтральную вставку со стороны направления движения поезда использовать нормально – разомкнутые секционные разъединители с ручным приводом и заземляющим ножом.

Практическая составляющая энергосберегающих технологий по организации эксплуатации и управлению тяговым электрическим подвижным составом с учётом оптимального (рационального) режима ведения их на действующих, реальных, участках узбекских железных дорог, однозначно, может усилиться за счёт внедрения рекомендаций [10] улучшения и смягчения динамики протекания электромагнитных процессов, происходящих в тягово – энергетическом оборудовании локомотивов электрической тяги.

Используемые авторами работ [4-11] методики и полученные результаты исследований, несомненно, имеют определённый научный интерес и высокую практическую значимость, но они совсем не касаются обоснования параметров основных показателей перевозочной работы и эффективности использования тягового электрического подвижного состава

с учётом реальных условий организации грузового движения на разных по трудности и сложности профилю пути железнодорожных участках узбекских железных дорог.

Кроме того, большое количество научных работ зарубежных учёных [12,13,15-17,19-25 и многие другие], направлены на разработку технических решений, теоретических и практических рекомендаций, которые обеспечивают повышение тяговых качеств магистральных (поездных) локомотивов с учётом их эксплуатации на участках железных дорог различных по степени сложности и трудности.

При оценке тягово - эксплуатационных качеств локомотивов и исследовании динамических свойств подвижного состава для описания касательной составляющей силы в момент взаимодействия колеса с рельсом наибольшее распространение до настоящего времени имеют гипотезы, предложенные исследователями [12,13].

Формула [12], описывающая касательную силу в контакте колеса и рельса была основана на предположении, которое подразумевало, что сила сцепления пропорциональна относительному смещению (или относительному упругому псевдоскольжению) материалов бандажа и рельса.

В исследовании [13] была предложена модель контакта колеса и рельса, согласно которой при малых величинах упругого псевдоскольжения (крипа) могут существовать зоны сцепления и упругого смещения. Однако полная картина соответствия этих динамических моделей контактного взаимодействия колеса и рельса с аналогичными процессами, происходящими при этом в реальности, до сих пор не наблюдается [6], так как линейная теория, справедливая для малых величин упругих псевдосмещений (трения) распространяется на кинематические перемещения колеса, имеющего перемещения, измеряемые многими миллиметрами.

В работе [15] предлагается техническое состояние межвитковой изоляции тяговых электродвигателей оценивать по стандартной процедуре тестирования ступенчатым напряжением, согласно которой

диагностирование начинается с подачи в систему «обмотка - корпус» испытательного напряжения 500 В. Далее, аналого – цифровым преобразователем контроллера измеряется напряжение на измерительном шунте и вычисляются значения тока утечки и сопротивления изоляции при данном тестовом напряжении. Путём сопоставления полученных значений с установленным критерием определяется наличие или отсутствие повреждений. В случае отсутствия выявленных повреждений испытательное напряжение повышается на очередные 500 В и цикл измерений повторяется.

Авторы исследований [16,17] рекомендуют для систем тягового электроснабжения магистральных железных дорог переменного тока использовать компенсирующие устройства с плавным регулированием реактивной мощности, созданные на базе силовых полупроводниковых преобразователей. Эти устройства дороже нерегулируемых устройств, а работа силовых ключей приводит к генерации высших гармоник устройством и в этой связи, технически и экономически, целесообразно использовать нерегулируемые компенсирующие устройства [18] - в случае размещения одного такого устройства на межподстанционной зоне обеспечит снижение расхода электрической энергии на тягу поездов на один – два процента.

Один из путей снижения потребления натурального дизельного топлива и вредных выбросов в окружающую среду (атмосферу) тепловозами заключается в использовании гибридного тягового привода [19], благодаря которому энергия дизель – генератора передаётся тяговым электродвигателям и накопителю энергии. Торможение гибридного тепловоза сопровождается передачей части энергии в накопитель энергии, то есть происходит процесс рекуперации, который обеспечивает значительную экономию натурального дизельного топлива.

Обеспечение эксплуатационной надёжности и безопасности движения поездов напрямую зависят, также, от исправного состояния железнодорожного пути, в частности основного элемента его верхнего строения – балластного слоя. Автором работы [20] рекомендована формула

для расчёта сопротивления поперечному смещению путевой решетки после работы уплотнительной машины, которая при равномерном распределении вдоль пути условий работы балластной призмы позволяет избежать прямого измерения коэффициента трения между подошвами шпал и балластом.

Современный подвижной состав широко использует тяговый электрический привод с асинхронными электродвигателями, в котором в качестве преобразователей электрической энергии применяются полупроводниковые преобразователи частоты - инверторы. Наибольшее применение в тяговом электрическом приводе получили трёхуровневые инверторы с фиксирующими диодами [21], основным и главным преимуществами которых являются: общее звено постоянного тока на все транзисторы, высокая энергетическая эффективность преобразования и небольшие потери мощности.

На локомотиворемонтных предприятиях железнодорожного транспорта основными системными качествами планировки цехов по ремонту локомотивов с учётом организации производственных процессов в них являются принципы пропорциональности, прямоточности, параллельности, непрерывности и ритмичности, опираясь на сетевое планирование и управление ремонтным производством. Последнее представляет собой сложную интеграционную систему, состоящую из совокупности подсистем и элементов, входящих в неё и которая обуславливает возникновение синергетического эффекта функционирования системы [22], то есть когда системе присущи не только свойства каждой ее составляющей, но и ряд принципиально новых свойств и системных качеств, порожденных взаимодействием этих частей.

Исследования ремонтного производства сложных интеграционных систем [23,24] в настоящее время показывают, что получение синергетического эффекта является их основной экономической целью. Для обеспечения положительного синергетического эффекта при формировании ремонтного производства локомотивов необходимо избегать дублирования

технических и технологических решений, наличия их большого числа и многообразия, так как это может привести к негативной динамике производственного процесса, что является свидетельством отсутствия одного единственно лучшего (оптимального) решения [25].

Таким образом, проведённый анализ научно – исследовательских работ зарубежных авторов [12,13,15-17,19-25] не даёт ответа на вопрос по поводу обоснования эффективности использования тягового дизельного подвижного состава с учётом реальных условий организации железнодорожных перевозок грузов на различных участках Узбекской железной дороги.

В работе [26] приведена разработка методов и технических средств определения расхода электрической энергии на тягу поездов локомотивов электрической тяги постоянного тока по зонам учёта. В этих исследованиях были использованы основные положения и методы цифровой обработки сигналов, гармонического анализа, теоретической электротехники, моделирования цифровой обработки сигналов первичных преобразователей тока и напряжения, а также и анализа экспериментальных данных на ЭВМ.

Вышеуказанные методы исследований в своей основе не базируются на методах (способах и методиках) теории локомотивной тяги, и непригодны для электрической тяги на переменном токе.

В работе [27] говорится о методе расчёта энергетически оптимальных траекторий движения поезда, где одним из механизмов решения задачи экономии энергетических затрат на тягу поездов является использование оптимальных режимов управления поездами. Рассматриваемая в работе модель оптимизации управления движением поезда предусматривает выполнение графического времени хода между отдельными пунктами и при этом обеспечивает минимум расхода энергии на тягу поезда.

В работе [28] приведён аналитический метод оперативного нормирования расхода электроэнергии на тягу поездов, где показано, что система нормирования энергетических затрат включает в себя следующие

три составляющие - расчёт нормы, учёт фактического расхода электрической энергии и стимулирование.

Особенно важным представляется первая составляющая, для реализации которой рекомендуют метод [29], который использует энергетический паспорт локомотива, позволяющий найти искомые энергетические затраты по любому варианту на основе энергетических затрат базового варианта с помощью коэффициентов влияния.

Также, важным условием является организация безостановочного пропуска поездов, но как показывает анализ изменения коэффициента участковой скорости - задержки движения поездов у светофоров, на станционных путях и из-за ограничений скорости растут. А это влечет за собой разброс норм, поэтому нужна система дифференцированных норм, учитывающая все разнообразие параметров составов и условий их движения.

В работе [28] предлагается использовать разработанный специальный аналитический метод тягового расчёта, основанный на прямом интегрировании уравнения движения поезда по элементам профиля пути. Это позволяет упростить алгоритм тягового расчёта и, соответственно, ускорить расчет минимальной технической нормы на порядок, что обеспечивает возможность оперативного нормирования на тягу поездов.

Особую актуальность это имеет для грузового движения, которое является основным на железных дорогах стран СНГ и Узбекистана и её цель состоит в оперативном расчёте нормы энергетических затрат - выполнении оперативного тягового расчёта на ПЭВМ непосредственно в депо.

В последние годы резко возросло количество внедряемых бортовых средств цифровой регистрации различных параметров движения и работы энергосилового устройства [30,31]. Авторами работы [32] освещены вопросы, связанные с различными режимами вождения грузовых поездов электровозами ВЛ60^К на спрямлённом профиле пути железнодорожного участка, имеющего звеньевой путь. Такой вывод стал одной из предпосылок

для последующего исследования в области оптимизации режимов вождения грузовых поездов электровозами.

С целью изучения энергетической эффективности использования электровозов ВЛ60^К в эксплуатации были проведены исследования [33], где установлено, что увеличение механической работы сил равнодействующих, воздействующих на грузовой поезд, напрямую связано с увеличением времени хода последнего в режиме тяги.

В исследованиях [34] приводится постановка задачи и методика её решение по выбору оптимального режима вождения грузовых поездов, основанная на различных математических принципах теории оптимального управления. Расчётами установлено, что метод, основанный на принципе параметрической оптимизации [35], позволяет гораздо быстрее получить наиболее точный и желаемый оптимальный режим ведения грузового поезда.

Авторами [36] получены рекомендации по обеспечению безопасности движения грузовых поездов на участке Ташгузар - Кумкурган, связанных с выбором максимально допустимой скорости движения их на элементах профиля пути различной величины спусков.

На кафедре «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ТашИИТа проводится цикл исследований по изучению эффективности работы и использования локомотивов на участках АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Аналізу энергетической эффективности использования локомотивной тяги были посвящены многочисленные работы, в которых были обоснованы, определены и проанализированы параметры основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) электровозов и тепловозов.

В упомянутых выше исследованиях для машинистов - инструкторов локомотивных депо ТЧ-1 «Узбекистан» и ТЧ-8 «Карши» были получены очень важные рекомендации по повышению топливно - энергетической эффективности перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов 4ТЭ10М, *UzTE16M4*, а также тепловозов 3ТЭ10М на "холмисто-горном" участке Мараканд – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Однако, параметры основных показателей перевозочной работы локомотивов, результаты анализа и способов снижения расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов в грузовом и пассажирском движении, приведённые выше, не учитывают специфические условия, связанные с организацией эксплуатации подвижного состава, в том числе тягового, на холмистом участке железнодорожного пути.

Кроме этого, железнодорожный транспорт с целью поддержки своей энергетической эффективности требует постоянного совершенствования всех технологий, обеспечивающих перевозочный процесс, в том числе ресурсосберегающих.

Также, снижение потребления электрической энергии на тягу поездов можно получить за счёт применения рациональных режимов ведения поезда по участку, зависящих от множества факторов - это масса и состав поезда, временные ограничения скорости на момент проследования поезда, климатические условия и многие другие факторы. Поэтому, возникает необходимость разработки методик и программ быстрого оперативного расчёта и выдачи индивидуальных режимных карт с учётом параметров отправляемого поезда, реальных условий эксплуатации с целью экономии затрат электроэнергии на тягу для каждого отправляемого поезда.

В работе [37] для исследования оптимальных режимов и алгоритмов управления локомотивом использованы методы имитационного моделирования на ЭВМ с учётом распределённой массы и длины поезда, а также экспериментальные исследования в условиях эксплуатации.

Основной проблемой исследования [38] является обоснование путей энергосбережения в электрической тяге поездов путём совершенствования системы нормирования энергетических затрат на уровне электровозных депо. Это достигается главным образом за счёт развития соответствующей теоретической модели и установления взаимосвязи энергетических затрат с параметрами эксплуатационного процесса при учёте особенностей энергетических преобразований в системе электрической тяги, включая при

этом в указанную энергетическую цепь стационарные устройства электроснабжения и электрический подвижной состав - электровозы.

Таким образом, исследованиями зарубежных учёных, учёных стран СНГ и Узбекистана установлено, что при электрической тяге расход электрической энергии на тягу поезда в основном зависит от режима его ведения по участку. Ориентировочные расчёты, выполненные в ряде отраслевых научно-исследовательских организаций, указали на возможность экономии электрической энергии за счёт рационального ведения поезда по участку на 5-20 процентов, причём, эта величина зависит от продольного профиля пути, условий сцепления колесных пар с рельсами, климатических условий, технического состояния локомотива и подвижного состава, и опыта машиниста. Последний факт указывает на существование энергетически оптимальной программы (режима) ведения поезда по конкретному участку при заданном времени хода.

Существующие в локомотивных депо так называемые «режимные» карты, которыми должны руководствоваться машинисты при вождении поездов, получены на основании обобщения передового опыта и ряда специально организованных пробных поездок. Однако, чисто экспериментальным путем невозможно выбрать наилучший вариант ведения поезда, поэтому методы вождения поездов, используемые в депо, не являются строго оптимальными и, несомненно, могут быть улучшены.

Техническое состояние локомотивов и тепловозов, в особенности, характеризуется, помимо широко используемых показателей эксплуатационной надёжности, уровнем энергетической эффективности - теплотехническим состоянием [39,40].

В эксплуатации теплотехническое состояние проверяют путём сравнения фактического расхода топливно-энергетических ресурсов локомотивов с нормой, мерой оценки которого является количественный признак, отражающий объём сэкономленных или перерасходованных упомянутых ресурсов за один месяц работы каждого отдельного локомотива.

Первичной информацией для оценки теплотехнического состояния служат сведения о количестве топлива, затраченного тепловозом на перемещение состава установленной массы и вспомогательную работу за одну поездку, которые фиксируются в маршруте движения поезда машинистом локомотива. Подсчитывают разницу между нормированным и фактическим значениями расхода дизельного топлива за поездку. Для регистрации, накопления и анализа этой информации введены карты учёта по формам ТУ-3 (маршрут), ТУ-10а (лицевой счёт локомотива) и ТХО-5 (отчёт о результатах расхода топлива или электроэнергии и работы локомотивов).

Существующая система постановки локомотивов на ремонт в зависимости от линейного пробега полностью оправдывает, если тяговые плечи, на которых используются локомотивы данного депо, имеют в достаточной степени близкие характеристики условий движения: крутизна подъемов, ограничения скорости, наличие постоянных и временных предупреждений, обуславливающих необходимость дополнительных торможений.

В работе [41] приведена методика определения величин механической работы сил, действующих на поезд, по записям на скоростемерной ленте, а также силовой загрузки и фактических коэффициентов полезного действия процесса перевозочной работы, и данные позволяющие улучшить оперативный контроль энергетического состояния и загрузки локомотивов, а также уточнить межремонтные пробеги.

Авторы работ [42,39,41,43] исследуют вопросы, связанные с изысканием возможностей снижения расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов, которые подтверждают, что этому в большой степени способствует правильное нормирование их расхода.

Нормы стимулируют изыскание и использование резервов, заинтересовывают локомотивные бригады в бережливом расходовании энергии, определяя в депо направленность работы по экономии энергии.

Предложено большое количество методов нормирования расхода энергии на тягу поездов [44].

Известно, что использование кинетической и потенциальной энергии поезда, а также подводимой энергии в значительной мере зависит от мастерства машиниста, его умения выбирать наивыгоднейший режим ведения поезда, что требует накопления в течение ряда лет соответствующих материалов, необходимых для разработки режимных карт. В зависимости от выбранного режима ведения в отдельных поездках отклонения расхода энергии от средних значений, при одинаковых условиях работы на участках, составляют $\pm 10...15\%$, что свидетельствует об огромных резервах экономии энергии за счёт внедрения оптимальных режимов.

В результате проведённых в ТашИИТе исследований [45] предложен метод динамического пошагового программирования (ДПП), использование которого позволяет при относительно небольшой затрате времени получить оптимальные режимы ведения поезда.

Исследования [44] свидетельствуют о значительных возможностях экономии топлива и за счёт применения оптимальных режимов ведения поездов, и за счёт улучшения теплотехнического состояния тепловозов, если на тепловозах минутный расход будет в пределах, указанных в ПТР [46].

В работе [40] изложены рекомендации по определению механической работы касательной силы тяги и тормозных сил поезда, а также энергетических результатов работы локомотивов по записям на скоростемерных лентах, что обеспечит контроль их энергетической работы.

Анализ результатов перевозочной работы локомотивов на основе данных расшифровки скоростемерных лент позволит дать объективную оценку условий работы и фактических результатов энергетической работы, что необходимо для проведения обоснованных мероприятий, направленных на повышение эффективности работы железнодорожного транспорта.

Мероприятия по повышению эффективности перевозочной работы локомотивов требует объективного анализа фактических условий работы

на участках и достигнутых при этом энергетических показателей.

В этой связи, оценка технического состояния подшипниковых узлов при ремонте и эксплуатации электродвигателей локомотивов средствами вибродиагностики, обозначенная в исследованиях [69-71], является подтверждением сказанному.

Современные тенденции и практика развития локомотивостроения направлены на автоматизацию управления движением поездов, когда максимальный эффект достигается за счёт использования энергетически оптимальных программ в бортовых системах автоматического ведения. В этом случае расчёт и реализация энергетически оптимальных траекторий осуществляется в реальном времени в зависимости от постоянно меняющейся поездной обстановки с учетом разнообразных ограничений скорости, сигналов светофоров, условий проезда каждого конкретного участка и множества других факторов.

Таким образом, в результате изложенного выше, очерчивается определённый круг задач по совершенствованию методов решения и выбора оптимального управления движением локомотивов, алгоритмизации и автоматизации, а также разработке комплекса программ, направленных на достижение одной из самой актуальной для железнодорожного транспорта цели - экономии топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

1.3. Постановка цели и задач исследований

Проблема рационального сбережения энергетических ресурсов на тягу поездов, и эффективного использования дизельного топлива и электрической энергии на электрифицированном железнодорожном транспорте является актуальной, так как она напрямую связана с изысканием возможностей и путей снижения их расхода, а также сокращения непроизводительных затрат на потребление в реальных условиях эксплуатации подвижного состава.

Очевидно, что приоритетное направление повышения топливно-энергетической эффективности перевозочного процесса заключается в совершенствовании системы анализа и нормирования расхода энергоресурсов на тягу поездов в локомотивном депо, а также проведение энергетических обследований и паспортизация линейных структурных подразделений АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Рачительное (экономное) расходование топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов может быть обеспечено только комплексными мероприятиями, одним из них является разработка рекомендаций и предложений по рациональному вождению грузовых поездов локомотивами на участках железных дорог, характеристика профиля пути которых существенно влияет на режимы движения поездов и эффективность перевозочной работы локомотивов в эксплуатации. Причём, определяющий фактор энергетической эффективности энергосиловых систем и установок локомотивов обуславливается, в первую очередь, режимом тяги, то есть их временем работы под нагрузкой.

Поэтому, на кафедре «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ТаШИИТа проводится цикл исследований по изучению топливно-энергетической эффективности использования локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари», опираясь на реальные условия организации эксплуатации разных типов (серий) локомотивов и движения поездов на действующих и новых, вновь строящихся участках железных дорог.

Цель настоящей диссертационной работы заключается в проведении теоретических исследований по обоснованию эффективности разных видов локомотивной тяги на принятом нами виртуальном холмистом участке железной дороги с учётом реальных условий организации её эксплуатационной деятельности.

Для выполнения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Выполнен обзор исследований по эффективности использования магистральных локомотивов в условиях эксплуатации с учётом

совершенствования системы потребления топливно - энергетических ресурсов на тягу поездов.

2. Обоснованы графические методы и принципы расчёта движения поезда, предназначенные для интегрирования дифференциального уравнения движения и позволяющие определять траектории, а также кинематические, динамические и энергетические параметры движения на всех этапах управления.

3. Сформулирована задача по исследованию технологического процесса движения поездов с учётом критерия эффективности и алгоритм её решения, опираясь на реальные условия эксплуатации локомотивов на участках узбекских железных дорог.

4. Разработаны и реализованы модели вождения грузовых поездов с разными массами составов, организованные электровозами ЗВЛ80^С, тепловозами *UzTE16M3* и ЗТЭ10М на виртуальном холмистом участке железной дороги, а также методика определения основных показателей эффективности их использования для различных условий эксплуатации.

5. Установлены обобщающий критерий сравнения энергетической эффективности и параметры основных показателей перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3* и ЗТЭ10М на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути.

6. Получены численные значения и динамика изменения кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции, а также уравнения регрессии по их определению в диапазоне принятого нами интервала варьирования массы состава грузового поезда.

7. Обоснованы темпы изменения значений кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции для пути перемещения и скорости движения грузовых поездов при каждом последовательном увеличении – уменьшении их массы состава.

8. Получены параметры основных показателей эффективности использования электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3* и ЗТЭ10М, а также уравнения регрессии по их определению с учётом динамики их изменения в зависимости от массы состава грузового поезда на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути.

9. Предложены критерии оценки топливно - энергетической эффективности использования различных видов локомотивной тяги в эксплуатации.

10. Получены рекомендации по повышению эффективности перевозочной работы магистральных электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3* и ЗТЭ10М на виртуальном и идентичном холмистом участках железной дороги.

11. Разработаны и предложены рекомендации по дальнейшему совершенствованию перевозочного процесса в грузовом и пассажирском виде движения на участках АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Решение вышеперечисленных задач составили предмет настоящего исследования по изучению эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги применительно к виртуальному холмистому участку железной дороги, опираясь на научную новизну и практическую значимость (ценность) исследований.

Глава 2. Обоснование метода расчёта по изучению технологического процесса движения поезда

Для расчёта и построения траектории технологического процесса движения поезда используется математическая модель поезда, то есть дифференциальное уравнение движения, описывающее его поведение в пространстве с достаточной для целей практики точностью, которое можно представить в общем виде так

$$dv/dt = \zeta u \quad (2.1)$$

где v - скорость движения, м/с; t - время хода поезда, с; u - удельная равнодействующая сила поезда, Н/кН; ζ - действительное (фактическое) ускорение движения поезда, кНм/Нс².

Решение упомянутого дифференциального уравнения позволяет определить закон и траекторию движения поезда на всех этапах управления, для реализации которого применяют следующие методы: аналитический, графический, численный и машинный с использованием ЭВМ и компьютерных технологий.

Общей для всех этих методов теоретической основой служит решение уравнения движения в форме задачи Коши, которое применительно к механическому движению поезда с практической точки зрения означает, что параметры его состояния (v_i, s_i) и равнодействующая сила (в режиме тяги) должны определяться в процессе решения дифференциального уравнения. При этом в качестве начальных условий (v_i, s_i) на некотором i - м шаге интегрирования используются параметры состояния (v_{i-1}, s_{i-1}) в конце предшествующего шага.

Если существует хотя бы одна сила, определяющая движение системы (поезд – есть система, состоящая из сочетания локомотива и вагонов), зависит от скорости, то рассчитать движение с помощью общих теорем классической механики нельзя потому, что такая сила проявляется в

процессе движения и, влияя на кинематические параметры движения, сама нелинейно зависит от них.

Все основные силы, определяющие закон и траекторию движения поезда, зависят от скорости. Помимо этого, на поезд действуют дополнительные силы сопротивления от уклонов и кривизны пути, которые также влияют на скорость движения поезда, а степень их влияния напрямую зависит от сочетаний элементов профиля пути и их протяжённости.

Кроме того, решение задачи по обоснованию (выбору) траектории движения поезда, выполненное по всем правилам математики и механики, может оказаться неприемлемым с точки зрения безопасности и технологии ведения поезда, а также эксплуатационной надёжности различных элементов системы в условиях эксплуатации.

Поэтому, задачи по расчёту траектории движения поезда можно решить (и вполне успешно решаются) только методом интегрирования дифференциального уравнения движения.

2.1. Графический способ интегрирования уравнения движения поезда $v = f(s)$

Все существующие графические способы построения кривой скорости [47] основаны на геометрической связи между кривыми равнодействующих сил $f_{\kappa} - \omega_0 - b_T = f(v)$ и скорости $v(s)$ движения поезда.

При графическом способе решения уравнения движения поезда задаются интервалами изменения скорости Δv , причем изменяющуюся за этот период ускоряющую силу $f_{\kappa} - \omega_0$, соответствующей средней скорости, принимают постоянной. В этом случае кривая скорости получает вид ломаной линии. Чем меньше приняты интервалы изменения скорости, тем ближе эта ломаная линия к действительной плавной кривой скорости и тем выше точность расчёта.

На рис. 2.1, а нанесена кривая ускоряющих сил $f_{\kappa} - \omega_0$ в произвольном масштабе κ , соответствующая данной серии локомотива с составом

определённой массы, а на кривой скорости $v(s)$ (рис. 2.1, б) нанесён участок ad , на котором произошло изменение скорости при прохождении пути, приращению которой соответствует участок $a'd'$ на кривой ускоряющих сил $f_k - \omega_0$.

На участке ad средней скорости $v_{cp} = v_1 + v_2 / 2$ будет соответствовать и среднее значение ускоряющих сил на участке (точка b).

Рассчитаем аналитически зависимость $v(s)$, выраженную графически прямой линией ad , наклоненной к оси абсцисс, под углом β . Угол β определяет изменение скорости движения на некотором участке. С увеличением угла β нарастает изменение скорости, а следовательно, и среднее ее значение на участке. В то же время темп нарастания скорости зависит от ускоряющей силы, которая на данном участке $a'd'$ характеризуется углом α , образованным прямой Ob и осью скорости. Чем больше угол, тем больше темп изменения скорости на участке.

Следовательно, характер изменения скорости движения поезда одинаково влияет на изменение углов α и β .

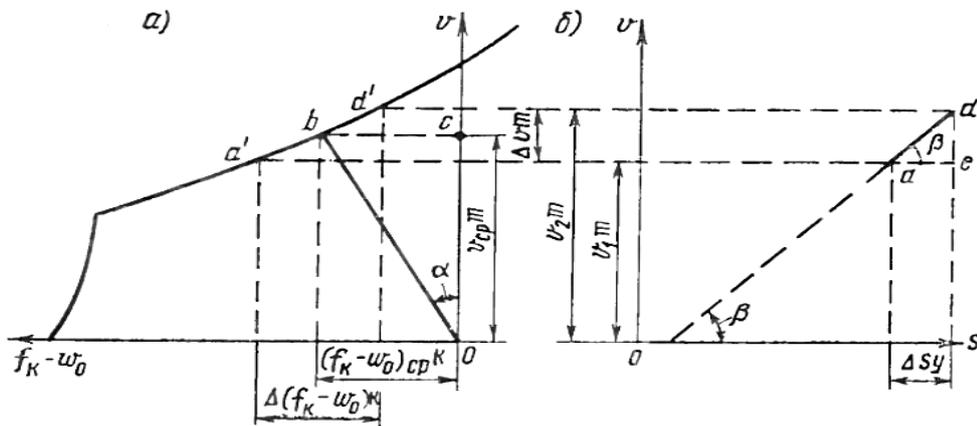


Рис. 2.1. Построение кривой скорости графическим способом

Из треугольника ade :

$$\operatorname{tg} \beta = de/ae, \text{ но } de = \Delta v m; ae = \Delta s y,$$

где m и y – масштабы соответственно скорости и пути.

Тогда

$$tg\beta = \Delta v * m / \Delta t * y * v_{cp} \quad (2.2)$$

Угол α можно определить из условия

$$tga = bc / oc$$

Здесь $oc = v_{cp} m$. Если принять, что удельные ускоряющие силы в пределах Δv изменяются прямолинейно, то

$$BC = (f_k - \omega_0)_{cp} k \text{ или } bc = f_{ycp} k,$$

где k - масштаб удельных ускоряющих сил.

Тогда

$$tga = f_{ycp} k / v_{cp} m$$

Так как $f_{ycp} = a / \zeta$ (2.0) и $a = \Delta v / \Delta t$, то

$$tga = \Delta v * k / \Delta t * v_{cp} * \zeta m \quad (2.3)$$

При равенстве углов α и β линия ad была бы перпендикулярна линии Ob и её можно было бы провести, пользуясь линейкой и угольником.

Рассмотрим, при каких условиях угол $\alpha = \beta$. Для этого приравняем tga и $tg\beta$.

Тогда из формул (2.2) и (2.3) получим

$$\Delta v * k / \Delta t * \zeta * m v_{cp},$$

или

$$y = \zeta m^2 / k \quad (2.4)$$

Таким образом, при правильном выборе масштабов скорости, пути и удельной силы тяги можно получить равенство углов α и β .

Следовательно, геометрическую связь между кривыми $f_k \omega_0 = f_v v(s)$, на которой основан метод графического решения уравнения движения поезда, можно получить, выбрав соответствующие масштабы.

2.2. Графический способ интегрирования уравнения движения поезда $t = f(s)$

Графическое построение кривой времени $t(s)$ выполняют [48], пользуясь кривой скорости $v(s)$. Между этими кривыми имеется следующая

геометрическая связь. Предположим, что на участке пути AB (рис. 2.2.) скорость движения поезда изменяется по линии 1, а время по линии 2.

Тогда из треугольника acd получим

$$tg\gamma = ad/cd = \Delta sy/\Delta tx,$$

где m, x, y - масштабы соответственно скорости, времени и пути.

Так как $\Delta s/\Delta t = v_{cp}$, следовательно, тангенс угла γ , образованного отрезком (ac) с осью времени, прямо пропорционален средней скорости движения на некотором отрезке пути.

Отложим влево от начала координат произвольный по значению фиксированный отрезок, из конца которого проведем вертикальную линию KN . Из точки D , соответствующей среднему значению скорости v_{cp} на фиксированном участке, проведем влево горизонтальную линию до пересечения с прямой KN (точка D'). Соединив точку с началом координат, получим угол γ_1 , образованный прямой OD' и этим фиксированным отрезком, тангенс которого $tg\gamma_1 = KD'/OK$, но $KD = v_{cp}m$, тогда $tg\gamma_1 = v_{cp}m/\Delta$.

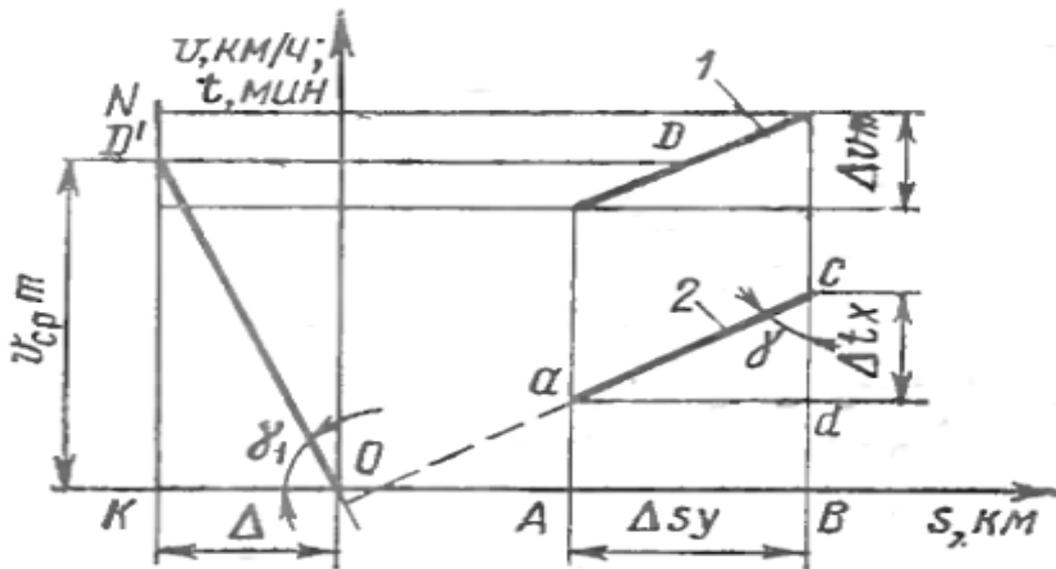


Рис. 2.2. Принцип построения графическим способом кривой времени

При равенстве углов γ и γ' построение кривой времени можно было бы производить с помощью линейки и угольника. Эти углы будут одинаковыми при условии равенства их тангенсов: $tg\gamma = tg\gamma_1$ или $v_{cp}y/x = v_{cp}m/\Delta$. Отрезок Δ

выбирают с таким расчетом, чтобы получить удобный масштаб времени. Чтобы при каждом построении кривых скорости и времени не подсчитывать масштабы, их задают в ПТР [46].

2.3. Алгоритм построения кривой скорости движения и времени хода поезда графическим способом

1. По выбранным масштабам строят кривые ускоряющих, а также замедляющих сил при движении поезда (на выбеге) и различных способах торможения (механического, электрического) для данной серии локомотива и заданной (или установленной) массы поезда.

2. Затем спрямленный профиль пути наносят на миллиметровую бумагу, где по оси абсцисс откладывают путь s в масштабе u , а профиль пути изображают отдельно для каждого направления (туда, обратно).

3. По кривым ускоряющих и замедляющих сил строят кривую скорости в следующем порядке: скорости откладывают по оси ординат в масштабе m на миллиметровой бумаге, где нанесен профиль пути. Кривые ускоряющих и замедляющих сил (рис. 2.3, а) совмещают с кривой скорости (рис. 2.3, б).

Построение кривой начинают с момента трогания поезда, например, со станции А, расположенной на площадке. Задаются первым приращением скорости и на кривой ускоряющих сил отмечают точку В соответствующую средней скорости равной $\Delta v/2$ (см. рис 2.3, а), с которой поезд будет следовать на данном отрезке пути АВ. К началу координат О и точке В на кривой ускоряющих сил прикладывают линейку и получают между ней и осью ординат угол α . Катет угольника, приложенного к линейке, образует с осью абсцисс угол $\beta = \alpha$ (см. рис. 2.3, б). Проведя по направлению этого катета через начало координат А' прямую до пересечения с горизонталью, соответствующей приращению скорости Δv_1 , получают точку В. Отрезок АВ образует первое звено кривой изменения скорости на отрезке пути А'В~ при средней ускоряющей силе (точка В).

Затем задаются вторым приращением скорости Δv_2 и на кривой ускоряющих сил отмечают точку C , соответствующую средней скорости $\Delta v_1 + \Delta v_2/2$. К этой точке и к началу координат прикладывают линейку и с помощью угольника, приложенного к линейке, проводят линию из точки B' до конечной новой скорости $\Delta v_1 + \Delta v_2$ (точка C'). Дальнейшее построение кривой скорости движения по площадке ($i = 0$) выполняют аналогично.

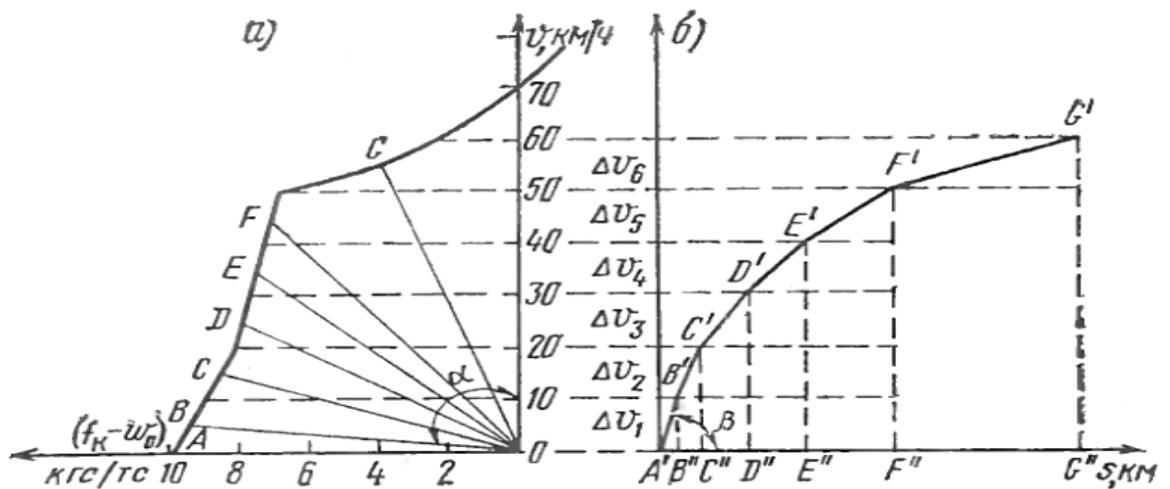


Рис 2.3 Построение графическим способом кривой скорости при следовании поезда на площадке.

При разгоне и движении поезда по подъёму, например $i_k = +2\%$, удельная ускоряющая сила $f_k - \omega_0$ уменьшится на значение сопротивления от уклона, равное подъёму $\omega_k = i_k$, и кривая $f_k - \omega_0 = f(v)$ сместится вправо на это значение (кривая 3 на рис. 2.4). Чтобы не перестраивать каждый раз кривую ускоряющих сил, начало координат (точку O) условно переносят влево на величину, равную $\omega_k = i_k$. В этом случае точки b', c', d', e' , расположенные на кривой ускоряющих сил (кривая 2), соединяют линейкой с новой точкой O , соответствующей подъёму i_k . Если разгон и движение поезда происходят на спуске, то ускоряющие силы $(f_k - \omega_0)$ увеличиваются на значение спуска i_k и $f_k - \omega_0 = f(v)$ сместится влево на эту величину

(кривая 1). Поэтому для построения кривой скорости точки b', c', d', e' на кривой $f_{\kappa} - \omega_0 = f(v)$ соединяют линейкой с точкой на оси абсцисс, отнесённой вправо от начала координат на величину, равную $-i_{\kappa}$.

Построение кривой скорости $v(s)$ в этих случаях производят аналогичным порядком, как и при следовании по площадке.

На рис. 2.4 показано построение кривой скорости при трогании и разгоне на подъеме (кривая 5) и спуске (кривая 4) при различных значениях i_{κ} . Точки B, C, D, E на кривой 5 соответствуют скоростям при средних значениях $f_{\kappa} - \omega_0$ (точки b', c', d', e' на кривой 2) при следовании по подъему, а точки B_1, C_1, D_1, E_1 на кривой 4 - для этих значений $f_{\kappa} - \omega_0$ при движении по спуску. Если удельная ускоряющая сила будет равна сопротивлению от подъема $f_{\kappa} - \omega_0 = \omega_{\kappa}$, то движение поезда будет равномерным и кривая скорости $v(s)$ будет располагаться параллельно оси абсцисс.

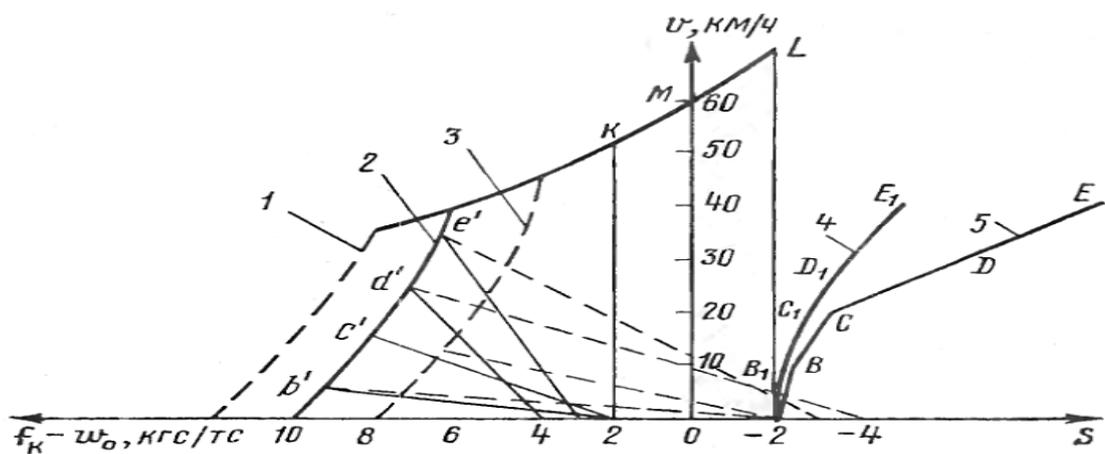


Рис. 2.4. Построение графическим способом кривой скорости при следовании поезда по подъему и спуску

Чтобы определить, на каком уклоне (подъеме или спуске) наступает равномерная (установившаяся) скорость, надо из точки, расположенной на оси абсцисс, соответствующей уклону, провести вертикальную линию до пересечения с кривой ускоряющих сил $f_{\kappa} - \omega_0$. Ордината точки пересечения

(по оси скорости) будет соответствовать установившейся скорости на данном уклоне. Так, при следовании по подъему, например $i_k = +2\text{‰}$, установившаяся скорость наступит в точке K , а при следовании по спуску $i_k = -2\text{‰}$ в точке L .

При движении по площадке установившаяся скорость характеризуется точкой пересечения кривой $f_k - \omega_0$ с осью ординат, на которой откладываются скорости (точка M).

В случае движения поезда без тока (на выбеге) построение кривой скорости выполняют с использованием кривой удельного сопротивления движению поезда $\omega_{ox}(v)$ на площадке. Разберем построение кривой скорости для профиля пути, указанного на рис. 2.5.

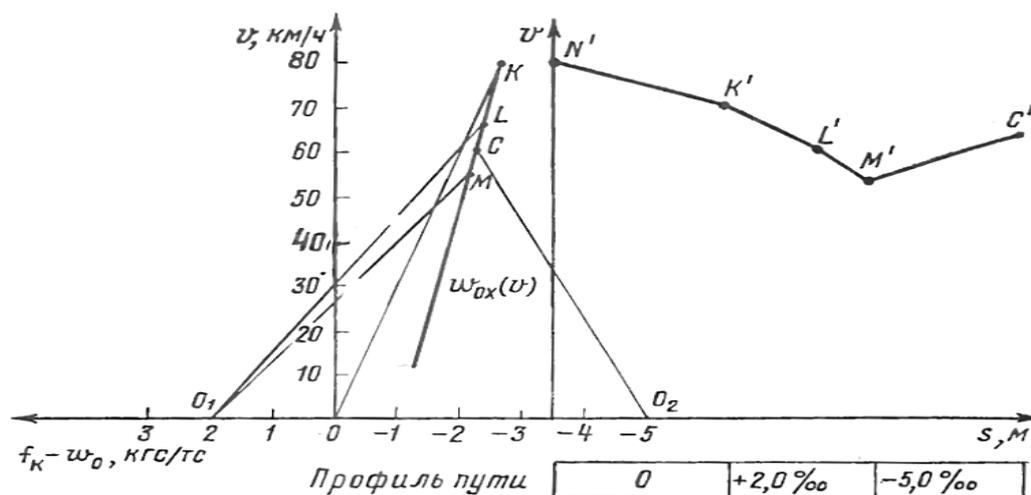


Рис. 2.5. Построение графическим способом кривой скорости при следовании поезда в режиме холостого хода, на выбеге

Допустим, что поезд подходит к площадке со скоростью 80 км/ч (точка N'). На кривой $\omega_{ox}(v)$ задаемся точкой K , соответствующей средней скорости v_{cp} между интервалами v_1 и v_2 , равной $v_{cp} = (v_1 + v_2)/2$. В нашем примере $v_{cp} = 75$ км/ч.

Соединяем точку K с началом координат (точка O). Затем с помощью линейки и угольника проводим линию из точки N' , перпендикулярную линии

KO до точки K' при скорости 70 км/ч. Отрезок $N'K'$ характеризует следование поезда на площадке в режиме выбега в пределах скоростей $v_1 - v_2$. Затем поезд переходит на подъем $i_k = +2,0\%$. В этом случае откладывают точку O_1 влево от начала координат, соответствующую значению $i_k = +2,0\%$, с которой соединяют точки L и M на кривой $\omega_{ох}(v)$. Построение кривой скорости производят аналогичным порядком, что и при построении скорости при следовании поезда по площадке. Отрезок $K'L'$ характеризует следование поезда на подъёме $i_k = +2,0\%$ в пределах скоростей 70 - 60 км/ч, а отрезок $L'M'$ - в пределах 60 - 54 км/ч. Точка L на кривой $\omega_{ох}(v)$, соответствует $v_{ср} = 65$ км/ч, а точка M соответствует $v_{ср} = 57$ км/ч. При следовании поезда на спуске $i_k = -5,0\%$ построение кривой скорости производят таким же порядком, только точку C на кривой $\omega_{ох}(v)$, соответствующей $v_{ср} = 61$ км/ч (так как скорость будет увеличиваться), соединяют с точкой O_2 , перенесённой от начала координат вправо, равной значению $i_k = -5,0\%$. Отрезок $M'C'$ характеризует следование поезда по спуску в пределах скоростей 54 - 64 км/ч.

В случае следования поезда с применением автоматических тормозов точки заданных скоростей отмечают на кривой удельных замедляющих сил $b_T + \omega_{ох} = f(v)$, обычно для служебного торможения, и соединяют их с точками, соответствующими значениям i_k (подъема или спуска), расположенными на оси абсцисс. Порядок построения кривой скорости приведён на рис. 2.6.

При движении поезда по затяжному спуску кривую скорости строят в виде пилообразной кривой переходя на тормозной режим при достижении наибольшей допустимой скорости и на выбег при снижении её до определённого значения. Такое построение кривой скорости очень сложно и требует значительного времени.

В этом случае ПТР [46] разрешается кривую скорости изображать горизонтальной линией, проведённой ниже допускаемой скорости на величину Δv .

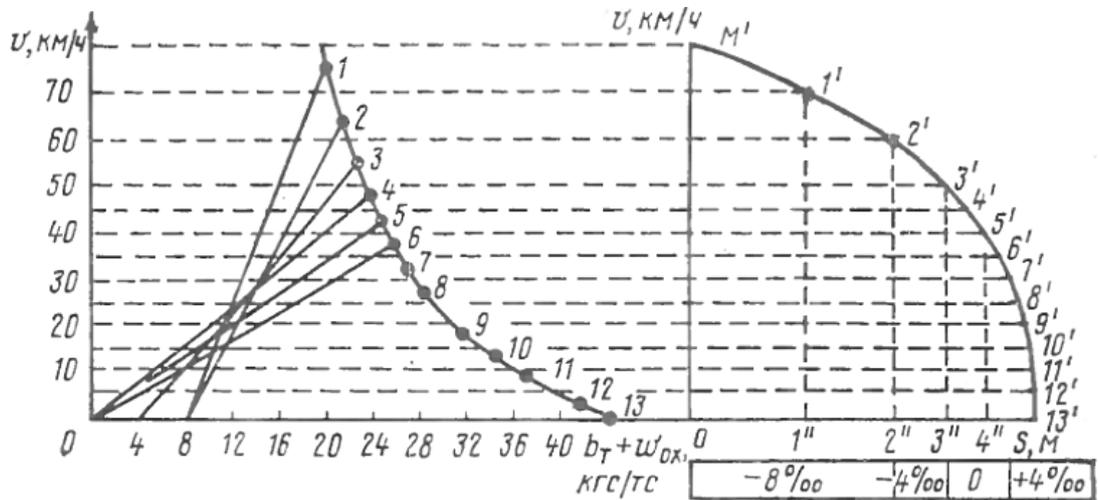


Рис. 2.6. Построение кривой скорости при механическом торможении: 1 - 13 - точки на кривой замедляющих сил; 1' - 13' - точки на кривой скорости

На спусках до $i = -5\text{‰}$ допустимую скорость движения поезда поддерживают прямодействующим тормозом локомотива, поэтому Δv принимают равным нулю.

Практическое построение кривой времени заключается в следующем. Кривую скорости $v(s)$ условно разбивают на отдельные участки: OA , AB , BC , CD и т. д. (рис. 2.7), как правило, определяемые точками перелома кривой скорости $v(s)$.

В пределах каждого промежутка изменения скорости определяют средние скорости $v_a; v_b; v_c; v_d$ (точки a, b, c, d и т. д.), находящиеся в середине участков OA , AB , BC , CD и т. д. Затем откладывают от точки O влево отрезок OK и через точку K проводят вертикальную линию KK' , на которую проектируют точки a, b, c, d и т. д.

Полученные проекции a', b', c', d' и т. д. соединяют с точкой O отрезками Oa', Ob', Oc', Od' , в результате чего образуются углы $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$,

тангенсы углов которых пропорциональны средним скоростям.

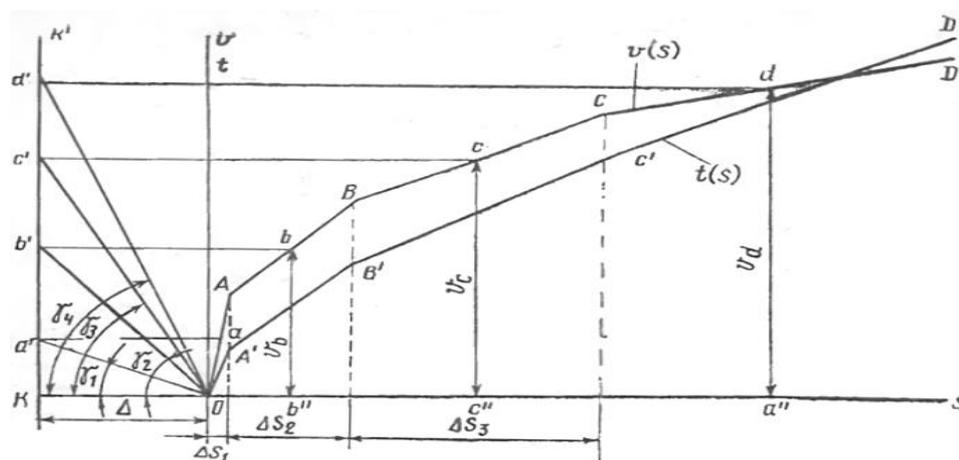


Рис. 2.7. Построение кривой времени графическим способом

К линейке, положенной на луч $0a'$ (точка a' характеризует $v_{ср}$ первого промежутка изменения скорости), прикладывают угольник и через точку O проводят прямую $0A'$, характеризующую время прохождения первого отрезка пути Δs_1 . Второе звено времени строят графическим способом кривой времени перпендикулярно линии $0b'$, из точки A' в пределах отрезка пути Δs_2 (линия $A'B'$) и т. д. Построив отрезки остальных элементов, получают кривую времени для перегона. Общее время, соответствующее пройденному пути, определяют по оси ординат.

Кривые времени строят как для проследования поезда без остановок, так и с остановками на отдельных пунктах. Разность времени между этими кривыми показывает время, необходимое на разгон и замедление поезда в случае его остановок на станции.

2.4. Постановка и решение задачи по изучению технологического процесса движения поезда

В общем случае задача по исследованию процесса движения поезда формулируется обычно следующим образом [34,49].

Движение поезда описывается дифференциальным уравнением (2.1).

Начальное и конечное состояние процесса движения поезда заданы координатами пути S и скорости V , то есть

$$(S_H, V_H), (S_K, V_K) \quad (2.4)$$

На скорость движения поезда и на касательные силы тяги F_K и мощность N_K локомотива накладываются ограничения, а именно

$$(V \leq V^{or}), (F_K \leq F_K^{сц}), (N_K \leq N_K^{max}) \quad (2.5)$$

где $F_K^{сц}$ – касательная силы тяги локомотива по сцеплению колёс с рельсами, Н.

При выбранном управлении $u = f(S)$ решение уравнения (2.1) позволяет однозначно находить и все остальные координаты состояния поезда, в том числе и расходы топливно-энергетических ресурсов E на тягу поездов.

Для условий движения поезда, характеризующихся уравнением (2.1) с учетом (2.4) – (2.5), необходимо отыскать (найти) такое управление $u^* = f(s)$ -сочетание режимов тяги, холостого хода и служебного торможения, которое обеспечит перемещение поезда из начального состояния процесса в конечное с некоторым параметром выигрыша B в конце участка счёта.

Здесь, параметр выигрыша B определяет расход натурального дизельного топлива и электрической энергии, затраты денежных средств и др.

Расчёт расхода электрической энергии на движение поезда при отсутствии рекуперации выполняют, опираясь на построенные кривые скорости $V(S)$, времени $t(S)$ и тока нагрузки $I_{da}(V)$ для электровозов переменного тока.

Расход электрической энергии A_d , затраченной электровозами переменного тока на движение грузовых поездов по участку в режиме тяги, определяем по формуле:

$$A_{Д} = \frac{U_{кc} \sum I_{dai} \cdot \Delta t_i}{60 \cdot 1000}, \text{ кВт-ч} \quad (2.6)$$

где $U_{кc}$ - напряжение в контактной сети, $U_{кc} = 25000$ В; I_{dai} - среднее на i - м интервале значение действующего значения активного тока, потребляемого на тягу тока, А; Δt_i - время прохождения i - го интервала, мин.

Расход электроэнергии на собственные нужды электровоза вычисляем по формуле:

$$A_{c} = r \cdot t_x, \text{ кВт-ч} \quad (2.7)$$

где t_x - общее время хода поезда по участку счёта, мин; r - средний расход электрической энергии на собственные нужды электровоза, кВт - ч/мин.

Полный расход электрической энергии равен:

$$A = A_{Д} + A_{c}, \text{ кВт-ч} \quad (2.8)$$

Удельный расход электрической энергии определяем по формуле:

$$a = \frac{A \cdot 10^3}{Q \cdot L}, \quad \frac{\text{Вт-ч}}{\text{ткм}} \quad (2.9)$$

где Q - масса состава (поезда), т; L - длина участка счёта, км.

Расход дизельного топлива тепловозом, затраченного на перемещение поезда по участку, вычисляем по формуле

$$E = G_{т} t_{т} + g_x t_x, \text{ кг} \quad (2.10)$$

где $G_{т}$ – расход дизельного топлива локомотивами тепловозной тяги на номинальной позиции контролера машиниста, кг/мин; $t_{т}$ – суммарное время

работы тепловоза на режиме тяги, мин; g_x –расход дизельного топлива тепловозом на режимах холостого хода и торможения, кг/мин; t_x –суммарное время движения тепловоза на режиме холостого хода и торможения, мин.

Удельный расход дизельного топлива определяем по формуле:

$$e = \frac{E \cdot 10^4}{Q \cdot L}, \quad \frac{\text{кг}}{10^4 \text{ ткм брутто}} \quad (2.11)$$

Приводим укрупнённый алгоритм реализации задачи по расчёту закона и траектории движения поезда в различных условиях эксплуатации, который является одинаковым для всех анализируемых виртуальных и реальных участков сети железных дорог, в том числе железнодорожных участков АО «Ўзбекистон темир йўллари».

1. Выбираем параметры факторов состояния материально – технической базы и условий организации перевозочной работы локомотивов на участке счёта.
2. Решаем уравнение движения поезда.
3. Обрабатываем результаты решения и осуществляем их анализ.

Выводы по главе 2

1. Обоснованы графические методы расчёта скорости движения и времени хода поезда на различных элементах профиля пути заданного участка.
2. Если принять масштабы сил k и скорости m , а масштаб пути определить по известной формуле [47,48], то построенная для некоторого интервала скорости Δv хорда интегральной кривой $v(s)$ образует с осью пути угол β , равный углу α , пропорциональному удельной равнодействующей сил поезда.

3. Если известны масштабы скорости m и пути y , а масштаб времени определен, то хорда кривой, $t(s)$ построенная для некоторого интервала пути Δs образует с осью времени угол γ равный углу δ , который пропорционален средней скорости в пределах малых интервалов скорости Δv и пути Δs .

4. Сформулирована задача по изучению технологического процесса движения поезда с учётом критерия эффективности и предложен укрупнённый алгоритм её решения, опираясь на реальные условия эксплуатации тягового подвижного состава железных дорог.

ГЛАВА 3. Тяговые расчёты на холмистом участке железной дороги

Вождение грузовых поездов на железных дорогах Узбекистана, организованное электровозами ЗВЛ80^С и тепловозами дизельной тяги серий ТЭ10М и *UzTE16M* в различном секционном исполнении оказывает существенное влияние на повышение эффективности использования железнодорожного транспорта и его локомотивного парка, в частности.

Поэтому изучение условий и определение параметров основных показателей эксплуатации трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых локомотивов ЗВЛ80^С, ЗТЭ10М и *UzTE16M3* на холмистом участке железной дороги с разработкой мероприятий и рекомендаций, направленных на изыскание путей и резервов по повышению эффективности использования локомотивного парка являются актуальной задачей.

3.1. Алгоритм и исходная информация выполнения тягового расчёта

В общем случае тяговые расчёты выполняем по рекомендациям [47,48,50] и следующего алгоритма их реализации [51]:

- выбираются параметры (характеристики) факторов состояния материально-технической базы и условия организации перевозочной работы локомотивов на заданном (принятом) участке счёта;
- разрабатываются модели вождения грузового поезда различной массы состава, организованного локомотивами без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах;
- решаются дифференциальные уравнения движения грузового поезда одним из широко известных методов, используя, например, графический метод для определения скорости движения и времени хода поезда на заданном (принятом) участке железной дороги;
- выполняются тяговые расчёты на заданном участке железной дороги и полученные результаты обрабатываются известными методами математической статистики с последующим их анализом;

- определяются значения кинематических параметров движения грузового поезда и параметры основных топливно - энергетических показателей эффективности использования локомотивов в количественном и денежном исчислении;

- выполняется "построение" уравнений регрессий (аналитических зависимостей), предназначенных для определения численных значений кинематических и энергетических параметров основных показателей топливно – энергетической эффективности использования локомотивов для любой массы состава грузового поезда посредством табличного процессора *Microsoft Office Excel*.

Задан железнодорожный участок $D - F$, состоящий из двух перегонов $D - E$ и $E - F$, спрямленный профиль пути которого представлен в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Спрямленный профиль пути участка $D - E - F$

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Крутизна элемента i , ‰	-1,5	+3,5	+1,76	+6,5	-0,99	-10,0	-1,33	+1,0	+4,8
	0	-3,5	-2,28	0	+1,5	+3,5	+0,9	0	-
Длина элемента S , м	1700	4800	2800	7000	2100	1400	1800	1600	1500
	1500	7200	2500	2500	1600	900	3200	1800	-

Спрямленный профиль звеньевоего пути участка железной дороги протяжённостью 45,9 километров представлен в табл. 3.1, состоящий из двух перегонов $D - E$ и $E - F$ содержит 17 элементов. Одиннадцать из этих элементов с крутизной подъёмов (уклонов) в интервале от +3,0‰ до -3,0‰, включая площадки $i = 0$, составляют приблизительно 50,33 процента от общей длины рассматриваемого участка, что по характеру профиля пути классифицирует его как "холмистый" [52] и относит ко второму типу.

На основании анализа профиля пути видно - наиболее "тяжелым" является элемент 4, который принимаем за расчётный подъём длиной $S_p = 7000$ м и крутизной $i_p = +6,5$ ‰, а элемент 6, имеющий величину уклона $i_{сп} = -10,0$ ‰ и длиной $S_{сп} = 1400$ м - руководящий спуск. Грузовые поезда, обращающиеся на этом участке железной дороги, состоят из пятидесяти

четырёхосных вагонов на подшипниках качения (роликовые) с дифференциацией массы составов на величину $\Delta Q = 500\text{т}$ в диапазоне от $Q_1 = 2500\text{т}$ до $Q_3 = 3500\text{т}$. Постоянные и временно действующие предупреждения о снижении скорости движения отсутствуют. Тормозные колодки чугунные – $\nu_p = 0,33$ кН/кН, а длина приемо - отправочных путей составляет $l_{\text{поп}} = 1050$ м.

Движение грузовых поездов на заданном виртуальном холмистом участке организовано трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми локомотивами – электровозы ЗВЛ80^С и тепловозы ЗТЭ10М, UzTE16M3 с остановками и без остановок на промежуточной станции.

3.2. Методика выполнения тягового расчёта для локомотивов дизельной и электрической тяги АО «Ўзбекистон темир йўллари»

Для реализации этой методики составляем математические модели ведения грузового поезда электровозами ЗВЛ80^С, тепловозами ЗТЭ10М и UzTE16M3, рассчитываем таблицы и осуществляем построение диаграмм удельных равнодействующих сил поезда, и, опираясь на изложенные выше рекомендации, выполняем построение кривых тока (для электрической тяги), скорости движения и времени хода поезда на заданном участке счёта.

В табл. 3.2...3.5 приведены численные значения удельных равнодействующих (ускоряющих и замедляющих) сил грузового поезда различной массы составов ($Q = 2500...3500\text{т}$) и одинакового числа осей $m = 200$ осей на режимах тяги, холостого хода и торможения.

Далее, по данным табл. 3.2...3.5 были построены диаграммы упомянутых равнодействующих сил для исследуемых трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых локомотивов.

Все указанные выше построения выполняются на миллиметровой бумаге, в процессе которых соблюдаются строго выбранные и выверенные между собой масштабы графического построения, опираясь на рекомендации ПТР [46].

Таблица 3.2. Удельные равнодействующие силы поезда для режима тяги, электровоз 3ВЛ80^С

v	F _к	w'' ₀	Q ₁ = 2500 т			Q ₂ = 3000 т			Q ₃ = 3500 т		
			w'' ₀	w ₀	f _к - w ₀	w'' ₀	w ₀	f _к - w ₀	w'' ₀	w ₀	f _к - w ₀
км/ч	Н	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	931950	1,90	0,94	1,04	33,03	0,90	0,99	27,90	0,87	0,95	24,13
4,5	931950	1,95	0,98	1,08	32,99	0,93	1,02	27,87	0,90	0,98	24,10
10	877014	2,03	1,04	1,14	30,93	0,99	1,08	26,11	0,65	1,03	22,57
20	824040	2,22	1,18	1,29	28,84	1,10	1,20	24,35	1,05	1,14	21,04
30	788724	2,47	1,36	1,47	27,37	1,25	1,36	23,09	1,18	1,28	19,94
40	759294	2,78	1,58	1,70	26,18	1,43	1,55	21,99	1,34	1,45	18,98
43,5	753408	2,90	1,66	1,79	25,76	1,50	1,62	21,73	1,39	1,50	18,77
50	735750	3,15	1,85	1,98	24,92	1,65	1,78	21,03	1,52	1,64	18,16
56,5	723978	3,42	2,03	2,17	24,30	1,81	1,95	20,50	1,65	1,78	17,70
60	635688	3,58	2,14	2,29	20,95	1,90	2,05	17,66	1,74	1,88	15,23
70	444393	4,07	2,48	2,64	13,61	2,19	2,35	11,43	1,98	2,14	9,92
80	326673	4,62	2,87	3,05	8,89	2,50	2,69	7,44	2,25	2,43	6,36
90	254570	5,23	3,28	3,48	5,83	2,86	3,07	4,82	2,54	2,74	4,11
100	201596	5,90	3,74	3,96	3,41	3,24	3,47	2,78	2,88	3,11	2,32

Таблица 3.3. Удельные равнодействующие силы поезда для режима холостого хода и торможения, электровоз 3ВЛ80^С

v	w _х	φ _{кр}	b _т	Q ₁ = 2500 т			Q ₂ = 3000 т			Q ₃ = 3500 т		
				w _{ох}	w _{ох} +0,5b _т	w _{ох} +b _т	w _{ох}	w _{ох} +0,5b _т	w _{ох} +b _т	w _{ох}	w _{ох} +0,5b _т	w _{ох} +b _т
км/ч	Н/кН	—	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	2,40	0,270	89,10	1,09	45,64	90,19	1,03	45,58	90,13	0,99	45,54	90,09
10	2,54	1,198	65,34	1,19	33,86	65,53	1,13	33,80	66,47	1,07	33,74	66,41
20	2,76	0,162	53,46	1,34	28,07	54,80	1,25	27,98	54,71	1,18	27,91	54,64
30	3,05	0,140	46,20	1,53	24,63	47,73	1,41	24,51	47,61	1,32	24,42	47,52
40	3,40	0,126	41,58	1,77	22,56	43,35	1,60	22,39	43,18	1,50	22,29	43,08
50	3,83	0,116	38,28	2,05	21,19	40,33	1,84	20,98	40,12	1,70	20,84	39,98
60	4,32	0,108	35,64	2,37	20,19	38,01	2,11	19,93	37,75	1,94	19,76	37,58
70	4,89	0,102	33,66	2,73	19,56	36,39	2,43	19,26	36,09	2,20	19,03	35,86
80	5,52	0,097	32,01	3,14	19,14	35,15	2,76	18,76	34,77	2,50	18,51	34,51
90	6,23	0,093	30,69	3,58	18,93	34,27	3,16	18,51	33,85	2,82	18,17	33,51
100	7,00	0,090	29,70	4,07	18,92	33,77	3,57	18,42	33,27	3,19	18,04	32,89

На рис. 3.1...3.9 показаны фрагменты зависимостей $v(s)$, $t(s)$ и $I_{da}(s)$, которые были нами построены с учётом заданных характеристик материально - технической базы и принятых в расчётах условий организации

перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М, УзТЕ16МЗ и электровозов ЗВЛ80^С на виртуальном холмистом участке железной дороги.

Таблица 3.4. Удельные равнодействующие силы поезда для режима тяги, локомотивы дизельной тяги

v	F_k	w'_0	$Q_1 = 2500 \text{ Т}$			$Q_1 = 3000 \text{ Т}$			$Q_1 = 3500 \text{ Т}$		
			w''_0	w_0	$f_k - w_0$	w''_0	w_0	$f_k - w_0$	w''_0	w_0	$f_k - w_0$
км/ч	Н	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	1360000	1,90	0,94	1,04	46,50	0,87	0,99	39,65	0,87	0,95	34,44
10	1168000	2,03	1,04	1,08	39,68	0,95	1,02	33,86	0,94	0,98	29,36
13	1125000	2,08	1,08	1,14	38,13	0,97	1,02	32,51	0,97	0,98	29,21
20	839000	2,22	1,18	1,29	28,02	1,05	1,20	23,89	1,04	1,14	20,68
30	600000	2,47	1,36	1,47	19,47	1,18	1,36	16,60	1,17	1,28	14,32
40	470000	2,78	1,58	1,70	14,69	1,34	1,55	12,54	1,33	1,45	10,76
50	375000	3,15	1,84	1,79	11,02	1,53	1,78	9,49	1,51	1,64	8,06
60	312000	3,58	2,14	1,98	8,57	1,74	2,05	7,36	1,73	1,88	6,20
70	273000	4,07	2,48	2,17	6,84	1,99	2,35	5,92	1,97	2,14	4,92
80	235000	4,62	2,86	2,29	5,11	2,26	2,69	4,47	2,24	2,43	3,62
90	21400	5,23	3,28	2,64	3,93	2,57	3,50	4,82	2,54	2,74	2,75
100	194000	5,90	3,74	3,05	2,74	2,90	2,53	2,78	2,87	3,11	1,86

Таблица 3.5. Удельные равнодействующие силы поезда для режима холостого хода и торможения, локомотивы дизельной тяги

v	w_x	$\varphi_{кр}$	b_T	$Q_1 = 2500 \text{ Т}$			$Q_2 = 3000 \text{ Т}$			$Q_3 = 3500 \text{ Т}$		
				w_{ox}	$w_{ox}+0,5b_T$	$w_{ox}+b_T$	w_{ox}	$w_{ox}+0,5b_T$	$w_{ox}+b_T$	w_{ox}	$w_{ox}+0,5b_T$	$w_{ox}+b_T$
км/ч	Н/кН	—	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН	Н/кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	2,40	0,270	89,10	1,15	45,69	90,25	1,06	45,61	90,16	1,03	45,58	90,13
10	2,54	1,198	65,34	1,25	33,92	66,59	1,13	33,80	66,47	1,11	33,70	66,45
20	2,76	0,162	53,46	1,40	28,13	54,86	1,23	27,96	54,69	1,22	27,76	54,68
30	3,05	0,140	46,20	1,60	24,70	47,80	1,37	24,54	47,70	1,37	24,13	47,57
40	3,40	0,126	41,58	1,84	22,63	43,42	1,54	23,33	43,12	1,55	21,82	43,13
50	3,83	0,116	38,28	2,12	21,26	40,40	1,74	20,84	39,93	1,76	20,17	40,04
60	4,32	0,108	35,64	2,45	20,27	38,09	1,98	19,80	37,62	2,00	18,85	37,64
70	4,89	0,102	33,66	2,82	19,65	36,48	2,26	19,09	35,92	2,28	17,86	35,94
80	5,52	0,097	32,01	3,24	19,24	35,25	2,56	18,60	34,64	2,59	17,04	34,60
90	6,23	0,093	30,69	3,70	19,04	34,39	2,90	18,29	33,68	2,93	16,38	33,61
100	7,00	0,090	29,70	4,20	19,01	33,90	3,28	18,13	32,98	3,31	15,88	33,01

На рис. 3.1 – рис. 3.9 обозначено: D, E, F – соответственно, станции отправления, промежуточная и прибытия (конечная); $V'(S)$ и $t'(S)$ – кривые

скорости движения и времени хода поезда на проход, без остановки на промежуточной станции E ; $V''(S)$ и $t''(S)$ – кривые скорости движения и времени хода поезда за период его разгона при трогании с места по промежуточной станции E ; $I'_{da}(S)$ и $I''_{da}(S)$ – соответственно, кривые тока для электровоза за период движения поезда на проход, без остановки и за время его разгона, после остановки, при трогании с места на промежуточной станции E ; S^E_3 и ΔE^B_3 – путь и время замедления при торможении на промежуточной станции E ; S^E_p и Δt^E_p – путь и время разгона в процессе трогания поезда с места на промежуточной станции E ; S^F_3 и Δt^F_3 – путь и время замедления при торможении на станции прибытия F ; t_1 и t_2 – соответственно, время проследования промежуточной станции E поездом на проход, без остановки и после остановки; ТД и ТО – соответственно, тормоза действуют и тормоза отпущены.

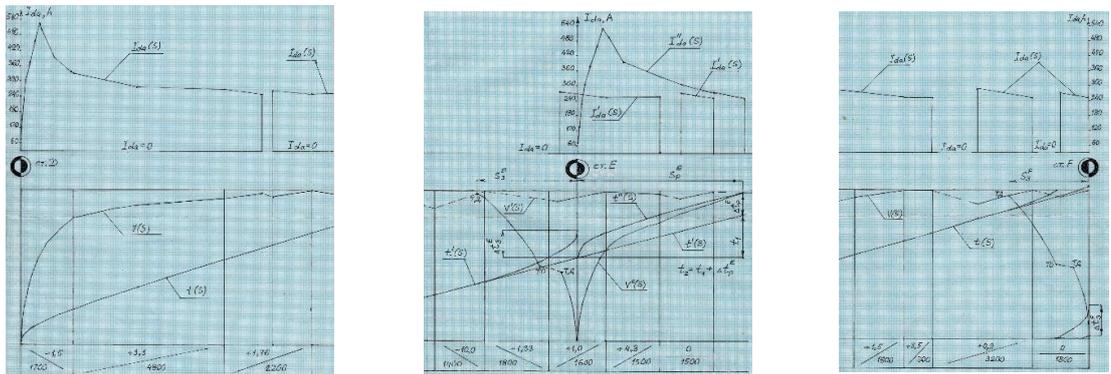


Рис. 3.1. Фрагмент тягового расчёта для электровоза 3ВЛ80^С, $Q_1 = 2500$ т

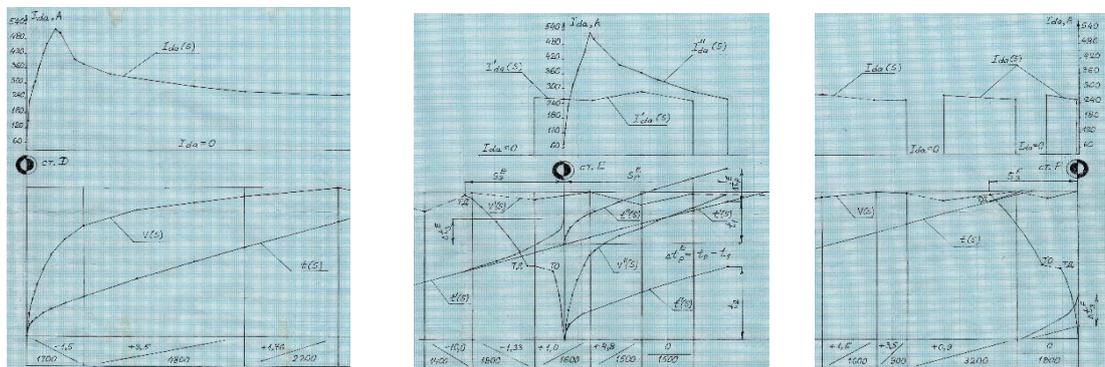


Рис. 3.2. Фрагмент тягового расчёта для электровоза 3ВЛ80^С, $Q_2 = 3000$ т

Путь замедления S^E_3 , S^F_3 – расстояние, которое проходит поезд от начала торможения (перевода ручки крана машиниста в тормозное положение) до полной остановки поезда.

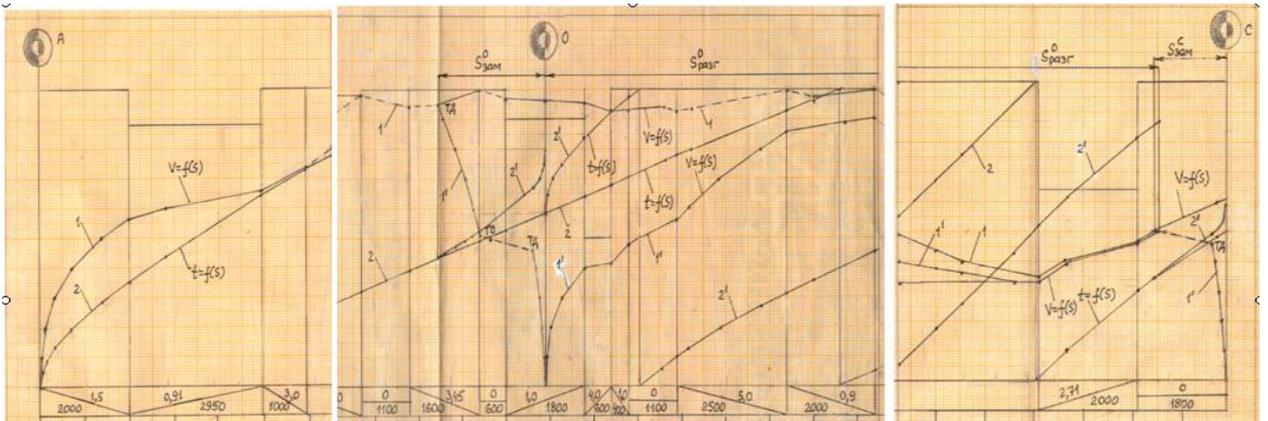


Рис. 3.7. Фрагмент тягового расчёта для тепловоза ЗТЭ10М, $Q_1 = 2500$ т

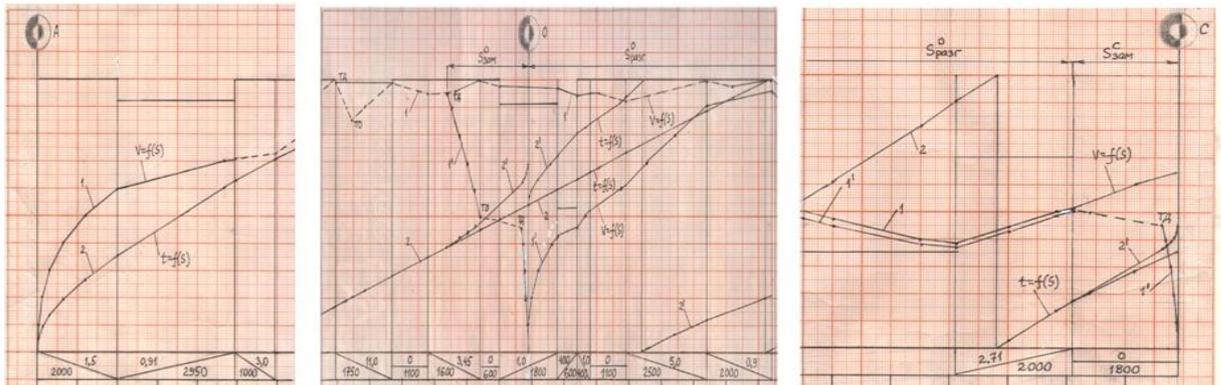


Рис. 3.8. Фрагмент тягового расчёта для тепловоза ЗТЭ10М, $Q_2 = 3000$ т

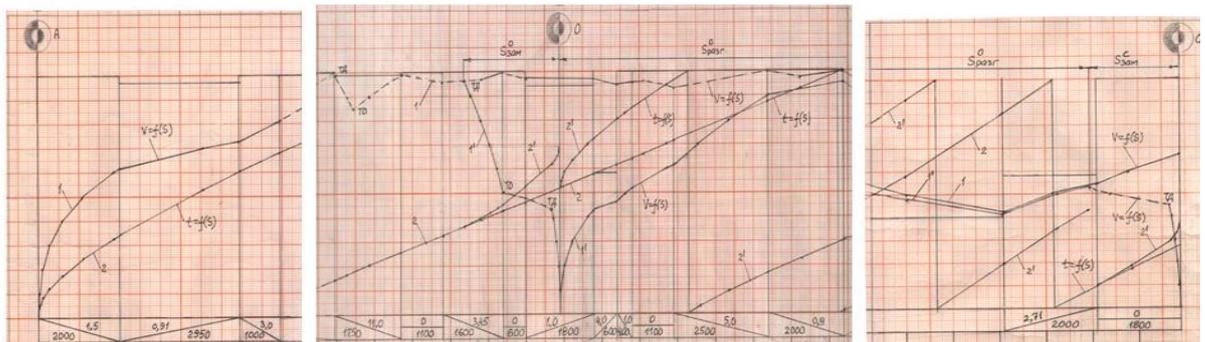


Рис. 3.9. Фрагмент тягового расчёта для тепловоза ЗТЭ10М, $Q_3 = 3500$ т

Время замедления Δt^E_3 , Δt^F_3 при торможении поезда перед остановкой на станциях промежуточной и прибытия – время хода поезда, в течение которого он производит остановку (останавливается).

Время разгона Δt^E_p в процессе трогания поезда с места на промежуточной станции – время хода поезда, за которое он "догонит" безостановочное движение.

Время хода грузового поезда на замедление – разгон можно определить аналитическим способом, используя несложную формулу (см. рис. 3.2 - Δt^E_p

$= t_2 - t_1$) – то есть, путём вычитания из времени хода поезда с остановками безостановочного времени хода поезда. Или же, благодаря графическому методу, опираясь на уже построенные кривые времени хода грузового поезда так, как показано на рис. 3.2 и рис. 3.3 – для времени хода поезда на замедление или как обозначено в [53] – для времени хода поезда на разгон.

При этом, основу каждого вида движения составляет принцип максимального использования мощности и тягово - эксплуатационных качеств (свойств) локомотива [47,50,54], что для электровоза ЗВЛ80^С, на режимах тяги, соответствует номинальной 33-й позиции главного контроллера машиниста на второй ступени ослабления поля тяговых электродвигателей в сочетании с режимами холостого хода и служебного торможения, а для тепловозов ЗТЭ10М и *UzTE16M3* – это 15-я номинальная позиция контроллера машиниста на полном поле (ПП), а также первой (ОП1) и второй (ОП2) ступенях ослабления поля тяговых электродвигателей.

В зависимости от величины крутизны уклона и сочетания элементов профиля пути движение поезда может быть ускоренным, равномерным или замедленным.

Для анализа результата вышеупомянутых исследований в качестве критерия обоснования приняты кинематические параметры движения грузовых поездов и энергетические показатели эффективности использования локомотивного парка на различных режимах вождения локомотивов при организации железнодорожных перевозок разных по структуре и содержанию грузов с остановками и без остановок на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах.

Опираясь на изложенные выше методики, исходные данные и алгоритм выполнения тяговых расчётов в последующих главах настоящей магистерской диссертации решаем задачи по управлению движением грузовых поездов трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми электровозами ЗВЛ80^С и тепловозами ЗТЭ10М, *UzTE16M3* на, принятом нами, виртуальном холмистом участке железной дороги.

Выводы по главе 3

Предложен алгоритм выполнения тягового расчёта и исходная информация для его реализации с учётом анализа спрямлённого профиля пути заданного (принятого) виртуального холмистого участка железной дороги и условий железнодорожных перевозок разных по структуре, типу, виду и содержанию грузов.

Приведена и реализована методика тягового расчёта для локомотивов электрической (электровозы ЗВЛ80^С) и дизельной (тепловозы ЗТЭ10М и *UzTE16M3*) тяги на заданном (принятом), виртуальном, холмистом участке железной дороги, опираясь на характеристики материально - технической базы и принятые в расчётах разнообразные условия организации перевозочной работы локомотивного парка.

4. Оценка энергетической эффективности использования локомотивной тяги на холмистом участке железной дороги

4.1. Анализ энергетической эффективности электрической тяги

4.1.1. Обоснование параметров основных показателей перевозочной работы электровозов 3ВЛ80^С

Целью данного исследования является теоретическое обоснование кинематических параметров движения грузовых поездов с учётом анализа остановочного процесса на промежуточной и конечной станции, и параметров основных энергетических показателей эффективности использования магистральных (поездных) грузовых электровозов серии ВЛ80^С на виртуальном холмистом участке железной дороги, опираясь на разные организационные и технические условия эксплуатации аналогичные реальным.

Настоящие исследования являются логическим продолжением работ [55,56] и поэтому основу, разработанного алгоритма реализации для сформулированной выше цели исследований, составили методы и способы [47,48] теории локомотивной тяги, исходные данные [57,58] об материально – технологических условиях организации перевозочной работы грузовых локомотивов на спрямлённом профиле пути исследуемого участка железной дороги, объект и предмет исследований.

Объект исследования составили грузовые поезда с различной массой и одинаковым числом осей состава, трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые электровозы серии 3ВЛ80^С и спрямлённый профиль пути первого типа виртуального равнинного участка железной дороги.

Предметом исследования являются кинематические параметры движения грузового поезда с учётом анализа особенностей остановочного процесса его на промежуточной и конечной станции для трёх масс и постоянного числа осей состава, а также параметры основных энергетических показателей эффективности использования исследуемых

электровозов ЗВЛ80^С в количественном и денежном исчислении на заданном виртуальном участке железной дороги.

Конструктивные особенности, технические параметры, тяговые и токовые характеристики, энергетические и эксплуатационные показатели исследуемого грузового электровоза ЗВЛ80^С подробно освещены в [50,59], а характеристика спрямлённого профиля пути виртуального холмистого участка железной дороги, поэлементно, приведена в [57].

В табл. 4.1 и табл. 4.2 приведены численные значения кинематических параметров движения грузовых поездов по каждому перегону виртуального холмистого участка железной дороги на разных режимах работы силовых энергетических систем электровозов ЗВЛ80^С без остановок и с остановками на промежуточной станции при реализации железнодорожных перевозок грузов с учётом времени на замедление - разгон. В табл. 4.1 обозначено: знак (индекс) звёздочка * – время на разгон грузового поезда со станции отправления, которое принято согласно рекомендациям [46,50], а знак (индекс) две звёздочки ** - это усреднённое время хода грузового поезда на разгон – замедление в процессе движения с остановками

Таблица 4.1. Время хода грузового поезда по перегонам без остановок и по промежуточной станции на замедление – разгон

Промежуточные Станции	Расстояние, км	по перегонам, мин			на замедление/разгон, мин		
		масса состава, т			масса состава, т		
		$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$	$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$
Ст. D	-	-	-	-	- / 2,00*	- / 2,0*	- / 2,00*
Ст. E	22,40	15,55	15,90	17,30	1,75 / 1,95	1,85 / 2,25	2,05 / 2,45
Ст. F	23,50	14,60	15,00	14,80	2,05 / -	2,10 / -	2,15 / -
Участок D – F	45,90	30,15	30,90	32,10	1,90** / 1,97**	1,97** / 2,12**	2,10** / 2,22**

Проведённый анализ данных табл. 4.1 и табл. 4.2 говорит о том, что для средних значений кинематических параметров движение грузовых поездов с различной массой и постоянным количеством осей состава на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, организованное с остановками

на промежуточной станции по отношению к аналогичному движению без остановок на ней, способствует:

- увеличению общего времени хода поезда на 6,15 мин и уменьшению технической скорости движения на 14,64 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку, приблизительно, в 3,07 минуты;
- значениям долей движения на режимах тяги в 62,29 процента, а холостого хода и торможения в 37,71 процента;
- уменьшению доли движения в режимах тяги и увеличению доли движения холостого хода и торможения, приблизительно, на 3,15 процента.

Таблица 4.2. Распределение времени хода грузового поезда по перегонам холмистого участка $D - F$, электровозы ЗВЛ80^С

№ п/п	Масса состава $Q, т$	Скорость движения $V, км/ч$	Без остановок / С остановками, мин		
			по перегону	в режиме	
				тяги	холостого хода и торможения
Перегон $D - E$					
1	2500	86,43/77,24	15,55/17,40	12,75/12,50	2,80/4,90
2	3000	84,52/73,84	15,90/18,20	13,30/13,20	2,60/5,00
3	3500	77,68/68,57	17,30/19,60	14,80/14,50	2,50/5,10
Перегон $E - F$					
1	2500	96,57/77,04	14,60/18,30	7,30/9,60	7,30/8,70
2	3000	94,00/74,21	15,00/19,00	7,00/9,90	8,00/9,10
3	3500	95,27/73,82	14,80/19,10	6,80/9,80	8,00/9,30
Участок $D - F$					
1	2500	91,34/77,14	30,15/35,70	20,05/22,10	10,10/13,60
2	3000	89,12/74,03	30,90/37,20	20,30/23,10	10,60/14,10
3	3500	85,79/71,16	32,10/38,70	20,60/24,30	11,50/14,40
Средние значения		88,75/74,11	31,05/37,20	20,32/23,17	10,73/14,03

На рис. 4.1 и рис. 4.2, соответственно, приведены численные значения и показана динамика кинематических параметров остановочного процесса - гистограммы изменения расстояния, которое грузовые поезда проходят в случае остановок на промежуточной и конечной станции и графики

изменения их скоростей движения в момент начала торможения и в результате завершения разгона на этих станциях.

На рис. 4.1 и рис. 4.2 обозначено: S_3' и S_3'' – путь замедления грузового поезда, соответственно, на промежуточной станции и станции прибытия в случае торможения грузового поезда; S_p' – путь разгона грузового поезда на промежуточной станции при трогании с места; V_3' и V_3'' – скорость движения грузового поезда в начале торможения, соответственно, на промежуточной станции и станции прибытия; V_p' – скорость движения грузового поезда в момент "нагона" безостановочного хода поезда на промежуточной станции.

Путь замедления S_3' и S_3'' – расстояние, которое грузовой поезд проходит от начала торможения (перевода ручки крана машиниста в тормозное положение) до полной остановки поезда. Путь разгона S_p' – расстояние, проходимое грузовым поездом от момента начала трогания с места на промежуточной станции до момента завершения разгона, то есть "нагона" безостановочного хода поезда.

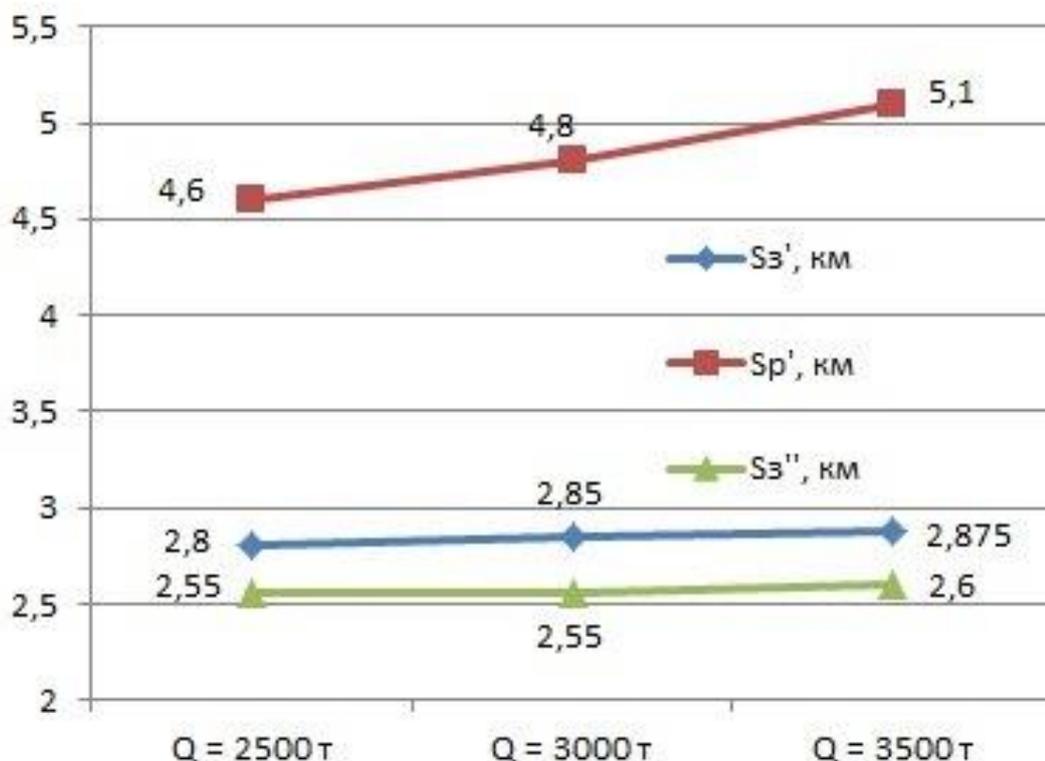


Рис 4.1. Путь, проходимый грузовым поездом при торможении и трогании с места на промежуточной станции и станции прибытия

По гистограммам изменения пути на рис. 4.1 и графикам изменения скорости движения на рис. 4.2 видно, что с увеличением массы состава грузового поезда в случае торможения его на промежуточной станции и станции прибытия происходит увеличение пути замедления S_3' , S_3'' и пути разгона S_p' . При этом сопутствующие им скорости движения V_3' и V_p' по станции D уменьшаются, а скорость движения V_3'' по станции F увеличивается.

Помимо этого, темп изменения (нарастания или убывания) значений упомянутых выше увеличений и уменьшений в зависимости от массы состава грузового поезда, также неодинаковый.

Полученные нами темпы изменения (нарастания или убывания) значений кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции для пути перемещения и скорости движения грузовых поездов при каждом последовательном увеличении – уменьшении их массы состава на фиксированную величину $\Delta Q = 500\text{т}$ приведены в табл. 4.3.

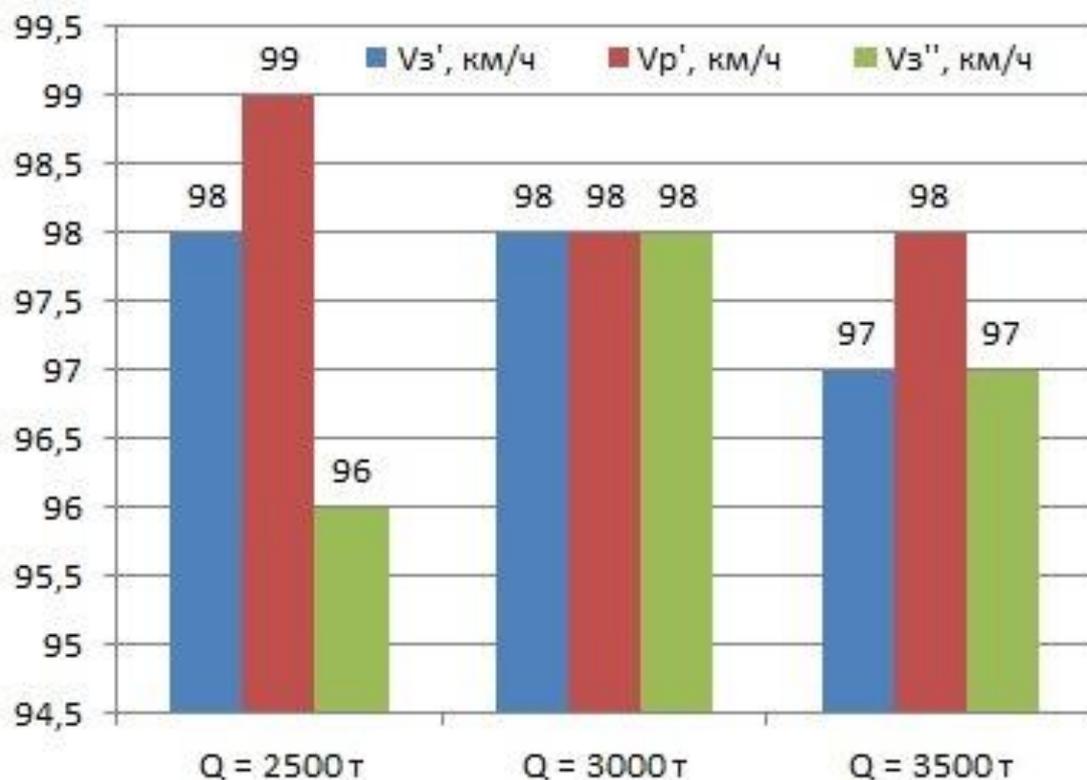


Рис 4.2. Скорость движения грузового поезда в начале торможения и в завершение разгона на промежуточной станции и станции прибытия

В табл. 4.3, под темпом изменения (нарастания или убывания) значений следует понимать некое соответствующее численное значение, которое для каждого последовательного увеличения – уменьшения массы состава грузового поезда определяется как отношение последующего значения рассматриваемого параметра (путь или скорость движения) к предыдущему значению. Например: при увеличении массы состава с $Q_1 = 2500$ т до $Q_2 = 3000$ т грузового поезда темп изменения пути разгона S_p' его на промежуточной станции составит 1,043 единицы, то есть $S_{p2}' = 4,8$ км : $S_{p1}' = 4,6$ км = 1,043 единицы, а при уменьшении массы состава с $Q_2 = 3000$ т до $Q_1 = 2500$ т грузового поезда темп изменения скорости движения V_p' его в завершении разгона на промежуточной станции составит 1,010 единицы, то есть $V_{p1}' = 99$ км/ч : $V_{p2}' = 98$ км /ч = 1,010 единицы.

Динамика изменения кинематических параметров остановочного процесса по пути, скорости и времени движения в диапазоне принятого нами интервала варьирования (дифференциации) на величину $\Delta Q = 500$ т массы состава (от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т) грузового поезда описывается следующими аналитическими зависимостями:

$$S_3' = -0,0125Q^2 + 0,0875Q + 2,725 \quad R^2=1,0 \quad (4.1)$$

$$S_3'' = 0,025Q^2 - 0,075Q + 2,6 \quad R^2=1.0 \quad (4.2)$$

$$S_p' = 0,05Q^2 + 0,05Q + 4,5 \quad R^2=1,0 \quad (4.3)$$

$$V_3' = -0,5Q^2 + 1,5Q + 97 \quad R^2=1,0 \quad (4.4)$$

$$V_3'' = -1,5Q^2 + 6,5Q + 91 \quad R^2=1,0 \quad (4.5)$$

$$V_p' = 0,5Q^2 - 2,5Q + 101 \quad R^2=1,0 \quad (4.6)$$

$$t_3' = 0,05Q^2 - 0,05Q + 1,75 \quad R^2=1,0 \quad (4.7)$$

$$t_3'' = 0,05Q + 2 \quad R^2=1.0 \quad (4.8)$$

$$t_p' = -0,05Q^2 + 0,45Q + 1,55$$

$$R^2 = 1,0 \quad (4.9)$$

Таблица 4.3. Кинематические параметры остановочного процесса грузового поезда на холмистом участке железной дороги, электровозы ЗВЛ80^С

№ п/п	Условия перевозочной работы		Кинематические параметры остановочного процесса грузового поезда					
	масса состава $Q, т$	число осей $m, оси$	Путь замедления и разгона			Скорость движения при торможении и разгоне		
			по станции E, S_3'	по станции F, S_3''	станции E, S_p'	по станции E, V_3'	по станции F, V_3''	по станции E, V_p'
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Темп изменения кинематических параметров при остановке грузового поезда								
При увеличении массы состава								
1	2500	200	-	-	-	-	-	-
2	3000	200	1,018	1,000	1,043	1,000	1,021	0,990
3	3500	200	1,009	1,019	1,062	0,990	0,990	1,000
4	Средние значения		1,013	1,009	1,009	0,995	1,005	0,995
При уменьшении массы состава								
1	3500	200	-	-	-	-	-	-
2	3000	200	0,991	0,981	0,941	1,010	1,010	1,000
3	2500	200	0,982	1,000	0,958	1,000	0,980	1,010
4	Средние значения		0,986	0,990	0,949	1,005	0,995	1,005

В формулах (4.1) – (4.9) приводится достаточная величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1,0$ (необходимое условие достоверности - $R^2 \geq 0,8$), а величина $Q_i = 1, 2, 3$ обозначает варианта тягового расчёта. Параметры энергетических показателей эффективности использования трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80^С на виртуальном холмистом участке железной дороги при движении без остановок и с остановками на промежуточной станции в зависимости от различных условий организации перевозочной работы локомотивов в количественном и денежном исчислении приведены в табл. 4.4. Индексом (знаком) звёздочка * обозначены затраты денежных средств (стоимость электрической энергии) с учётом налога на добавленную стоимость (НДС).

Динамика усреднённых значений кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров энергетических показателей

работы исследуемых грузовых электровозов ЗВЛ80^С в зависимости от массы состава грузового поезда для двух (обоих) видов железнодорожных перевозок грузов показаны, соответственно, на рис. 4.3 (значения скорости движения V , км/ч уменьшены в два раза) и рис. 4.4. Параметры усреднённых значений энергетических показателей перевозочной работы исследуемых грузовых электровозов ЗВЛ80^С на рис. 4 уменьшены: полный A расход электрической энергии в 40 раз, полная C_3 и удельная c_3 стоимости электрической энергии без учёта НДС, соответственно, в 5000 раз и 100 раз, а полная C_3' и удельная c_3' стоимости электрической энергии с учётом НДС, соответственно, в 7500 раз и 200 раз.

Упомянутые выше усреднённые значения были вычислены (определены), как величины среднеарифметические, по двум видам движения в принятом нами диапазоне изменения массы составов (от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т) грузового поезда.

Оценка и анализ эффективности перевозочной работы трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80^С на заданном, виртуальном, холмистом участке железной дороги проводились путём сопоставления между собой значений вышеупомянутых кинематических и энергетических параметров с аналогичными значениями графического (унифицированного) грузового поезда.

Сравнительный анализ результата тягового расчёта (табл. 4.1, табл. 4.2 и табл. 4.4) относительно графического грузового поезда с унифицированной массой состава $Q_2=3000$ т и постоянным числом $m = 200$ осей в составе показал следующее (значения для условий движения с остановками на промежуточной станции приведены в скобках).

1. Усреднённое общее время хода поезда составляет 0,517ч (0,62ч), уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к уменьшению общего времени хода поезда на 2,43 (4,03) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т происходит увеличение этого времени на 3,88 (4,03) процента.

2. Техническая скорость движения поезда при аналогичном изменении

массы состава, имеет тенденцию к повышению и снижению в тех же пределах, причём, в среднем, она равна 88,75 (74,11) км/ч.

3. Усреднённое время хода поезда на разгон – замедление составляет 0,0341ч, уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к уменьшению времени на замедление и на разгон, соответственно, на 3,55 процента и 7,07 процента. С увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т время хода поезда на разгон и замедление увеличивается, соответственно, на 6,6 процента и 4,72 процента.

4. Полный и удельный средние расходы электрической энергии на тягу поездов составляют, соответственно, 2630,26 (2902,69) кВт-ч и 19,25 (21,26) Вт-ч/т км. Полная и удельные средние стоимости электрической энергии соответствуют, соответственно, 228937,3 (252650) сўм и 5024,76 (5504,3) сўм – без учёта НДС и 274599 (303041) сўм и 5982,5 (6602,2) сўм – с учётом НДС.

5. Увеличение массы состава на $\Delta Q = 500$ т способствует увеличению полного расхода электроэнергии на 7,62 (7,08) процента, однако, удельный расход электроэнергии при этом уменьшается на 7,76 (8,2) процента, а уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т обеспечивает уменьшение полного и увеличение удельного расхода электроэнергии, соответственно, на 11,21 (10,79) и 6,52 (7,08) процента.

6. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к снижению полной и удельной стоимости в среднем на 11,21 (10,78) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т происходит повышение этих показателей в среднем на 7,62 (7,08) процента.

7. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к повышению и снижению показателей использования режимов тяги [50,60], а также холостого хода и торможения [50,60], соответственно, на 0,8 (0,2) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т, наоборот, происходит снижение и повышение этих показателей на 1,53 (0,7) процента.

8. Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также в режиме тяги колеблется, соответственно, от 0,168ч (0,223ч) до 0,192ч

(0,240ч) и от 0,334ч (0,368ч) до 0,3243 (0,405ч). При увеличении массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ происходит увеличение времени хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также в режиме тяги, соответственно, на 0,015ч (0,005ч) и 0,005ч (0,02ч). Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения увеличивается, а в режиме тяги уменьшается, соответственно, на 0,008ч (0,008ч) и 0,004ч (0,017ч) с уменьшением на $\Delta Q = 500\text{т}$ массы состава.

Таблица 4.4. Показатели перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С на холмистом участке железнодорожного пути

Условия перевозочной работы			Расход электроэнергии		Стоимость электрической энергии			
масса состава Q , т	число осей m , оси	скорость движения поезда, V , км/ч	полный A , кВт-ч	удельный a , Вт-ч/ткм брутто	полная C_3 , съм	полная C_3 с НДС, съм	удельная c_3 , съм/км	удельная c_3 с НДС, съм/км
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Движение без остановок								
Перегон $D - E$								
2500	200	86,43	1585,42	28,31	137995	165518	6160,5	7389,2
3000	200	84,52	1843,12	27,43	160425	192422	7161,8	8590,2
3500	200	77,68	2017,97	25,74	175644	210676	7841,2	9405,2
Перегон $E - F$								
2500	200	96,57	778,16	13,24	67731	81240	2882,2	3457,0
3000	200	94,00	819,00	10,30	71286	85504	3033,4	3638,4
3500	200	95,27	847,10	25,74	73731	88437	3137,5	3763,3
Участок $D - F$								
2500	200	91,34	2363,58	20,59	205726	246758	4482,1	5376,0
3000	200	89,12	2662,12	19,33	231711	277926	5048,2	6055,0
3500	200	85,79	2865,07	17,83	249375	299113	5544,0	6516,6
Движение с остановками								
Перегон $D - E$								
2500	200	77,24	1555,61	27,78	135400	162406	6044,6	7250,2
3000	200	73,84	1823,90	27,14	158752	190415	7087,1	8500,7
3500	200	68,57	1982,57	25,29	172563	206980	7703,7	9240,2
Перегон $E - F$								
2500	200	77,04	1066,40	18,50	92819	111332	3949,8	4737,5
3000	200	74,21	1115,08	15,82	97056	116414	4130,1	4953,8
3500	200	73,82	1164,52	14,16	101360	121576	4313,2	5173,4

Участок D – F								
2500	200	77,14	2622,01	22,85	228219	273738	4972,1	5963,8
3000	200	74,03	2938,98	21,34	255808	306829	5573,1	6684,7
3500	200	71,16	3147,09	19,59	273923	328556	5967,8	7158,1

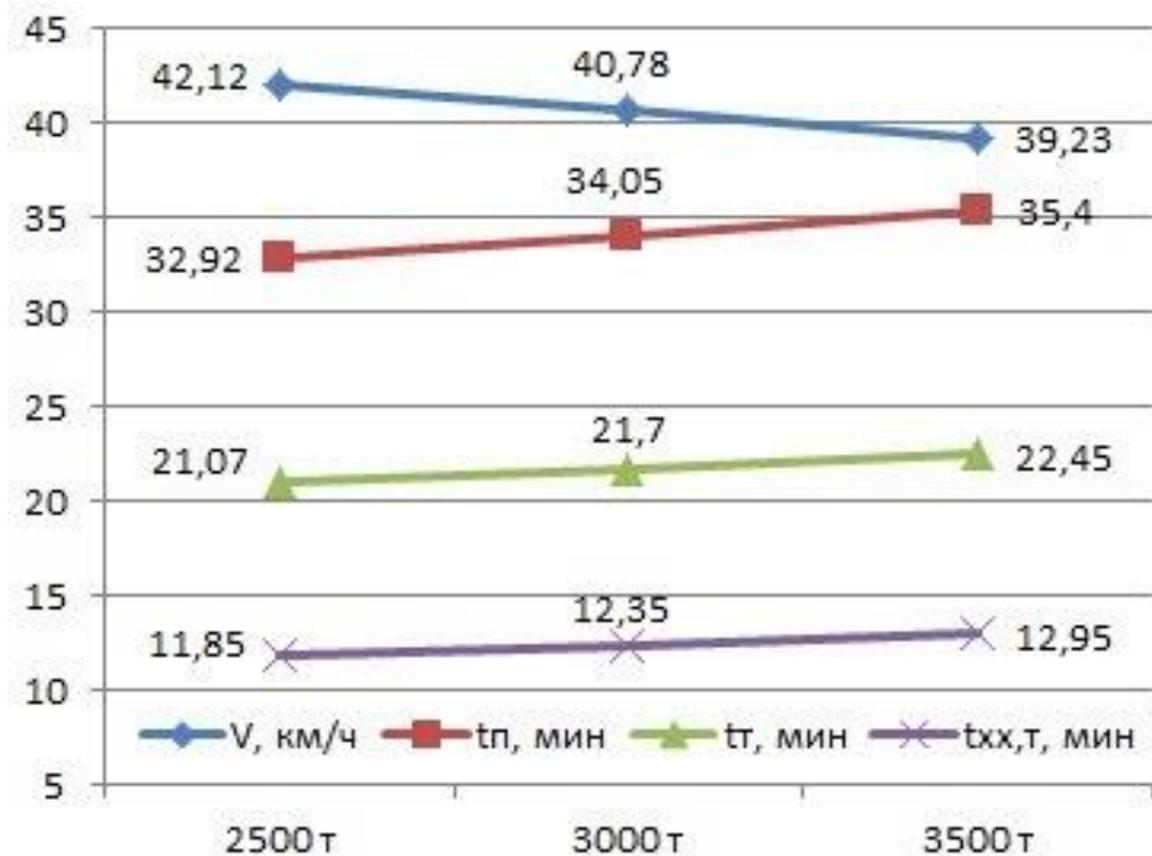


Рис. 4.3. Усреднённые кинематические параметры движения грузового поезда на холмистом участке железной дороги

При помощи стандартной программы серии *Microsoft Office Excel* были получены уравнения регрессии (аналитические выражения), предназначенные для вычисления параметров основных показателей перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути для любой i -й массы Q грузового поезда (в скобках - условия движения с остановкой на промежуточной станции). В формулах (4.10) – (4.19) обозначено: $R^2 = 1,0$ – достаточная величина достоверности аппроксимации (необходимое условие достоверности равно $R^2 \geq 0,8$), а знаки (индексы) звёздочка * - для движения с остановками на промежуточной станции и две звёздочки ** - с учётом налога на добавленную стоимость (НДС), а величина $Q_i = 1,2,3$ – есть фактор (показатель) варианта тягового расчёта.

Техническая скорость движения поезда V_T , км/ч

$$V_T = -0,555Q^2 - 0,555Q + 92,45 / V_T^* = 0,12Q^2 - 3,47Q + 80,49 \quad R^2=1,0 \quad (4.10)$$

Общее время хода поезда t_x , мин

$$t_x = 0,225Q^2 - 0,075Q + 29,86 / t_x^* = 1,5Q + 34,2 \quad R^2=1,0 \quad (4.11)$$

Время хода поезда в режиме тяги t_T , мин

$$t_T = 0,025Q^2 + 0,175Q + 19,85 / t_T^* = 1,1Q^2 + 0,7Q + 21,3 \quad R^2=1,0 \quad (4.12)$$

Время хода поезда в режимах холостого хода и торможения $t_{xx,T}$, мин

$$t_{xx,T} = 0,2Q^2 - 0,1Q + 10,0 / t_{xx,T}^* = 0,1Q^2 + 0,8Q + 12,9 \quad R^2=1,0 \quad (4.13)$$

Полный расход электроэнергии за поездку A , кВт-ч

$$A = -47,795,6Q^2 + 441,93Q + 1969,4 / A^* = -54,43Q^2 + 480,26Q + 2196,2 \quad R^2=1,0 \quad (4.14)$$

Удельный расход электроэнергии за поездку a , Вт-ч/ткм брутто

$$a = -0,12Q^2 - 0,9Q + 21,61 / a^* = -0,12Q^2 - 1,15Q + 24,12 \quad R^2=1,0 \quad (4.15)$$

Полные денежные затраты C_3 , с\`ум

$$C_3 = -4160,5Q^2 + 38467Q + 171420 / C_3^* = -4737Q^2 + 41800Q + 191156 \quad R^2=1,0 \quad (4.16)$$

Полные денежные затраты C_3^{**} с учётом НДС, с\`ум/км

$$C_3^{**} = -4990,5Q^2 + 46140Q + 205609 / C_3^{**} = -5682Q^2 + 50137Q + 229283 \quad R^2=1,0 \quad (4.17)$$

Приведённые денежные затраты c_3 , с\`ум/км

$$c_3 = -35,15Q^2 + 671,55Q + 3845,7 / c_3^* = -103,15Q^2 + 910,4Q + 4164,8 \quad R^2=1,0 \quad (4.18)$$

Приведённые денежные затраты c_3^{**} с учётом НДС, с\`ум/км

$$c_3^{**} = -108,7Q^2 + 1005,1Q + 4479,6 / c_3^{**} = -123,75Q^2 + 1092,2Q + 4995,4 \quad R^2=1,0 \quad (4.19)$$

Анализ приведённых уравнений регрессий показывает, что динамика упомянутых параметров в зависимости от изменения массы состава грузового поезда описывается полиномом второй степени за исключением общего времени хода поезда с остановкой на промежуточной станции (линейная зависимость) со стопроцентной точностью их вычисления.

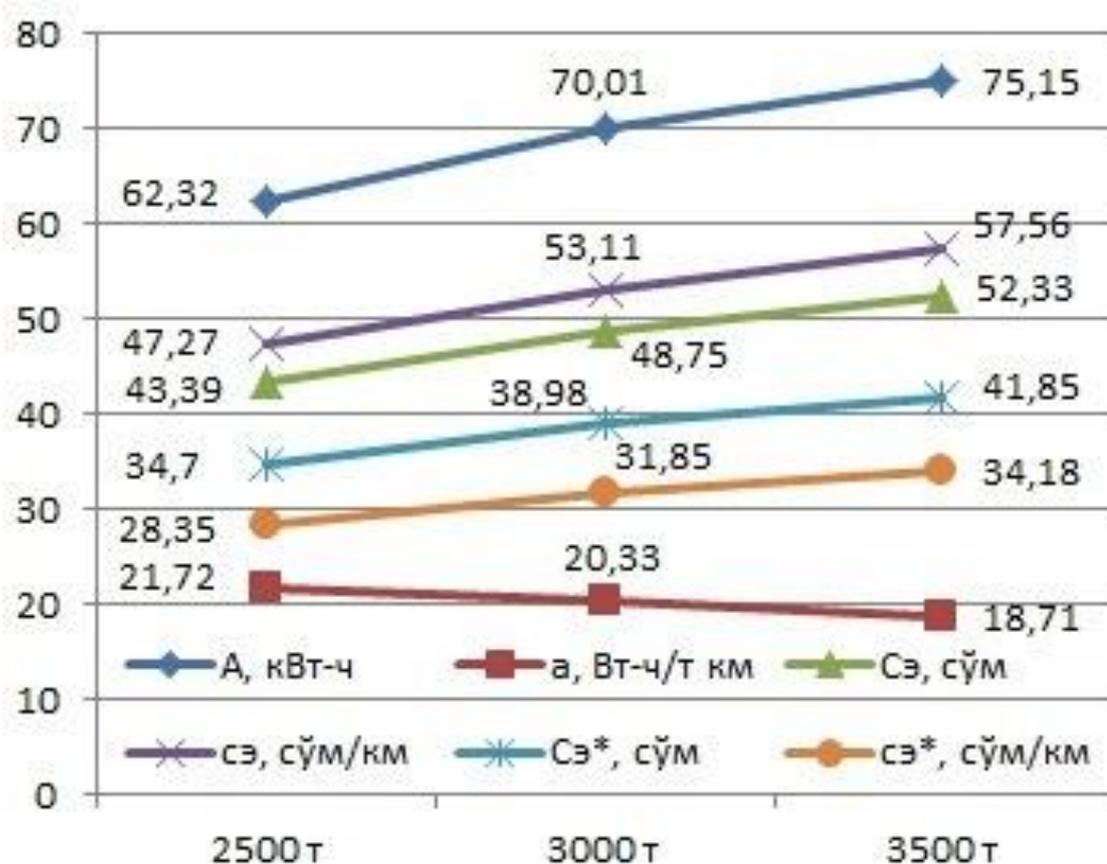


Рис. 4.4. Усреднённые параметры энергетической эффективности электровозов ЗВЛ80^С на холмистом участке железной дороги

В процессе проведённых исследований были изучены разные условия организации движения грузовых поездов, получены уравнения регрессии и обоснованы численные значения параметров основных показателей перевозочной работы и эффективности использования электровозов ЗВЛ80^С на заданном виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, анализ результатов которых показывает следующее:

- при организации железнодорожных перевозок различных по структуре, типу, виду и содержанию грузов равномерное движение грузового поезда является исключительно доминирующим, а замедленное и ускоренное виды движения, то есть движение с изменяющейся и непостоянной скоростью, встречаются (присутствуют) только в случаях торможения (остановки), трогания с места и разгоне.

- расход электрической энергии, затрачиваемой на перемещение грузовых поездов электровозами ЗВЛ80^С, напрямую зависит от времени

работы силовых энергетических установок (систем) под током, то есть в режиме тяги, увеличение которого приведёт к увеличению механической работы упомянутых электровозов, а как следствие, обеспечит повышение расхода (потребления) электрической энергии;

- количество (величина) расхода электрической энергии, затраченная на замедление – разгон, при каждой остановке грузового поезда на промежуточной станции или отдельном пункте колеблется от 129,21 кВт-ч/ост ($Q_1=2500\text{т}$) до 141,01 кВт-ч/ост ($Q_3=3500\text{т}$), а в среднем это количество составляет 136,22 кВт-ч/ост.

- увеличение объёма перевозочной работы электровозами ЗВЛ80^С способствует повышению эффективности использования этих электровозов в условиях эксплуатации независимо от вида движения грузовых поездов.

В результате проведённых нами исследований были обоснованы кинематические параметры движения грузовых поездов и параметры энергетических показателей эффективности электровозов ЗВЛ80^С в виде табличных данных и графических зависимостей, и получены уравнения регрессий для определения основных показателей перевозочной работы исследуемых локомотивов электрической тяги на виртуальных и, идентичным им, реальных холмистых участках железнодорожного пути.

4.2. Анализ энергетической эффективности дизельной тяги

4.2.1. Обоснование параметров основных показателей использования тепловозов *UzTE16M3*

Объект исследования составили грузовые поезда с различной массой и одинаковым числом осей состава, трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые тепловозы серии *UzTE16M3* и спрямлённый профиль пути первого типа виртуального равнинного участка железной дороги.

Предметом исследования являются кинематические параметры движения грузового поезда с учётом анализа особенностей остановочного процесса его на промежуточной и конечной станции для разных масс и

постоянного числа осей состава, а также параметры основных энергетических показателей эффективности использования исследуемых тепловозов *UzTE16M3* в количественном и денежном исчислении на заданном виртуальном участке железной дороги.

Конструктивные особенности, технические параметры, тяговая характеристика, энергетические и эксплуатационные показатели исследуемого грузового тепловоза *UzTE16M3*, а также характеристика спрямлённого профиля пути виртуального холмистого участка железной дороги подробно освещены в [57,58].

В табл. 4.5 и табл. 4.6 приведены численные значения кинематических параметров движения грузовых поездов по каждому перегону виртуального холмистого участка железной дороги на разных режимах работы силовых энергетических установок тепловозов *UzTE16M3* без остановок и с остановками на промежуточной станции при реализации железнодорожных перевозок грузов с учётом времени на замедление - разгон. В табл. 4.5 обозначено: знак (индекс) звёздочка * – время на разгон грузового поезда со станции отправления, которое принято согласно рекомендациям [46,50], а знак (индекс) две звёздочки ** - это усреднённое время хода грузового поезда на разгон – замедление в процессе движения с остановками

Анализ данных табл. 4.5 и табл. 4.6 свидетельствует о том, что для средних значений кинематических параметров движение грузовых поездов с различной массой и постоянным количеством осей состава на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, организованное без остановок на промежуточной станции по отношению к аналогичному движению с остановками на ней, обеспечивает:

- уменьшение общего времени хода поезда на 5,54 мин и увеличение технической скорости движения на 11,9 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку, приблизительно, в 2,77 минуты;

- значениям долей движения на режимах тяги в 72,05 процента, а холостого хода и торможения в 27,95 процента;

– уменьшению доли движения в режимах тяги и увеличению доли движения холостого хода и торможения, приблизительно, на 6,05 процента.

Таблица 4.5. Время хода грузового поезда по перегонам без остановок и по промежуточной станции на замедление – разгон

Промежуточные Станции	Расстояние, км	по перегонам, мин			на замедление/разгон, мин		
		масса состава,			масса состава, т		
		$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$	$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$
Ст. <i>D</i>	-	-	-	-	- / 2,00*	- / 2,0*	- / 2,00*
Ст. <i>E</i>	22,40	17,30	18,10	19,50	1,55 / 1,85	1,45 / 2,45	1,50 / 2,90
Ст. <i>F</i>	23,50	14,70	14,60	15,20	1,70 / -	1,65 / -	1,70 / -
Участок <i>D – F</i>	45,90	32,00	32,70	34,70	1,62** / 1,92**	1,55** / 2,22**	1,60** / 2,45**

Таблица 4.6. Распределение времени хода грузового поезда по перегонам холмистого участка *D - F*, тепловозы *UzTE16M3*

№ п/п	Масса состава Q , т	Скорость движения V , км/ч	Без остановок / С остановками, мин		
			по перегону	в режиме	
				тяги	холостого хода и торможения
Перегон <i>D – E</i>					
1	2500	77,68/71,11	17,30/18,90	15,40/14,80	1,90/4,10
2	3000	74,25/68,57	18,10/19,60	16,10/15,00	2,00/4,60
3	3500	68,92/64,00	19,50/21,00	18,20/16,80	1,30/4,20
Перегон <i>E – F</i>					
1	2500	95,91/77,47	14,70/18,20	6,80/8,90	9,80/13,40
2	3000	96,57/74,80	14,60/18,95	8,00/10,90	6,60/8,05
3	3500	92,76/72,86	15,20/19,35	7,10/10,15	8,10/9,20
Участок <i>D – F</i>					
1	2500	86,06/74,23	32,00/37,10	22,20/23,70	9,80/13,40
2	3000	84,22/71,44	32,70/38,55	24,10/25,90	8,60/12,65
3	3500	79,36/68,25	34,70/40,35	25,30/26,95	9,40/13,40
Средние значения		83,21/71,31	33,13/38,67	23,87/25,52	9,26/13,15

На рис. 4.5 и рис. 4.6, соответственно, приведены численные значения и динамика кинематических параметров остановочного процесса - диаграммы изменения расстояния, которое грузовые поезда проходят в случае остановок на промежуточной и конечной станции и графические

зависимости их скоростей движения в момент начала торможения и в результате завершения разгона на этих станциях.

На рис. 4.5 и рис. 4.6 обозначено: S_3' и S_3'' – путь замедления грузового поезда, соответственно, на промежуточной станции и станции прибытия в случае торможения грузового поезда; S_p' – путь разгона грузового поезда на промежуточной станции при трогании с места; V_3' и V_3'' – скорость движения грузового поезда в начале торможения, соответственно, на промежуточной станции и станции прибытия; V_p' – скорость движения грузового поезда в момент "нагона" безостановочного хода поезда на промежуточной станции.

Путь замедления S_3' и S_3'' – расстояние, которое грузовой поезд проходит от начала торможения (перевода ручки крана машиниста в тормозное положение) до полной остановки поезда. Путь разгона S_p' – расстояние, проходимое грузовым поездом от момента начала трогания с места на промежуточной станции до момента завершения разгона, то есть "нагона" безостановочного хода поезда.

По диаграммам изменения пути на рис. 4.5 и графическим зависимостям изменения скорости движения на рис. 4.6 видно, что с увеличением массы состава грузового поезда в случае торможения его на промежуточной станции и станции прибытия происходит уменьшение пути замедления S_3' , S_3'' и увеличение пути разгона S_p' . При этом сопутствующие им скорости движения V_3' и V_p' по станции D и скорость движения V_3'' по станции F уменьшаются.

Причём, темп изменения (нарастания или убывания) значений упомянутых выше увеличений и уменьшений в зависимости от изменения массы состава грузового поезда, также различный.

Вычисленные нами темпы изменения (нарастания или убывания) значений кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции для пути перемещения и скорости движения грузовых поездов при каждом последовательном уменьшении –

увеличении их массы состава на фиксированную величину, равную $\Delta Q = 500\text{т}$, приведены в табл. 4.7.

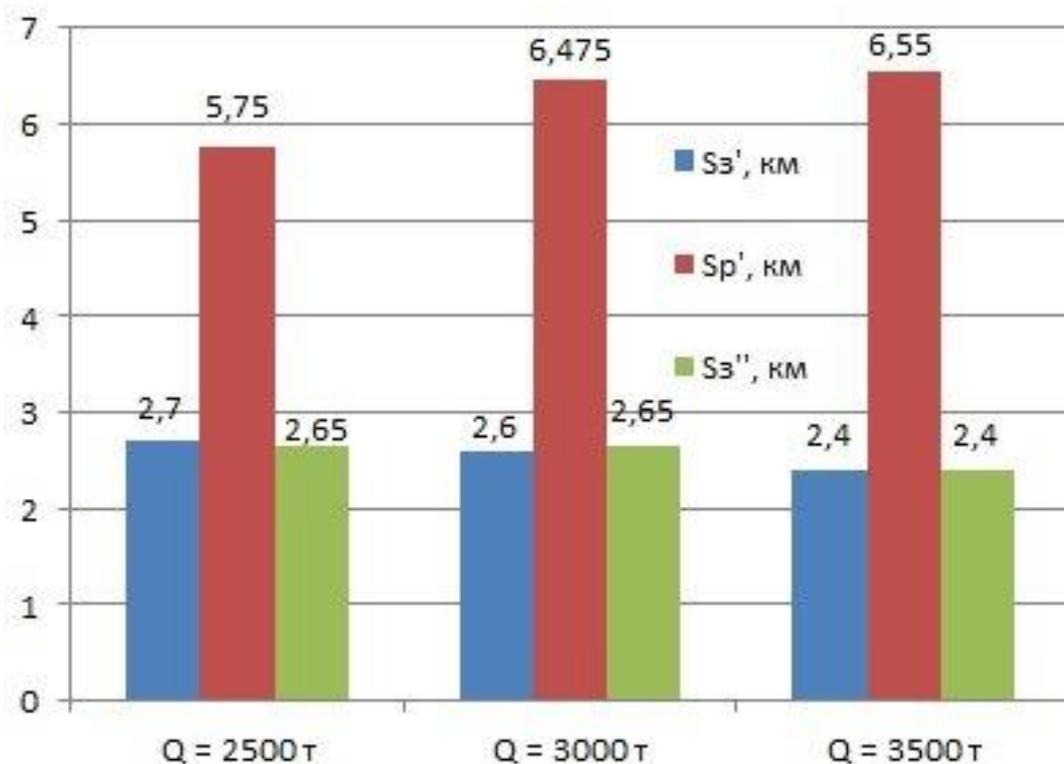


Рис 4.5. Путь, проходимый грузовым поездом при торможении и трогании с места на промежуточной станции и станции прибытия

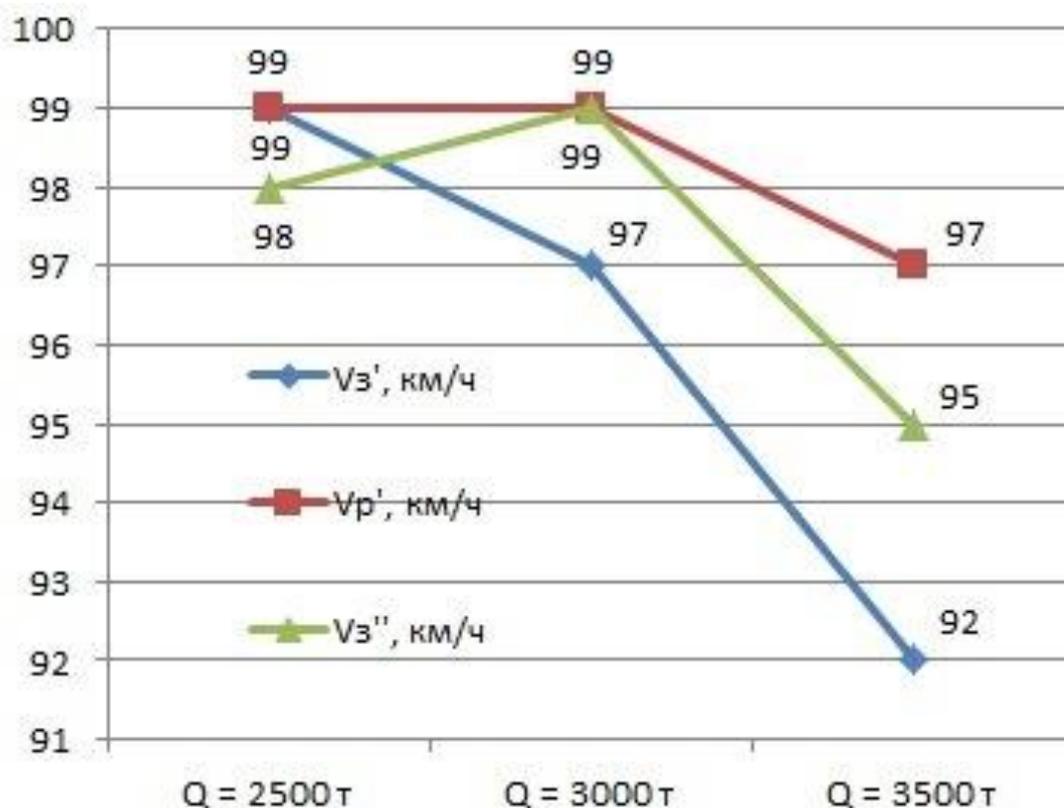


Рис 4.6. Скорость движения грузового поезда в начале торможения и в завершение разгона на промежуточной станции и станции прибытия

Таблица 4.7. Кинематические параметры остановочного процесса грузового поезда на холмистом участке железной дороги, тепловозы $UzTE16M3$

№ п/п	Условия перевозочной работы		Кинематические параметры остановочного процесса грузового поезда					
	масса состава $Q, т$	число осей $m, оси$	Путь замедления и разгона			Скорость движения при торможении и разгоне		
			по станции E, S_3'	по станции F, S_3''	станции E, S_p'	по станции E, V_3'	по станции F, V_3''	по станции E, V_p'
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Темп изменения кинематических параметров при остановке грузового поезда								
При уменьшении массы состава								
1	3500	200	-	-	-	-	-	-
2	3000	200	1,083	1,104	0,988	1,021	0,990	1,000
3	2500	200	1,038	1,000	0,888	1,054	1,042	1,021
4	Средние значения		1,060	1,052	0,938	1,037	1,016	1,010
При увеличении массы состава								
1	2500	200	-	-	-	-	-	-
2	3000	200	0,963	1,000	1,126	0,980	1,010	1,000
3	3500	200	0,923	0,906	1,011	0,948	0,959	0,980
4	Средние значения		0,943	0,953	1,068	0,964	0,984	0,990

Динамика изменения кинематических параметров остановочного процесса по пути, скорости и времени движения в диапазоне принятого нами интервала варьирования (дифференциации) на величину $\Delta Q = 500т$ массы состава (от $Q_1 = 2500 т$ до $Q_3 = 3500 т$) грузового поезда описывается следующими аналитическими зависимостями:

$$S_3' = -0,05Q^2 + 0,05Q + 2,7 \quad R^2=1,0 \quad (4.20)$$

$$S_3'' = 0,125Q^2 + 0,375Q + 2,4 \quad R^2=1,0 \quad (4.21)$$

$$S_p' = -0,325Q^2 + 1,7Q + 4,375 \quad R^2=1,0 \quad (4.22)$$

$$V_3' = -1,5Q^2 + 2,5Q + 98 \quad R^2=1,0 \quad (4.23)$$

$$V_3'' = -2,5Q^2 + 8,5Q + 92 \quad R^2=1,0 \quad (4.24)$$

$$V_p' = -Q^2 + 3Q + 97 \quad R^2=1,0 \quad (4.25)$$

$$t_3' = 0,075Q^2 - 0,325Q + 1,8 \quad R^2=1,0 \quad (4.26)$$

$$t_3'' = 0,05Q^2 - 0,2Q + 1,85 \quad R^2=1,0 \quad (4.27)$$

$$t_p' = -0,075Q^2 + 0,825Q + 1,1 \quad R^2=1,0 \quad (4.28)$$

В формулах (4.20) – (4.28) приводится достаточная величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1,0$ (необходимое условие достоверности - $R^2 \geq 0,8$), а величина $Q_i = 1,2,3$ обозначает варианта тягового расчёта. Параметры энергетических показателей эффективности использования трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов *UzTE16M3* на виртуальном холмистом участке железной дороги при движении без остановок и с остановками на промежуточной станции в зависимости от различных условий организации перевозочной работы локомотивов в количественном и денежном исчислении приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8. Показатели перевозочной работы тепловозов *UzTE16M3* на холмистом участке железнодорожного пути

Условия перевозочной работы			Расход дизельного топлива			Стоимость дизельного топлива		
масса состава Q , т	число осей m , оси	скорость движения поезда, V , км/ч	полный E , кг	удельный e , кг/10 ⁴ ткм брутто - натурное	удельный e , кг/10 ⁴ ткм брутто - условное	полная C_t , с μ м	удельная c_t , с μ м/км - натурного	удельная c_t , с μ м/км - условного
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Движение без остановок								
Перегон <i>D – E</i>								
2500	200	77,68	350,12	62,52	89,40	619817	27670,4	39568,7
3000	200	74,25	366,06	54,47	77,89	648064	28931,4	41371,9

3500	200	68,92	413,13	52,69	75,34	731420	32652,7	46693,4
Перегон $E - F$								
2500	200	95,91	159,47	27,14	38,31	282335	12014,3	17180,4
3000	200	96,57	185,75	26,34	37,66	328868	13994,4	20012,0
3500	200	92,76	166,40	20,23	28,92	294610	12536,6	17927,3
Участок $D - F$								
2500	200	86,06	509,59	44,40	63,49	902207	19655,9	28108,0
3000	200	84,22	551,80	40,07	57,30	976932	21283,9	30436,0
3500	200	79,36	579,53	36,07	51,58	1026031	22353,6	31965,6
Движение с остановками								
Перегон $D - E$								
2500	200	71,11	338,05	60,36	86,31	598499	26718,7	38207,7
3000	200	68,57	342,92	51,03	72,97	607130	27104,0	38758,7
3500	200	64,00	383,42	48,90	69,92	678822	30304,6	43335,6
Перегон $E - F$								
2500	200	77,47	208,00	35,40	50,62	368257	15670,5	22408,8
3000	200	74,80	252,44	35,81	51,21	446932	19018,4	27196,3
3500	200	72,86	236,25	28,72	41,06	418262	17798,4	25451,7
Участок $D - F$								
2500	200	74,23	546,05	47,58	68,04	966756	21062,2	30119,0
3000	200	71,44	595,36	43,23	61,82	1054062	22964,4	32839,1
3500	200	68,25	619,67	38,57	55,15	1097084	23901,6	34179,3

Динамика усреднённых значений кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров энергетических показателей перевозочной работы исследуемых грузовых тепловозов $U_zTE16M3$ в зависимости от массы состава грузового поезда для обоих (двух) видов железнодорожных перевозок грузов показана, соответственно, на рис. 4.7 (значения скорости движения V , км/ч уменьшены в два раза) и рис. 4.8.

Параметры усреднённых значений энергетических показателей перевозочной работы исследуемых грузовых тепловозов $U_zTE16M3$ на рис. 4.8 уменьшены: полный E расход натурального дизельного топлива и полная C_T стоимость израсходованного натурального дизельного топлива в 10 раз.

Вышеупомянутые усреднённые значения были вычислены (определены), как среднеарифметические величины, то есть по двум видам движения в принятом нами диапазоне изменения массы составов (от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т) грузового поезда.

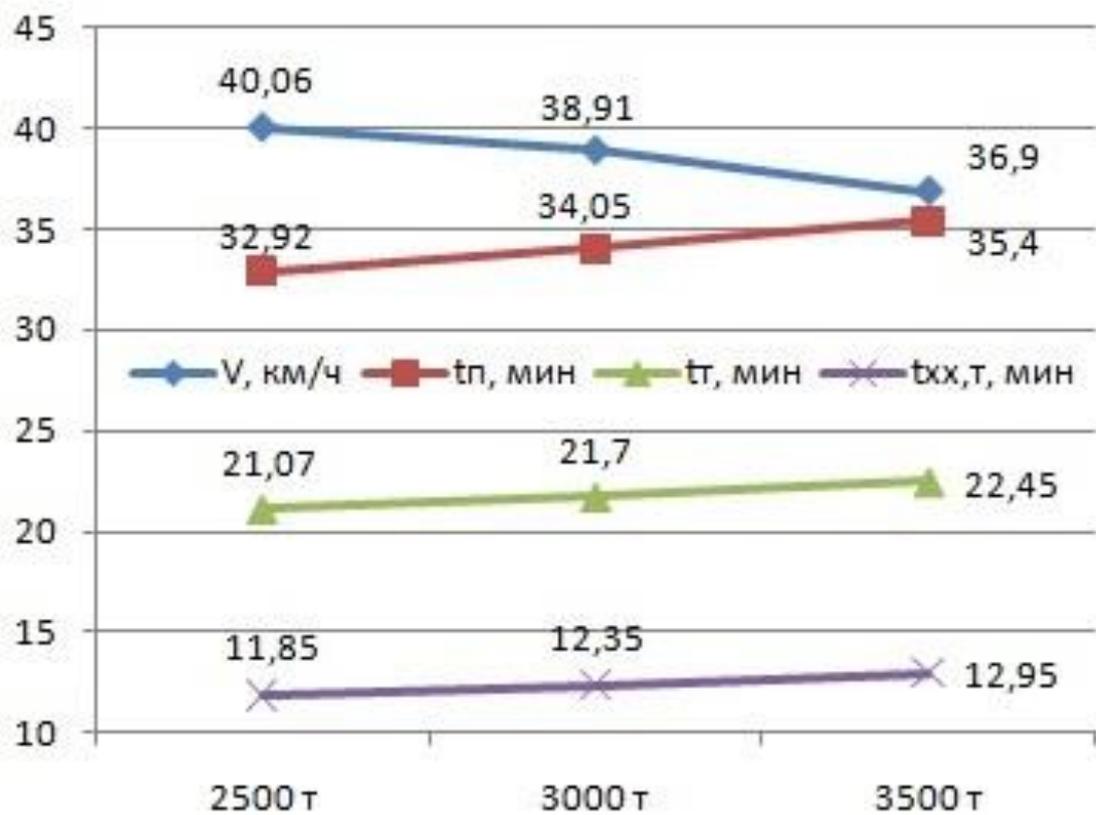


Рис. 4.7. Усреднённые кинематические параметры движения грузового поезда на холмистом участке железной дороги

Оценка и анализ эффективности перевозочной работы трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов $U_zTE16M3$ на заданном, виртуальном, холмистом участке железной дороги проводились путём сопоставления между собой значений вышеупомянутых кинематических и энергетических параметров с аналогичными значениями унифицированного (графикового) грузового поезда.

Сопоставительный анализ результата тягового расчёта (табл. 4.5, табл. 4.6 и табл. 4.8) относительно графикового грузового поезда с унифицированной массой состава $Q_2=3000$ т и постоянным числом $m = 200$ осей в составе показал следующее (значения для условий движения с остановками на промежуточной станции приведены в скобках).

1. Усреднённое общее время хода поезда составляет 0,552ч (0,644ч), уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к уменьшению общего времени хода поезда на 2,14 (3,76) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т происходит увеличение этого времени на 6,12 (4,67) процента.

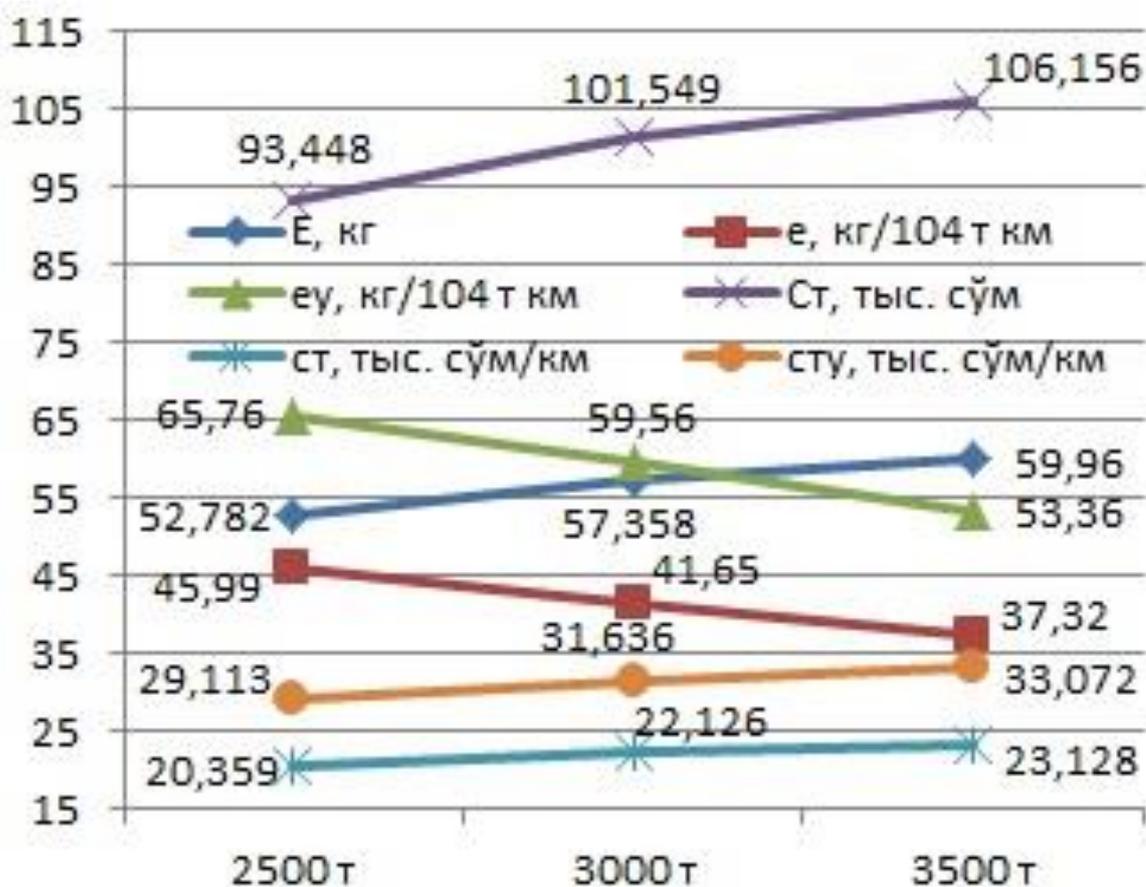


Рис. 4.8 Усреднённые параметры энергетической эффективности тепловозов *UzTE16M3* на холмистом участке железной дороги

2. Техническая скорость движения поезда при аналогичном изменении массы состава, имеет тенденцию к повышению и снижению в тех же пределах, причём, в среднем, она равна 83,21 (71,31) км/ч.

3. Усреднённое время хода поезда на разгон – замедление составляет 0,0315ч, уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к увеличению времени на замедление и уменьшению на разгон, соответственно, на 4,52 процента и 13,51 процента. С увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т время хода поезда на разгон и замедление увеличивается, соответственно, на 10,36 процента и 3,22 процента.

4. Полный и удельный средние расходы натурального дизельного топлива на тягу поездов составляют, соответственно, 546,97 (587,03) кг и 40,18 (условное – 57,46) (43,18 и условное – 61,67) кг/10⁴ т км брутто. Полная и удельные средние стоимости натурального дизельного топлива соответствуют,

соответственно, 968390 (1039301) сўм и 21097,8 (условное – 30169,9) (22642,7 и условное – 32379,1) сўм.

5. Увеличение массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ способствует увеличению полного расхода натурального дизельного топлива на 5,02 (4,08) процента, однако, удельный расход натурального дизельного топлива при этом уменьшается на 9,98 (10,08) процента. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ обеспечивает уменьшение полного и увеличение удельного расхода натурального дизельного топлива, соответственно, на 7,65 (8,28) и 10,80 (10,06) процента.

6. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ приводит к снижению полной и удельной стоимости за израсходованное количество натурального дизельного топлива в среднем на 7,65 (8,28) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ происходит повышение этих показателей в среднем на 5,02 (4,08) процента.

7. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ приводит к снижению и повышению показателей использования режимов тяги [50,60], а также холостого хода и торможения [50,60], соответственно, на 4,33 (3,3) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$, наоборот, происходит повышение и снижение этих показателей на 0,79 (0,39) процента.

8. Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также в режиме тяги колеблется, соответственно, от 0,163ч (0,223ч) до 0,157ч (0,223ч) и от 0,370ч (0,395ч) до 0,422 (0,449ч). При увеличении массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ происходит увеличение времени хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также в режиме тяги, соответственно, на 0,013ч (0,012ч) и 0,02ч (0,017ч). Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения увеличивается, а в режиме тяги уменьшается, соответственно, на 0,02ч (0,012ч) и 0,032ч (0,037ч) с уменьшением на $\Delta Q = 500\text{т}$ массы состава.

С помощью стандартной программы серии *Microsoft Office Excel* были получены аналитические зависимости (уравнения регрессии),

предназначенные для вычисления параметров основных показателей перевозочной работы тепловозов *UzTE16M3* на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути для любой *i* - й массы *Q* грузового поезда (в скобках - условия движения с остановкой на промежуточной станции). В формулах (4.29) – (4.38) обозначено: $R^2 = 1,0$ – достаточная величина достоверности аппроксимации (необходимое условие достоверности равняется величине $R^2 \geq 0,8$), а знак (индекс) звёздочка * - для движения с остановками на промежуточной станции. Величина $Q_i = 1,2,3$ – есть фактор (показатель) варианта тягового расчёта

Техническая скорость движения поезда V_T , км/ч

$$V_T = -1,51Q^2 + 2,69Q + 84,88 / V_T^* = -0,2Q^2 - 2,19Q + 76,62 \quad R^2=1,0 \quad (4.29)$$

Общее время хода поезда t_x , мин

$$t_x = 0,65Q^2 - 1,25Q + 32,6 / t_x^* = 0,175Q^2 + 34,2 \quad R^2=1,0 \quad (4.30)$$

Время хода поезда в режиме тяги t_T , мин

$$t_T = -0,35Q^2 + 2,95Q + 19,6 / t_T^* = -0,575Q^2 + 3,925Q + 20,35 \quad R^2=1,0 \quad (4.31)$$

Время хода поезда в режимах холостого хода и торможения $t_{xx,T}$, мин

$$t_{xx,T} = 1Q^2 - 4,2Q + 13,0 / t_{xx,T}^* = 0,75Q^2 - 0,3Q + 15,65 \quad R^2=1,0 \quad (4.32)$$

Полный расход натурального дизельного топлива за поездку E , кг

$$E = -7,24Q^2 + 63,93Q + 452,9 / E^* = -12,5Q^2 + 86,81Q + 471,74 \quad R^2=1,0 \quad (4.33)$$

Удельный расход натурального дизельного топлива за поездку e , кг/10⁴ткм

$$e = 0,165Q^2 - 4,825Q + 49,6 / e^* = -0,155Q^2 - 3,885Q + 51,62 \quad R^2=1,0 \quad (4.34)$$

Удельный расход условного дизельного топлива за поездку e_y , кг/10⁴ткм

$$e_y = 0,235Q^2 - 6,895Q + 70,15 / e^* = -0,225Q^2 - 5,545Q + 73,81 \quad R^2=1,0 \quad (4.35)$$

Полные денежные затраты натурального дизельного топлива C_T , съм

$$C_T = -12813Q^2 + 113164Q + 801856 / C_T^* = -22142Q^2 + 153732Q + 835166 \quad R^2=1,0 \quad (4.36)$$

Приведённая стоимость натурального дизельного топлива c_T , сўм/км

$$c_T = -279,15Q^2 + 2465,5Q + 17470 / c_T^* = -482,5Q^2 + 3349,7Q + 18195 \quad R^2=1,0 \quad (4.37)$$

Приведённая стоимость условного дизельного топлива c_{Ty} , сўм/км

$$c_{Ty} = -399,15Q^2 + 3525,6Q + 24982 / c_{Ty}^* = -689,95Q^2 + 4790Q + 26019 \quad R^2=1,0 \quad (4.38)$$

Анализ приведённых уравнений регрессий показывает, что динамика упомянутых параметров в зависимости от изменения массы состава грузового поезда описывается полиномом второй степени со стопроцентной точностью их вычисления.

В процессе проведённых исследований были изучены разные условия организации движения грузовых поездов, получены уравнения регрессии и обоснованы численные значения параметров основных показателей перевозочной работы и эффективности использования тепловозов *UzTE16M3* на заданном виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, анализ результатов которых показывает следующее:

- при организации железнодорожных перевозок различных по структуре, типу, виду и содержанию грузов равномерное движение грузового поезда является исключительно доминирующим, а замедленное и ускоренное виды движения, то есть движение с изменяющейся и непостоянной скоростью, встречаются (присутствуют) только в случаях торможения (остановки), трогания с места и разгоне.

- расход натурального дизельного топлива, затрачиваемого на перемещение грузовых поездов тепловозами *UzTE16M3*, непосредственно зависит от времени работы силовых энергетических установок под нагрузкой, то есть в режиме тяги, увеличение которого приведёт к увеличению механической работы упомянутых тепловозов, а как следствие, это приведёт к повышению расхода (потреблению) натурального дизельного топлива;

- количество (величина) расхода натурального дизельного топлива, затраченного на замедление – разгон, при каждой остановке грузового поезда на промежуточной станции или отдельном пункте колеблется от 42,97 кг/ост ($Q_1=2500\text{т}$) до 66,72 кг/ост ($Q_3=3500\text{т}$), а в среднем это количество составляет 55,39 кг/ост.

- увеличение объёма перевозочной работы тепловозами *UzTE16M3* способствует повышению эффективности использования этих тепловозов в условиях эксплуатации независимо от вида движения грузового поезда.

В результате проведённых нами исследований были обоснованы кинематические параметры движения грузовых поездов и параметры энергетических показателей эффективности тепловозов *UzTE16M3* в виде табличных данных и графических зависимостей, и получены аналитические зависимости для определения основных показателей перевозочной работы исследуемых локомотивов дизельной тяги на виртуальных и, идентичным им, реальных холмистых участках железных дорог.

4.2.2. Обоснование параметров основных показателей перевозочной работы тепловозов ЗТЭ10М

Объектом исследования являются грузовые поезда с разной массой и одинаковым числом осей состава, трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые тепловозы серии ЗТЭ10М и спрямлённый профиль пути первого типа виртуального равнинного участка железной дороги.

Предмет исследования составили кинематические параметры движения грузового поезда с учётом анализа особенностей остановочного процесса его на промежуточной и конечной станции для разных масс и постоянного числа осей состава, а также параметры основных энергетических показателей эффективности использования исследуемых тепловозов ЗТЭ10М в количественном и денежном исчислении на заданном виртуальном участке железной дороги.

Конструктивные особенности, технические параметры, тяговая характеристика, энергетические и эксплуатационные показатели

исследуемого грузового тепловоза 3ТЭ10М, а также характеристика спрямлённого профиля пути виртуального холмистого участка железной дороги подробно освещены в [57,58].

В табл. 9 и табл. 10 приведены численные значения кинематических параметров движения грузовых поездов по каждому перегону виртуального холмистого участка железной дороги на разных режимах работы силовых энергетических установок тепловозов 3ТЭ10М без остановок и с остановками на промежуточной станции при реализации железнодорожных перевозок грузов с учётом времени на замедление - разгон. В табл. 1 обозначено: знак (индекс) звёздочка * – время на разгон грузового поезда со станции отправления, которое принято согласно рекомендациям [46,50], а знак (индекс) две звёздочки ** - это усреднённое время хода грузового поезда на разгон – замедление в процессе движения с остановками

Таблица 4.9. Время хода грузового поезда по перегонам без остановок и по промежуточной станции на замедление – разгон

Промежуточные станции	Расстояние, км	по перегонам, мин			на замедление/разгон, мин		
		масса состава, т			масса состава, т		
		$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$	$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$
Ст. D	-	-	-	-	- / 2,00*	- / 2,0*	- / 2,00*
Ст. E	22,40	17,30	18,10	19,50	1,55 / 1,85	1,45 / 2,45	1,50 / 2,90
Ст. F	23,50	14,70	14,60	15,20	1,70 / -	1,65 / -	1,70 / -
Участок D – F	45,90	32,00	32,70	34,70	1,62** / 1,92**	1,55** / 2,22**	1,60** / 2,45**

Таблица 4.10. Распределение времени хода грузового поезда по перегонам холмистого участка D - F, тепловозы 3ТЭ10М

№ п/п	Масса состава Q, т	Скорость движения V, км/ч	Без остановок / С остановками, мин		
			по перегону	в режиме	
				тяги	холостого хода и торможения
Перегон D – E					
1	2500	77,68/71,11	17,30/18,90	15,40/14,80	1,90/4,10
2	3000	74,25/68,57	18,10/19,60	16,10/15,00	2,00/4,60
3	3500	68,92/64,00	19,50/21,00	18,20/16,80	1,30/4,20
Перегон E – F					
1	2500	95,91/77,47	14,70/18,20	6,80/8,90	9,80/13,40

2	3000	96,57/74,80	14,60/18,95	8,00/10,90	6,60/8,05
3	3500	92,76/72,86	15,20/19,35	7,10/10,15	8,10/9,20
<i>Участок D – F</i>					
1	2500	86,06/74,23	32,00/37,10	22,20/23,70	9,80/13,40
2	3000	84,22/71,44	32,70/38,55	24,10/25,90	8,60/12,65
3	3500	79,36/68,25	34,70/40,35	25,30/26,95	9,40/13,40
Средние значения		83,21/71,31	33,13/38,67	23,87/25,52	9,26/13,15

Анализ данных табл. 4.9 и табл. 4.10 свидетельствует о том, что для средних значений кинематических параметров движение грузовых поездов с различной массой и постоянным количеством осей состава на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, организованное с остановками на промежуточной станции по отношению к аналогичному движению без остановок на ней, способствует:

- увеличению общего времени хода поезда на 5,54 мин и уменьшению технической скорости движения на 11,9 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку, приблизительно, в 2,77 минуты;

- значениям долей движения на режимах тяги в 66,0 процента, а холостого хода и торможения в 34,0 процента;

- уменьшению доли движения в режимах тяги и увеличению доли движения холостого хода и торможения, приблизительно, на 6,05 процента.

На рис. 4.9 и рис. 4.10, соответственно, приведены численные значения и динамика кинематических параметров остановочного процесса - диаграммы изменения расстояния, которое грузовые поезда проходят в случае остановок на промежуточной и конечной станции и графические зависимости их скоростей движения в момент начала торможения и в результате завершения разгона на этих станциях.

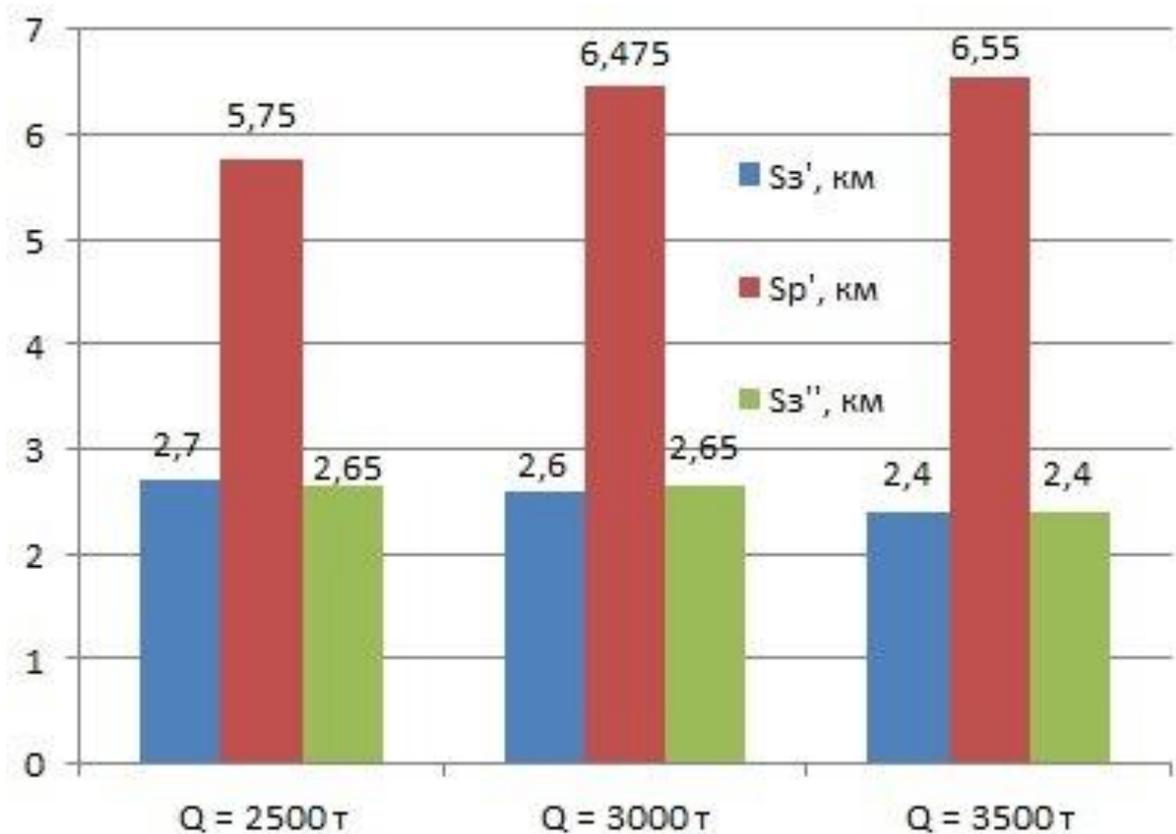


Рис 4.9. Путь, проходимый грузовым поездом при торможении и трогании с места на промежуточной станции и станции прибытия

Условные обозначения, показанные на рис. 4.9 и рис. 4.10, приведены в пункте 4.2.1. настоящей магистерской диссертации.

Анализ диаграмм изменения пути на рис. 4.9 и графических зависимостей изменения скорости движения на рис. 4.10 свидетельствует, что с увеличением массы состава грузового поезда в случае торможения его на промежуточной станции и станции прибытия происходит уменьшение пути замедления $S_{з'}$, $S_{з''}$ и увеличение пути разгона $S_{p'}$. При этом сопутствующие им скорости движения $V_{з'}$ и $V_{p'}$ по станции D и скорость движения $V_{з''}$ по станции F уменьшаются.

Причём, темп изменения (нарастания или убывания) значений упомянутых выше увеличений и уменьшений в зависимости от изменения массы состава грузового поезда, также различный.

Вычисленные нами темпы изменения (нарастания или убывания) значений кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции для пути перемещения и скорости

движения грузовых поездов при каждом последовательном уменьшении – увеличении их массы состава на фиксированную величину, равную $\Delta Q = 500\text{т}$, приведены в табл. 4.11.

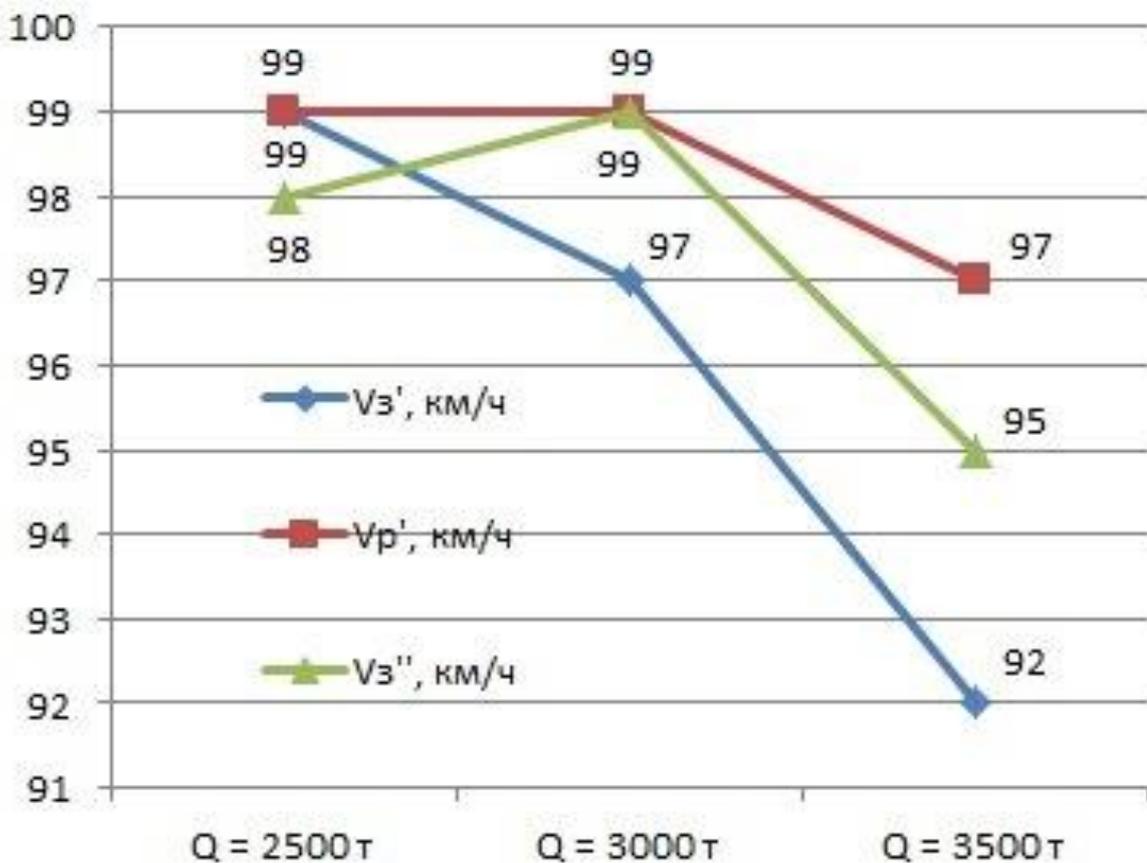


Рис 4.10. Скорость движения грузового поезда в начале торможения и в завершение разгона на промежуточной станции и станции прибытия

В табл. 4.11, под темпом изменения (нарастания или убывания) значений следует понимать некое соответствующее численное значение, которое для каждого последовательного уменьшения – увеличения массы состава грузового поезда определяется как отношение последующего значения рассматриваемого параметра (путь или скорость движения) к предыдущему значению. Например: при уменьшении массы состава с $Q_2 = 3000\text{ т}$ до $Q_1 = 2500\text{ т}$ грузового поезда темп изменения скорости движения $V_{р'}$ его в завершении разгона на промежуточной станции составит 1,0 единицы, то есть $V_{р1}' = 99\text{ км/ч} : V_{р2}' = 99\text{ км/ч} = 1,0$ единицы, а при увеличении массы состава с $Q_1 = 2500\text{ т}$ до $Q_2 = 3000\text{ т}$ грузового поезда темп

изменения пути разгона S_p' его на промежуточной станции составит 1,126 единицы, то есть $S_{p2}' = 6,475 \text{ км} : S_{p1}' = 5,75 \text{ км} = 1,126$ единицы.

Таблица 4.11. Кинематические параметры остановочного процесса грузового поезда на холмистом участке железной дороги, тепловозы 3ТЭ10М

№ п/п	Условия перевозочной работы		Кинематические параметры остановочного процесса грузового поезда					
	масса состава $Q, \text{т}$	число осей $m, \text{оси}$	Путь замедления и разгона			Скорость движения при торможении и разгоне		
			по станции E, S_3'	по станции F, S_3''	станции E, S_p'	по станции E, V_3'	по станции F, V_3''	по станции E, V_p'
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Темп изменения кинематических параметров при остановке грузового поезда								
При уменьшении массы состава								
1	3500	200	-	-	-	-	-	-
2	3000	200	1,083	1,104	0,988	1,021	0,990	1,000
3	2500	200	1,038	1,000	0,888	1,054	1,042	1,021
4	Средние значения		1,060	1,052	0,938	1,037	1,016	1,010
При увеличении массы состава								
1	2500	200	-	-	-	-	-	-
2	3000	200	0,963	1,000	1,126	0,980	1,010	1,000
3	3500	200	0,923	0,906	1,011	0,948	0,959	0,980
4	Средние значения		0,943	0,953	1,068	0,964	0,984	0,990

Динамика изменения кинематических параметров остановочного процесса по пути, скорости и времени движения в диапазоне принятого нами интервала варьирования (дифференциации) на величину $\Delta Q = 500 \text{ т}$ массы состава (от $Q_1 = 2500 \text{ т}$ до $Q_3 = 3500 \text{ т}$) грузового поезда описывается следующими аналитическими зависимостями:

$$S_3' = -0,05Q^2 + 0,05Q + 2,7 \quad R^2=1,0 \quad (4.39)$$

$$S_3'' = 0,125Q^2 + 0,375Q + 2,4 \quad R^2=1,0 \quad (4.40)$$

$$S_p' = -0,325Q^2 + 1,7Q + 4,375 \quad R^2=1,0 \quad (4.41)$$

$$V_3' = -1,5Q^2 + 2,5Q + 98 \quad R^2=1,0 \quad (4.42)$$

$$V_3'' = -2,5Q^2 + 8,5Q + 92 \quad R^2=1,0 \quad (4.43)$$

$$V_p' = -Q^2 + 3Q + 97 \quad R^2=1,0 \quad (4.44)$$

$$t_3' = 0,075Q^2 - 0,325Q + 1,8 \quad R^2=1,0 \quad (4.45)$$

$$t_3'' = 0,05Q^2 - 0,2Q + 1,85 \quad R^2=1,0 \quad (4.46)$$

$$t_p' = -0,075Q^2 + 0,825Q + 1,1 \quad R^2=1,0 \quad (4.47)$$

В формулах (4.39) – (4.47) приводится достаточная величина достоверности аппроксимации $R^2 = 1,0$ (необходимое условие достоверности - $R^2 \geq 0,8$), а величина $Q_i = 1,2,3$ обозначает варианта тягового расчёта. Параметры энергетических показателей эффективности использования трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов 3ТЭ10М на виртуальном холмистом участке железной дороги при движении без остановок и с остановками на промежуточной станции в зависимости от различных условий организации перевозочной работы локомотивов в количественном и денежном исчислении приведены в табл. 4.12.

Динамика усреднённых значений кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров энергетических показателей перевозочной работы исследуемых грузовых тепловозов 3ТЭ10М в зависимости от массы состава грузового поезда для обоих (двух) видов железнодорожных перевозок грузов показана, соответственно, на рис. 4.11 (значения скорости движения V , км/ч уменьшены в два раза) и рис. 4.12. Усреднённые значения полного E расхода и полной C_T стоимости израсходованного натурального дизельного топлива на рис. 4.12 уменьшены в 10 раз.

Вышеупомянутые усреднённые значения были вычислены (определены), как среднеарифметические величины по двум видам движения

в принятом нами диапазоне изменения массы составов от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т грузового поезда.

Таблица 4.12. Показатели перевозочной работы тепловозов ЗТЭ10М на холмистом участке железнодорожного пути

Условия перевозочной работы			Расход дизельного топлива			Стоимость дизельного топлива		
масса состава Q , т	число осей m , оси	скорость движения поезда, V , км/ч	полный E , кг	удельный e , кг/10 ⁴ ткм брутто - натурное	удельный e , кг/10 ⁴ ткм брутто - условное	полная C_t , с \ddot{u} м	удельная c_t , с \ddot{u} м/км - натурного	удельная c_t , с \ddot{u} м/км - условного
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Движение без остановок								
Перегон $D - E$								
2500	200	77,68	390,25	69,69	99,66	690917	30844,5	44107,6
3000	200	74,25	408,00	60,71	86,81	722344	32247,5	46113,9
3500	200	68,92	460,12	50,69	72,49	814619	36366,9	52004,7
Перегон $E - F$								
2500	200	95,91	180,37	30,70	43,90	319336	13588,8	19431,9
3000	200	96,57	209,12	29,66	42,41	299042	12727,2	18197,0
3500	200	92,76	188,15	22,87	32,70	333110	14174,9	20270,1
Участок $D - F$								
2500	200	86,06	570,62	49,73	71,11	1010254	22009,9	31474,1
3000	200	84,22	617,12	44,82	64,09	1092580	23803,5	34039,0
3500	200	79,36	648,27	40,35	57,70	1147730	25005,0	35757,1
Движение с остановками								
Перегон $D - E$								
2500	200	71,11	377,63	67,43	96,42	668575	29847,1	42681,3
3000	200	68,57	383,24	57,03	81,55	678507	30290,5	43315,4
3500	200	64,00	428,15	54,61	78,09	758018	33840,1	48391,3
Перегон $E - F$								
2500	200	77,47	234,88	39,98	57,17	415843	17695,4	25304,5
3000	200	74,80	283,86	40,26	57,57	502560	21385,5	30581,3
3500	200	72,86	266,27	32,37	46,29	471418	20060,3	28686,3
Участок $D - F$								
2500	200	74,23	612,51	53,37	76,32	1084418	23625,7	33784,7
3000	200	71,44	667,10	48,44	69,27	1181067	25731,3	36795,8
3500	200	68,25	694,42	43,22	61,80	1229436	26785,1	38302,7

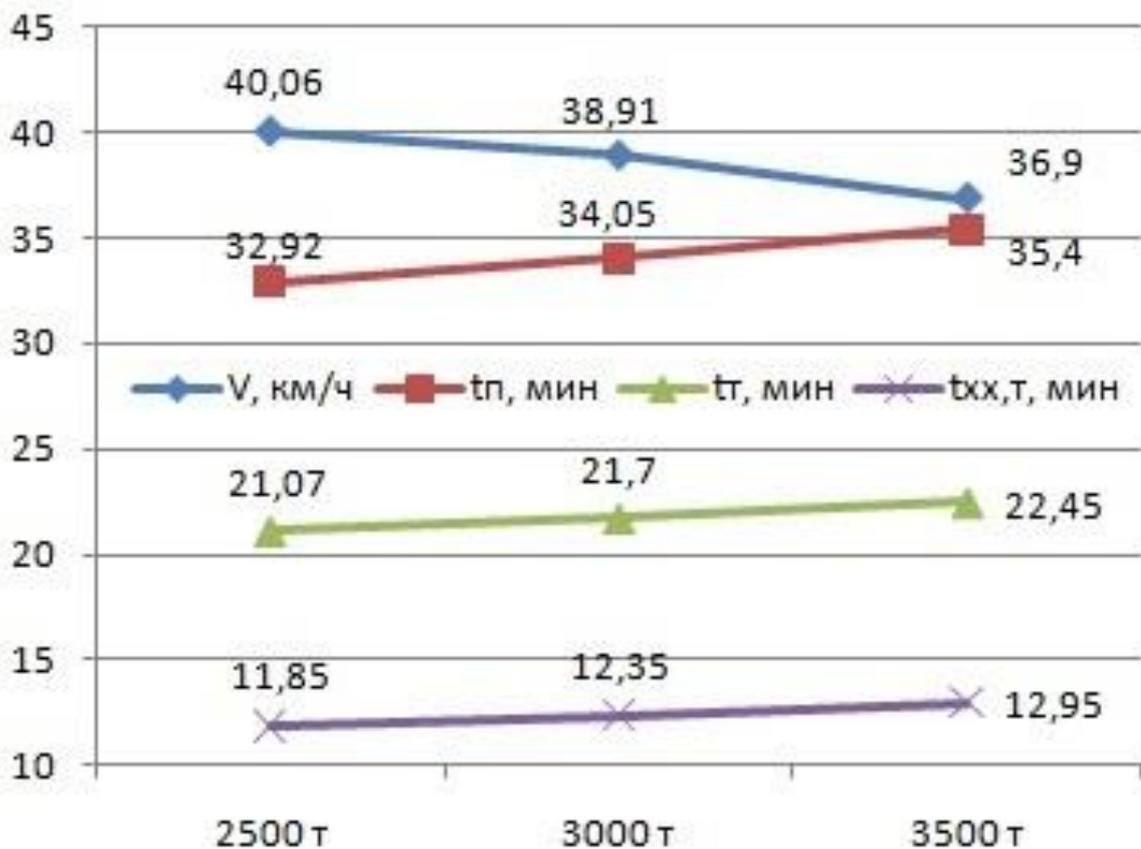


Рис. 4.11. Усреднённые кинематические параметры движения грузового поезда на холмистом участке железной дороги

Оценка и анализ эффективности перевозочной работы трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов ЗТЭ10М на заданном, виртуальном, холмистом участке железной дороги проводились путём сопоставления между собой значений вышеупомянутых кинематических и энергетических параметров с аналогичными значениями унифицированного (графикового) грузового поезда.

Выполненный анализ результата тягового расчёта (табл. 4.9, табл. 4.10 и табл. 4.12) относительно графикового грузового поезда с унифицированной массой состава $Q_2=3000$ т и постоянным числом $m = 200$ осей в составе показал следующее (значения для условий движения с остановками на промежуточной станции приведены в скобках).

1. Усреднённое общее время хода поезда составляет 0,552ч (0,644ч), уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к уменьшению общего

времени хода поезда на 2,14 (3,76) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ происходит увеличение этого времени на 6,12 (4,67) процента.

2. Техническая скорость движения поезда при аналогичном изменении массы состава, имеет тенденцию к повышению и снижению в тех же пределах, причём, в среднем, она равна 83,21 (71,31) км/ч.

3. Усреднённое время хода поезда на разгон – замедление составляет 0,0315ч, уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ приводит к увеличению времени на замедление и уменьшению на разгон, соответственно, на 4,52 процента и 13,51 процента. С увеличением массы состава на $\Delta Q = 500\text{т}$ время хода поезда на разгон и замедление увеличивается, соответственно, на 10,36 процента и 3,22 процента.

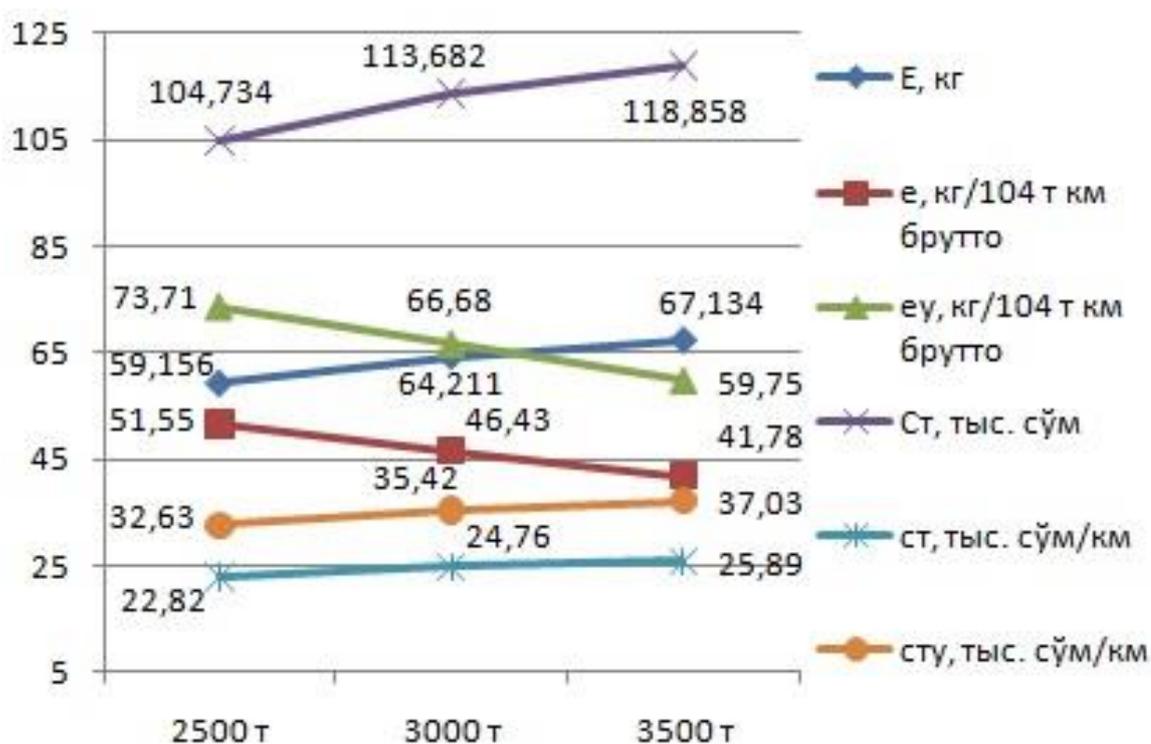


Рис. 4.12. Усреднённые параметры энергетической эффективности тепловозов 3ТЭ10М на холмистом участке железной дороги

4. Полный и удельный средние расходы натурального дизельного топлива на тягу поездов составляют, соответственно, 612,01 (658,01) кг и 44,97 (условное – 64,30) (48,34 и условное – 69,13) кг/10⁴ т км брутто. Полная и удельные средние стоимости натурального дизельного топлива соответствуют,

соответственно, 1083521,0 (1164973,7) сўм и 23606,1 (условное – 33757,6) (25380,7 и условное – 36294,4) сўм.

5. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т обеспечивает уменьшение полного и увеличение удельного расхода натурального дизельного топлива, соответственно, на 7,53 (8,18) и 10,95 (8,90) процента. Увеличение массы состава на $\Delta Q = 500$ т способствует увеличению полного расхода натурального дизельного топлива на 5,05 (4,09) процента, однако, удельный расход натурального дизельного топлива при этом уменьшается на 9,97 (10,78) процента.

6. С увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т происходит повышение этих показателей в среднем на 5,05 (4,09) процента, а уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к снижению полной и удельной стоимости за израсходованное количество натурального дизельного топлива в среднем на 7,53 (8,18) процента.

7. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к снижению и повышению показателей использования режимов тяги [50,60], а также холостого хода и торможения [50,60], соответственно, на 4,33 (3,3) процента, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т, наоборот, происходит повышение и снижение этих показателей на 0,79 (0,39) процента.

8. Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также в режиме тяги колеблется, соответственно, от 0,163ч (0,223ч) до 0,157ч (0,223ч) и от 0,370ч (0,395ч) до 0,422 (0,449ч). Время хода поезда в режиме холостого хода и торможения увеличивается, а в режиме тяги уменьшается, соответственно, на 0,02ч (0,012ч) и 0,032ч (0,037ч) с уменьшением на $\Delta Q = 500$ т массы состава. При увеличении массы состава на $\Delta Q = 500$ т происходит увеличение времени хода поезда в режиме холостого хода и торможения, а также в режиме тяги, соответственно, на 0,013ч (0,012ч) и 0,02ч (0,017ч).

С использованием стандартной программы серии *Microsoft Office Excel* были получены аналитические зависимости (уравнения регрессии), предназначенные для вычисления параметров основных показателей

перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М на виртуальном холмистом участке железной дороги для любой i - й массы Q грузового поезда (в скобках - условия движения с остановкой на промежуточной станции). В формулах (10) – (19) обозначено: $R^2 = 1,0$ – достаточная величина достоверности аппроксимации (необходимое условие достоверности равняется величине $R^2 \geq 0,8$), а знак (индекс) звёздочка * - для движения с остановками на промежуточной станции. Величина $Q_i = 1,2,3$ – есть фактор (показатель) варианта тягового расчёта.

Техническая скорость движения поезда V_T , км/ч

$$V_T = -1,51Q^2 + 2,69Q + 84,88 / V_T^* = -0,2Q^2 - 2,19Q + 76,62 \quad R^2=1,0 \quad (4.48)$$

Общее время хода поезда t_x , мин

$$t_x = 0,65Q^2 - 1,25Q + 32,6 / t_x^* = 0,175Q^2 + 34,2 \quad R^2=1,0 \quad (4.49)$$

Время хода поезда в режиме тяги t_T , мин

$$t_T = -0,35Q^2 + 2,95Q + 19,6 / t_T^* = -0,575Q^2 + 3,925Q + 20,35 \quad R^2=1,0 \quad (4.50)$$

Время хода поезда в режимах холостого хода и торможения $t_{xx,T}$, мин

$$t_{xx,T} = 1Q^2 - 4,2Q + 13,0 / t_{xx,T}^* = 0,75Q^2 - 0,3Q + 15,65 \quad R^2=1,0 \quad (4.51)$$

Полный расход натурального дизельного топлива за поездку E , кг

$$E = -7,675Q^2 + 69,525Q + 508,77 / E^* = -13,695Q^2 + 95,495Q + 530,65 \quad R^2=1,0 \quad (4.52)$$

Удельный расход натурального дизельного топлива за поездку e , кг/10⁴ткм

$$e = 0,22Q^2 - 5,57Q + 55,08 / e^* = -0,145Q^2 - 4,495Q + 58,01 \quad R^2=1,0 \quad (4.53)$$

Удельный расход условного дизельного топлива за поездку e_y , кг/10⁴ткм

$$e_y = 0,315Q^2 - 7,565Q + 78,76 / e_y^* = -0,21Q^2 - 6,42Q + 82,95 \quad R^2=1,0 \quad (4.54)$$

Полные денежные затраты натурального дизельного топлива C_T , съм

$$C_T = -13588Q^2 + 123090Q + 900752 / C_T^* = -24140Q^2 + 169069Q + 939489 \quad R^2=1,0 \quad (4.55)$$

Приведённая стоимость натурального дизельного топлива c_T , съм/км

$$c_T = -296,05Q^2 + 2681,8Q + 19624/c_T^* = -525,9Q^2 + 3683,3Q + 20468 \quad R^2=1,0 \quad (4.56)$$

Приведённая стоимость условного дизельного топлива $c_{\text{ту}}$, сўм/км

$$c_{\text{ту}} = -423,4Q^2 + 3835,1Q + 28062/c_{\text{ту}}^* = -752,1Q^2 + 5267,4Q + 29269 \quad R^2=1,0 \quad (4.57)$$

Анализ приведённых уравнений регрессий свидетельствует о том, что динамика упомянутых параметров в зависимости от изменения массы состава грузового поезда описывается полиномом второй степени со стопроцентной точностью их вычисления.

В процессе проведённых исследований были изучены разнообразные условия организации движения грузовых поездов, получены уравнения регрессии и обоснованы численные значения параметров основных показателей перевозочной работы и эффективности использования тепловозов ЗТЭ10М на заданном виртуальном холмистом участке железной дороги, анализ результатов которых показывает:

- при организации железнодорожных перевозок разных по структуре, типу, виду и содержанию грузов исключительно доминирующим является равномерное движение грузового поезда, а замедленное и ускоренное виды движения, то есть движение с изменяющейся и непостоянной скоростью, встречаются (присутствуют) только в случаях торможения (остановки), трогания поезда с места и его разгоне.

- расход натурального дизельного топлива, затрачиваемого на перемещение грузовых поездов тепловозами ЗТЭ10М, непосредственно зависит от времени работы силовых энергетических установок под нагрузкой, то есть в режиме тяги, уменьшение времени которого приведёт к уменьшению механической работы упомянутых тепловозов, а как следствие, это приведёт к снижению расхода (потребления) натурального дизельного топлива;

- количество (величина) расхода натурального дизельного топлива, затраченного на замедление – разгон, при каждой остановке грузового поезда на промежуточной станции или отдельном пункте колеблется от 48,39 кг/ост

($Q_1=2500\text{т}$) до 74,79 кг/ост ($Q_3=3500\text{т}$), а в среднем это количество составляет 62,19 кг/ост.

- увеличение объёма перевозочной работы тепловозами 3ТЭ10М способствует повышению эффективности использования этих тепловозов в условиях эксплуатации независимо от вида движения грузового поезда.

В результате проведённых нами исследований были обоснованы кинематические параметры движения грузовых поездов и параметры энергетических показателей эффективности тепловозов 3ТЭ10М в виде табличных данных и графических зависимостей, и получены аналитические выражения для определения основных показателей перевозочной работы исследуемых локомотивов дизельной тяги на виртуальных и, идентичным им, реальных холмистых участках железных дорог.

Выводы по главе 4

1. Установлено, что на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути повышение топливно - энергетической эффективности использования электрического и дизельного тягового подвижного состава будет обеспечено за счёт увеличения объёма перевозочной работы локомотивов, выполняемой ими на этих и идентичных им участках железных дорог.

2. Изучены условия перевозочной работы и определены параметры основных показателей использования трёхсекционных электровозов 3ВЛ80^С и тепловозов 3ТЭ10М, *UzTE16M3* на виртуальном холмистом участке железной дороги, которые позволяют прогнозировать расход электрической энергии и натурального дизельного топлива на тягу поездов, а также оценить энергетическую эффективность упомянутых локомотивов на других железнодорожных участках аналогичного типа.

3. Установлены закономерности изменения времени хода грузовых поездов по перегонам и на разгон - замедление, а также общего и удельного

расхода электрической энергии (электровозы ЗВЛ80^С) и натурального дизельного топлива (тепловозы ЗТЭ10М, *UzTE16M3*) на тягу поездов при организации грузового движения с остановками и без остановок на промежуточных станциях виртуального холмистого участка железнодорожного пути.

4. Получены численные значения и динамика изменения кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции, а также уравнения регрессии по их определению в диапазоне принятого нами интервала варьирования массы состава грузового поезда.

5. Обоснованы темпы изменения значений кинематических параметров остановочного процесса на промежуточной и конечной станции для пути перемещения и скорости движения грузовых поездов при каждом последовательном увеличении – уменьшении их массы состава.

6. Получены уравнения регрессии для вычисления параметров основных показателей перевозочной работы локомотивов дизельной и электрической тяги на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути.

5. Обоснование эффективности использования локомотивной тяги в условиях эксплуатации

5.1. Анализ энергетической эффективности использования локомотивов дизельной тяги методом осреднения расчётных величин

Оценка топливно - энергетической эффективности использования трёхсекционных тепловозов 3ТЭ10М и *UzTE16M3* на заданном холмистом участке железной дороги осуществлялась методом осреднения расчётных величин основных показателей перевозочной работы последних с учётом дифференциации массы составов на величину $\Delta Q=500\text{т}$ при постоянном числе осей в составе равном $m = 200$ осей.

Основу метода осреднения расчётных величин составляют усреднённые значения показателей движения грузовых поездов и использования тепловозов *UzTE16M3* и 3ТЭ10М, которые определяются как величины среднеарифметические для обоих видов движения в принятом нами диапазоне изменения масс составов (от 2500т до 3500т) с учётом последующего сопоставления (сравнения) этих вышеупомянутых значений между собой. Последнее обстоятельство позволит (про) анализировать качественную составляющую выполнения перевозочного процесса тепловозами *UzTE16M3* и 3ТЭ10М на заданном холмистом участке железной дороги.

Такие утверждения справедливы и весьма объективно обосновываются многочисленными исследованиями [62,63,65,66] по вопросам эффективности использования различных видов локомотивной тяги для широкого диапазона разнообразных условий организации грузового движения в эксплуатации.

В табл. 5.1 приведены усреднённые значения показателей движения грузовых поездов и использования локомотивов дизельной тяги для разных вариантов тяговых расчётов.

С помощью стандартной программы *Microsoft Excel Office* нами были получены аналитические выражения (полиномиальные зависимости), предназначенные для вычисления параметров некоторых основных

показателей перевозочной работы тепловозов $UzTE16M3$ и $3TЭ10M$ на холмистом участке железной дороги для любой i – й массы состава Q_i , где $R^2 = 1,0$ - достаточная величина достоверности аппроксимации (необходимое условие достоверности - $R^2 \geq 0,8$), а $Q_i = 1,2,3$ – вариант тягового расчёта.

Таблица 5.1. Показатели использования локомотивов дизельной тяги на холмистом участке железнодорожного пути

Вариант тягового расчёта	Условия перевозочной работы			Время хода поезда, мин			Расход дизельного топлива		Затраты денежных средств	
	масса состава Q_i , т	число осей m , осей	техническая скорость движения V_T , км/ч	общее, t_x	в режиме тяги, t_T	в режиме холостого хода и торможения, $t_{хх,т}$	общий	удельный	полные C_T , тыс. с\ум	удельные C_T , тыс. с\ум/км
							за поездку E , кг	натурного топлива e , кг/10 ⁴ ткм брутто		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
тепловозы $UzTE16M3$										
1	2500	200	80,13	34,55	22,95	11,60	527,82	45,99	934,48	20,359
2	3000	200	77,83	35,62	25,00	10,62	573,58	41,65	1015,49	22,126
3	3500	200	73,80	37,52	26,12	11,40	599,60	37,32	1061,56	23,128
тепловозы $3TЭ10M$										
1	2500	200	80,13	34,55	22,95	11,60	591,56	51,55	1047,34	22,82
2	3000	200	77,83	35,62	25,00	10,62	642,11	46,43	1136,82	24,76
3	3500	200	73,80	37,52	26,12	11,40	671,34	41,78	1188,58	25,89

Формулы для определения параметров некоторых основных показателей перевозочной работы тепловозов $UzTE16M3$ и $3TЭ10M$ приведены, соответственно, в числителе и знаменателе, за исключением технической скорости движения, которая для обоих тепловозов будет одинаковой.

Техническая скорость движения, км/ч

$$V_T = -0,865Q_i^2 + 0,295Q_i + 80,77, \quad R^2=1,0 \quad (5.1)$$

Общий расход натурального дизельного топлива за поездку, кг

$$E = -9,87Q_i^2 + 75,37Q_i + 462,32 / E = -10,66Q_i^2 + 82,53Q_i + 579,69 \quad R^2=1,0 \quad (5.2)$$

Удельный расход натурального дизельного топлива за поездку, кг/10⁴ т км брутто

$$e = 0,005Q_i^2 - 4,355Q_i + 50,34 / e = 0,235Q_i^2 - 5,825Q_i + 57,14 \quad R^2=1,0 \quad (5.3)$$

Полные денежные затраты натурального дизельного топлива C_T , тыс. сўм

$$C_T = -17,47Q_i^2 + 133,47Q_i + 818,53 / C_T = -18,86Q_i^2 + 146,06Q_i + 920,14 \quad R^2=1,0 \quad (5.4)$$

Приведённая стоимость натурального дизельного топлива c_T , тыс. сўм/км

$$c_T = -0,3825Q^2 + 2,9145Q + 17,827 / c_T = -0,405Q^2 + 3,155Q + 20,07 \quad R^2=1,0 \quad (5.5)$$

На рис. 5.1 показана динамика усреднённых параметров некоторых основных показателей использования тепловозов $UzTE16M3$ и $3TЭ10M$ на заданном холмистом участке железной дороги, на котором значения удельного расхода e , кг/10⁴ т км брутто натурального дизельного топлива за поездку для тепловозов $3TЭ10M$ и $UzTE16M3$ увеличены, соответственно, в 10 раз и 15 раз.

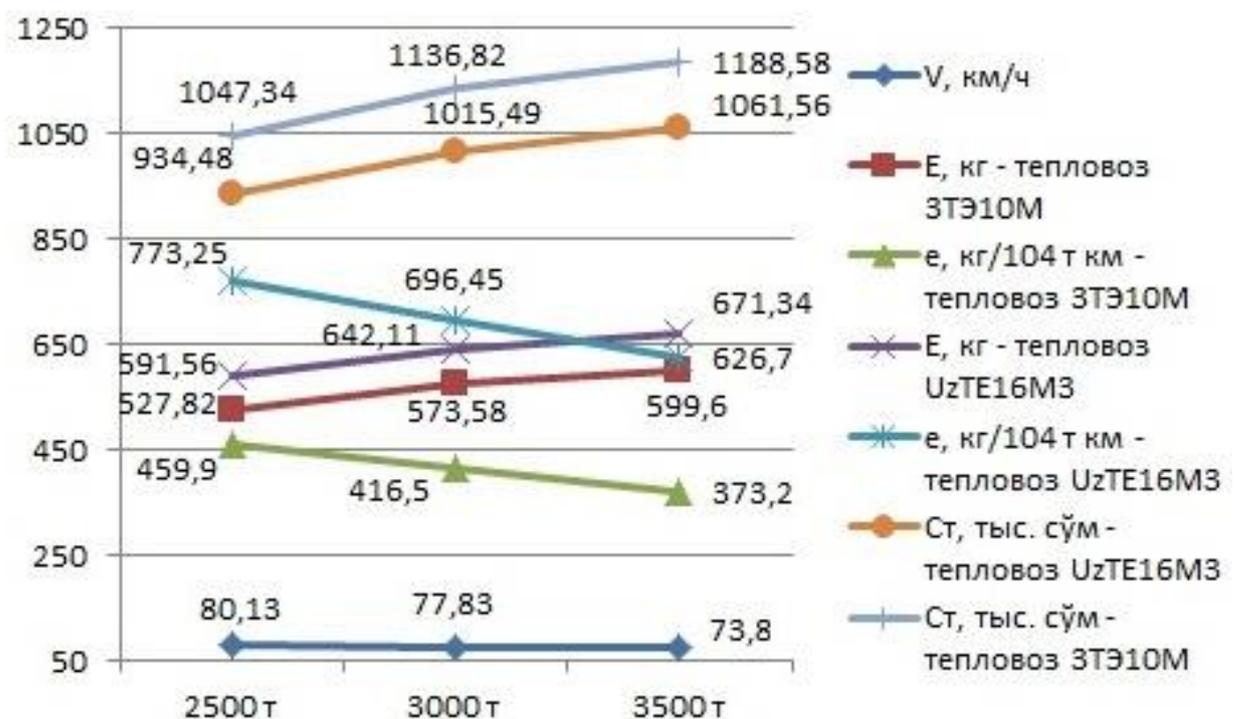


Рис. 5.1. Динамика параметров некоторых основных показателей использования локомотивов дизельной тяги на холмистом участке железной дороги

Анализ результата проведённых исследований показал следующее:

- динамика усреднённых значений параметров некоторых основных показателей использования исследуемых локомотивов дизельной тяги в

зависимости от массы состава грузового поезда описывается полиномиальными законами;

- увеличение массы состава и времени работы силовых энергетических установок тепловозов *UzTE16M3*, 3ТЭ10М на режимах тяги приводит к увеличению израсходованного ими количества дизельного топлива на тягу поездов;

- для исследуемых серий тепловозов последовательное увеличение массы состава грузовых поездов на каждые $\Delta Q=500$ т приводит, соответственно, к повышению стоимости железнодорожных перевозок грузов и снижению удельного расхода дизельного топлива на тягу поездов;

- тепловозы *UzTE16M3*, по сравнению с тепловозами 3ТЭ10М, с дифференциацией изменения по массе состава в $\Delta Q = 500$ т обеспечивают экономию дизельного топлива на тягу поездов и денежных средств за перевозку грузов, в среднем, приблизительно на 11,99 процентов.

Таким образом, пополнение локомотивного парка новыми, модернизированными, магистральными грузовыми тепловозами серии *UzTE16M* в различном секционном исполнении обеспечит лучшие показатели использования дизельной тяги и снижение себестоимости грузовых железнодорожных перевозок на холмистом участке железных дорог.

Полученные нами аналитические зависимости (уравнения регрессии) будут полезны машинистам – инструкторам по теплотехнике и специалистам локомотивного комплекса, работа которых непосредственно связана с организацией и реализацией перевозочного процесса тягового (магистрального) дизельного подвижного состава в грузовом движении.

5.2. Оценка перевозочной работы электровозов 3ВЛ80^С методом осреднения расчётных величин

Основу метода осреднения расчётных величин составляют усреднённые значения показателей перевозочной работы (использования)

трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80^С. Это среднеарифметические величины, полученные в результате движения грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях в принятом нами диапазоне изменения масс составов от $Q_1=2500$ т до $Q_3=3500$ т с учётом дифференциации их на величину $\Delta Q = 500$ т и постоянным числом осей в составе $m=200$ осей.

В табл. 5.2 приведены усреднённые значения показателей перевозочной работы (использования) упомянутых электровозов ЗВЛ80^С для разных вариантов тягового расчёта [64], где индекс звёздочка * - есть значения стоимости израсходованной электрической энергии с учётом налога на добавленную стоимость (НДС).

Таблица 5.2. Показатели использования электровозов ЗВЛ80^С на холмистом участке железной дороги

Вариант тягового расчёта	Условия перевозочной работы			Время хода поезда, мин			Расход электрической энергии		Затраты денежных средств	
	масса состава Q , т	число осей m , осей	техническая скорость движения V_t , км/ч	общее, t_x	в режиме тяги, t_t	в режиме холостого хода и торможения, $t_{ххт}$	общий за поездку A , кВт·ч	удельный за поездку a , Вт·ч/ткм	полные $C_э$ тыс. с.ум	удельные $C_э$, тыс. с.ум/км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
электровозы ЗВЛ80 ^С										
1	2500	200	84,24	32,92	21,07	11,85	2492,79	21,72	<u>216,97</u> 260,25*	<u>4,727</u> 5,670*
2	3000	200	81,57	34,05	21,70	12,35	2800,55	20,33	<u>243,76</u> 292,38*	<u>5,311</u> 6,300*
3	3500	200	78,47	35,40	22,45	12,95	3006,08	18,71	<u>261,65</u> 313,83*	<u>5,756</u> 6,837*

На рис. 5.2 показан характер изменения усреднённых параметров некоторых основных показателей перевозочной работы (использования) трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80^С

на заданном холмистом участке железной дороги. Усреднённые значения некоторых параметров основных показателей использования исследуемых грузовых электровозов ЗВЛ80^С на рис. 5.2 изменены: величина полного A расхода электрической энергии уменьшена в 10 раз, значения технической скорости V_T движения увеличены в 2 раза, а величина удельной c_3 и c_3^* (с учётом НДС) стоимости электрической энергии увеличена, соответственно, в 20 раз и 10 раз.

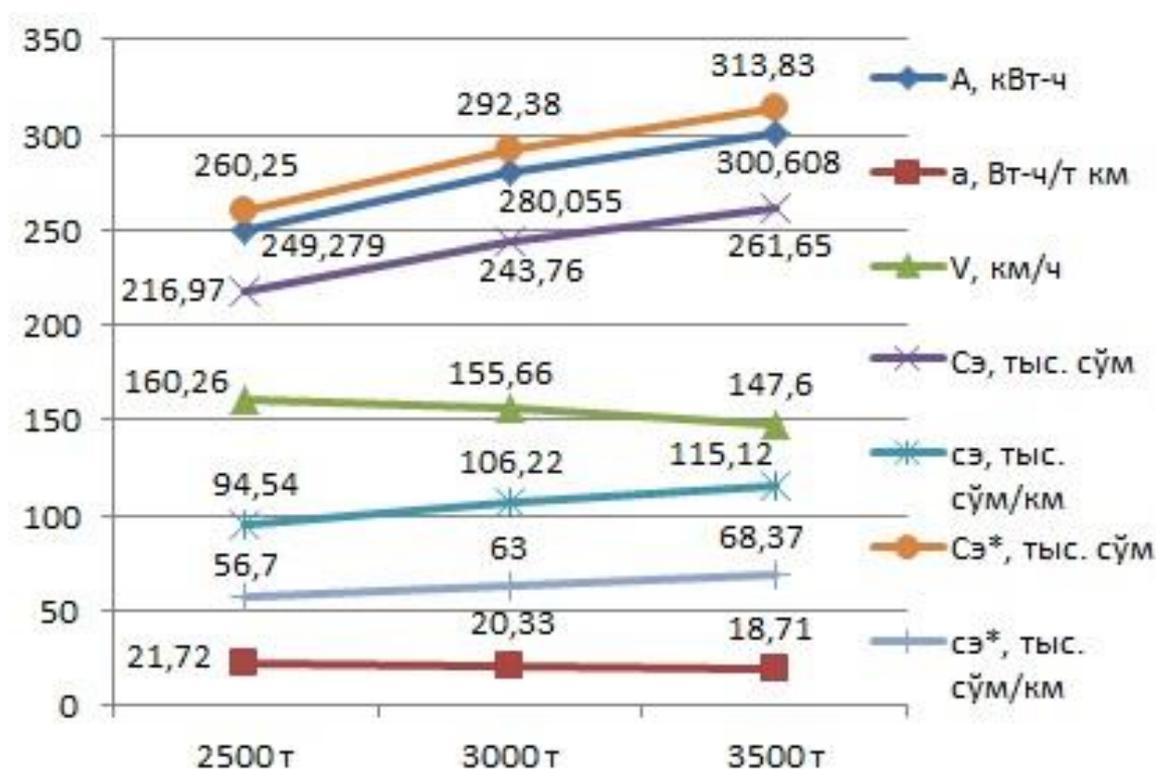


Рис. 5.2. Динамика усреднённых параметров основных показателей использования электровозов ЗВЛ80^С на холмистом участке железной дороги

Полученные нами аналитические выражения (полиномиальные зависимости), предназначенные для организации вычисления усреднённых параметров некоторых основных показателей перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С на холмистом участке железнодорожного пути, построены посредством стандартной программы *Microsoft Excel Office*, в которых величина $R^2=1,0$ – это достаточная величина достоверности аппроксимации (необходимое условие достоверности - $R^2 \geq 0,8$). Здесь индекс

звёздочка * - есть значения стоимости израсходованной электрической энергии с учётом налога на добавленную стоимость (НДС).

Техническая скорость движения, км/ч

$$V_T = -0,215Q_i^2 - 2,025Q_i + 86,48 \quad R^2=1,0 \quad (5.5)$$

Общее время хода поезда, мин

$$t_x = 0,11Q_i^2 + 0,8Q_i + 32,01 \quad R^2=1,0 \quad (5.6)$$

Время хода поезда в режиме тяги, мин

$$t_T = 0,06 Q_i^2 + 0,45Q_i + 20,56 \quad R^2=1,0 \quad (5.7)$$

Время хода поезда на режиме холостого хода и торможения, мин

$$t_{xx,T} = 0,05Q_i^2 + 0,35Q_i + 11,45 \quad R^2= 1,0 \quad (5.8)$$

Общий расход электрической энергии за поездку, кВт-ч

$$A = -51,115Q_i^2 + 461,11Q_i + 2082,8 \quad R^2=1,0 \quad (5.9)$$

Удельный расход электрической энергии за поездку, Вт-ч/ткм брутто

$$a = -0,115Q_i^2 - 1,045Q_i + 22,88 \quad R^2= 1,0 \quad (5.10)$$

Полные денежные затраты, тыс. сѐм/км

$$C_3 = -4,45Q_i^2 + 40,14Q_i + 181,88 \quad R^2 = 1,0 \quad (5.11)$$

Полные денежные затраты с учётом НДС, тыс. сѐм/км

$$C_3^* = -5,34Q_i^2 + 48,15Q_i + 217,44 \quad R^2 = 1,0 \quad (5.12)$$

Приведённые (удельные) денежные затраты, тыс. сѐм/км

$$c_3 = -0,0695Q_i^2 + 0,7925Q_i + 4,004 \quad R^2 = 1,0 \quad (5.13)$$

Приведённые (удельные) денежные затраты с учётом НДС, тыс. сѐм/км

$$c_3^* = -0,0465Q_i^2 + 0,7695Q_i + 4,947 \quad R^2 = 1,0 \quad (5.14)$$

Анализ результатов проведённых исследований показал следующее:

- характер изменения усреднённых параметров некоторых основных показателей перевозочной работы (использования) электровозов ЗВЛ80^С на холмистом участке в зависимости от массы состава грузового поезда описывается полиномиальными законами (зависимостями);

- уменьшение массы состава и времени работы силовых энергетических систем электровозов ЗВЛ80^С в режиме тяги приводит,

соответственно, к уменьшению израсходованного ими количества электрической энергии на тягу поездов;

- увеличение на каждые $\Delta Q=500$ т массы состава с 2500т до 3500т приводит, соответственно, к повышению стоимости железнодорожных перевозок грузов и снижению удельного расхода электрической энергии на тягу поездов.

Полученные нами уравнения регрессии будут полезны машинистам-инструкторам и специалистам цеха эксплуатации локомотивных депо, работа которых напрямую связана с перевозочным процессом тягового (магистрального) электрического подвижного состава.

5.3. Анализ эффективности локомотивной тяги на холмистом участке железной дороги

Данные исследования посвящены оценке энергетической эффективности использования и сравнения между собой основных показателей локомотивов электрической, а также дизельной тяги на холмистом участке железной дороги, опираясь на усреднённые значения показателей перевозочной работы исследуемых трёхсекционных электровозов 3ВЛ80^С и тепловозов 3ТЭ10М, *UzTE16M3*.

Для реализации сказанного используем рекомендации [50,61] и результаты исследований [62-64,66].

Согласно [66], за обобщающие критерии упомянутых выше оценок и сравнений принимаем приведённые затраты денежных средств на один километр железнодорожного пути и коэффициент $K_{\text{Э}}$ оценки эффективности использования разных видов локомотивной тяги.

В табл. 5.3 представлены усреднённые данные о технической скорости движения и времени хода грузовых поездов для различных режимов их ведения и, соответственно, разнообразных условий организации грузового движения (варианты тягового расчёта), а также об израсходованном количестве натурального дизельного топлива тепловозами и электрической

энергии электровозами за поездку на холмистом участке железнодорожного пути. Индексом звёздочка * обозначены значения с учётом налога на добавленную стоимость (НДС).

Упомянутые усреднённые значения определялись как среднеарифметические величины, характеризующие движение грузовых поездов с остановками и без остановок на промежуточных станциях в рассматриваемом нами диапазоне колебания массы составов от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т с интервалом изменения на величину $\Delta Q = 500$ т и постоянным числом осей в составе $m=200$ осей. Нагрузка на оси колёсных пар подвижного состава при этом составляла, приблизительно, $q_1 = 12,5$ т/ось, $q_2 = 15,0$ т/ось и $q_3 = 17,5$ т/ось.

Таблица 5.3. Основные показатели перевозочной работы локомотивов на холмистом участке железнодорожного пути

Вариант тягового расчёта	Техническая скорость движения V_T , км/ч	Время хода поезда, мин			Расход и стоимость дизельного топлива			Расход и стоимость электроэнергии		
		общее, t_x	в режиме тяги, t_t	в режиме холостого хода и торможения, $t_{ххт}$	общий E , кг	полная C_T , тыс. сўм	удельная C_T , тыс. сўм/км	общий A , кВт-ч	полная $C_э$, тыс. сўм	удельная $C_э$, тыс. сўм/км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
тепловозы $U_zTE16M3$										
1	80,13	34,55	22,95	11,60	527,82	934,48	20,36	–	–	–
2	77,83	35,62	25,00	10,62	573,58	1015,49	22,13	–	–	–
3	73,80	37,52	26,12	11,40	599,60	1061,56	23,13	–	–	–
тепловозы 3ТЭ10М										
1	80,13	34,55	22,95	11,60	591,56	1047,34	22,82	–	–	–
2	77,83	35,62	25,00	10,62	642,11	1136,82	24,76	–	–	–
3	73,80	37,52	26,12	11,40	671,34	1188,58	25,89	–	–	–
электровозы 3ВЛ80 ^С										
1	84,24	32,92	21,07	11,85	–	–	–	2492,79	$\frac{216,97}{260,25^*}$	$\frac{4,727}{5,670^*}$
2	81,57	34,05	21,70	12,35	–	–	–	2800,55	$\frac{243,76}{292,38^*}$	$\frac{5,311}{6,300^*}$
3	78,47	35,40	22,45	12,95	–	–	–	3006,08	$\frac{261,65}{313,83^*}$	$\frac{5,756}{6,837^*}$

На основании усреднённых параметров основных показателей перевозочной работы локомотивов на холмистом участке железной дороги [62-64,66] и нормативов «Темирйўлёнилгитаьмин» на отпускную цену (стоимость) одного киловатт-часа электрической энергии и одной тонны натурального дизельного топлива для линейных предприятий локомотивного комплекса были определены расходы топливно - энергетических ресурсов на тягу поездов в денежном выражении для электровозов ЗВЛ80^С, тепловозов *UzTE16M3* и ЗТЭ10М, значения которых приведены в табл. 5.3.

Удельная стоимость железнодорожных перевозок грузов на различных видах локомотивной тяги определялась по следующим зависимостям [41]:

$$\text{- тепловозная тяга} - c_T = \frac{E \cdot Ц_T}{10^3 \cdot L}, \frac{\text{тыс.сум}}{\text{км}} \quad (5.15)$$

$$\text{- электрическая тяга} - c_Э = \frac{A \cdot Ц_Э}{10^3 \cdot L}, \frac{\text{тыс.сум}}{\text{км}} \quad (5.16)$$

где E – расход дизельного топлива за поездку, кг; A – расход электрической энергии за поездку, кВт - ч; L – длина участка счёта, км; $Ц_T$, $Ц_Э$ – отпускная цена за расход, соответственно, одной тонны дизельного топлива и одного киловатт - часа электрической энергии, сўм.

Коэффициент $K_Э$ оценки эффективности различных видов локомотивной тяги равен отношению удельных стоимостей дизельного топлива c_T и электрической энергии $c_Э$ между собой, то есть $K_Э = c_T/c_Э$, принимаем в качестве критерия энергетической эффективности тягового (магистрального) подвижного состава.

Полную и удельную стоимости железнодорожных перевозок грузов локомотивами электрической и дизельной тяги на холмистом участке железной дороги определяли аналогично [65] по следующему тарифу: за один киловатт - час израсходованной электрической энергии величина $Ц_Э = 87,04$ сўм/кВт-ч (без учёта НДС), а $Ц_Э=104,40$ сўм/кВт-ч - с учётом НДС и среднему значению отпускной цены за одну тонну израсходованного натурального дизельного топлива $Ц_T = 1770,45$ тыс. сўм/т.

На рис. 5.3 приведены критерии оценки эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги при движении грузовых поездов на холмистом участке железной дороги, на котором значения удельной стоимости электрической энергии с учётом НДС увеличены в 1,5 раз. Кроме этого, значения коэффициента $K_{Э}$ оценки эффективности разных видов локомотивной тяги для тепловозов $UzTE16M3$, $3TЭ10M$ (без учёта НДС) увеличены в 4 раза и уменьшены в 2 раза для тепловозов $3TЭ10M$ с учётом НДС.

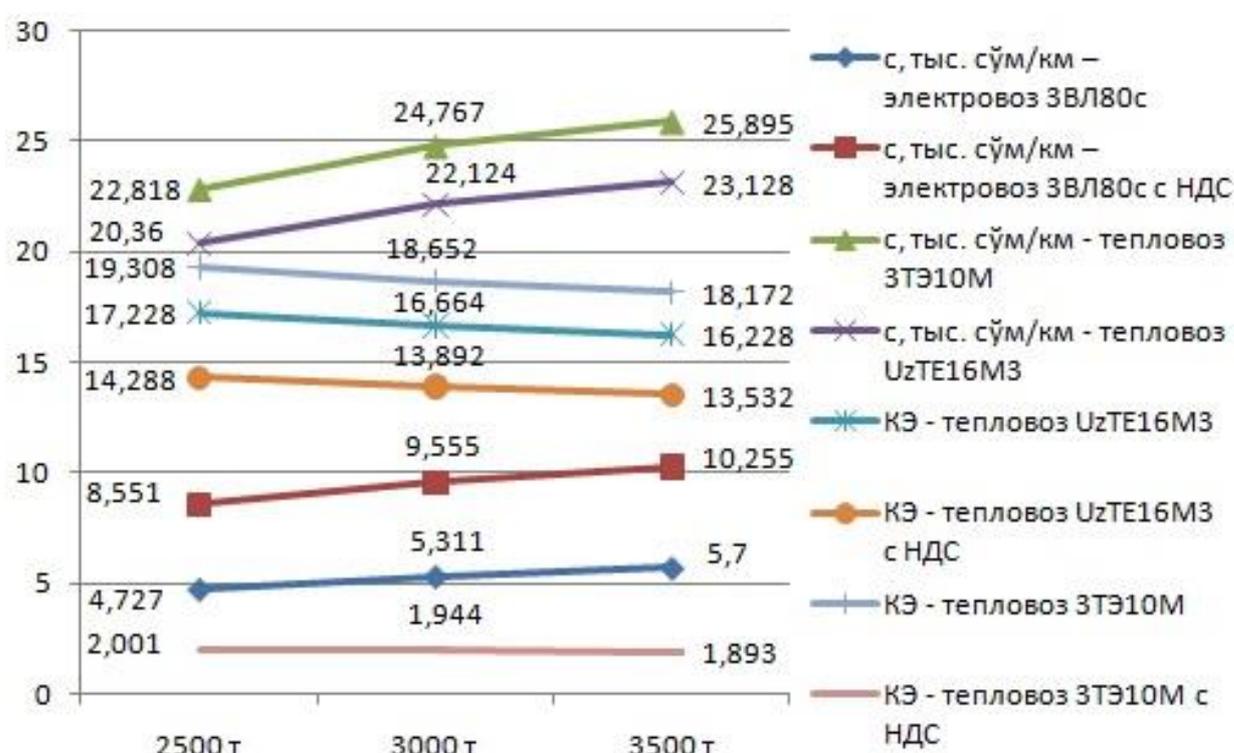


Рис.5.3. Критерии эффективности использования локомотивов на холмистом участке железной дороги

Анализ результатов исследований показал следующее:

- для обоих видов тяги уменьшение на каждые $\Delta Q = 500$ т массы состава с 3500 т до 2500 т приводит, также, к уменьшению стоимости перевозок грузов, в среднем, приблизительно на 4,34 – 7,98 и 4,35 – 7,87 процентов (тепловозы $UzTE16M3$ и $3TЭ10M$), и на 6,84 – 10,99 процентов – электровозы ЗВЛ80с;

- тепловозы $UzTE16M3$, по сравнению с тепловозами $3TЭ10M$, с дифференциацией изменения по массе состава в $\Delta Q = 500$ т обеспечивают

снижение расхода дизельного топлива на тягу поездов и стоимости железнодорожных перевозок грузов, в среднем, приблизительно, на 10,71 процента;

- электровозы 3ВЛ80^С эффективнее ("экономичнее") тепловозов *UzTE16M3* и 3ТЭ10М, в среднем, соответственно, в 4,307 (3,572) и 4,827 (4,003) раз – $Q_1 = 2500$ т; 4,166 (3,473) и 4,663 (3,888) раз – $Q_2 = 3000$ т; а также 4,057 (3,383) и 4,543 (3,787) раз – $Q_3 = 3500$ т. В скобках, приведены значения для тарифа за один киловатт - час израсходованной электрической энергии с учётом налога на добавленную стоимость (НДС);

- электрическая тяга в сравнении с дизельной тягой, несомненно, будет значительно меньше "загрязнять" атмосферу вредными веществами.

Таким образом, результаты проведённых исследований подтверждают (доказывают) преимущество электрической тяги над дизельной тягой, а тепловозов *UzTE16M3* над тепловозами 3ТЭ10М, что является вполне логичным, корректным и достаточно хорошо согласуется с исследованиями [65,66 и другие].

Поэтому, электрификация узбекских железных дорог с учётом перехода от дизельной тяги к тяге электрической и пополнение локомотивного парка магистральными тепловозами серии *UzTE16M* в разном секционном исполнении и современными, высокопроизводительными грузовыми и пассажирскими электровозами «Узбекистан», однозначно, имеют место быть не только на ближайшую, но и на дальнейшую, долгосрочную перспективу.

Внедрение изложенного выше в систему организации перевозочного процесса, практику эксплуатации и работы локомотивов, позволит повысить провозную и пропускную способности железных дорог, эффективность использования дизельной и, особенно, электрической тяги, эксплуатируемого локомотивного парка в целом, а также обеспечить лучшие экономические и экологические показатели с учётом снижения себестоимости всех видов железнодорожных перевозок.

Выводы по главе 5

1. Приведены табличные данные и графические зависимости результатов исследований по оценке эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути, полученные методом осреднения расчётных величин.

2. Обоснованы усреднённые значения параметров основных показателей перевозочной работы исследуемых магистральных (поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80^С и тепловозов ЗТЭ10М, *UzTE16M3* на виртуальном холмистом участке железной дороги при реализации железнодорожных перевозок грузов различных по содержанию, структуре, типу и виду.

3. Доказано преимущество электрической тяги над дизельной тягой, а трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов *UzTE16M3*, над аналогичными тепловозами серии ЗТЭ10М.

4. Получены уравнения регрессии для вычисления кинематических параметров движения грузовых поездов и основных показателей энергетической эффективности локомотивов дизельной и электрической тяги на виртуальном холмистом участке железнодорожного пути.

Список использованной литературы

1. Мирзиёев Ш.М. Мы все вместе построим свободное, демократическое и процветающее государство Узбекистан. Выступление на торжественной церемонии вступления в должность Президента Республики Узбекистан на совместном заседании палат Олий Мажлиса / Ш. М. Мирзиёев. - Ташкент: Ўзбекистон, 2016. – 56 с.
2. Мирзиёев Ш.М. Критический анализ, жесткая дисциплина и персональная ответственность должны стать повседневной нормой в деятельности каждого руководителя. Доклад на расширенном заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2016 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2017 год. 2017 год 14 января / Ш. М. Мирзиёев. - Ташкент: Ўзбекистон, 2017. – 104 с.
3. Абляимов О. С. Анализ перевозочной работы электровозов 3VL80^S на участке Мароканд – Каттакурган в условиях эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – технический журнал «Автоматика на транспорте» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – Санкт - Петербург, 2017. Т. 3. № 2. – С. 216 – 234.
4. *D. Ma*, “Analysis of Overvoltage Transient State Process of De-energized Passage of Neutral Section Insulator,” Cheng Du: South West JiaoTong University, 2008.
5. *X. Y. Zhang*, “Research on Overvoltage Mechanism and Prevention in the Network-Locomotive Coupling of the High-Speed and Heavy Haul Railways,” Cheng Du:South West JiaoTong University, 2009.
6. *Y. J. Liu, G. W. Chang, H. M. Huang*. “Mayr’s Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, No. 3, 2010, pp. 2025-2027.
7. *Z. G. Fang*, “Application of Transient Overvoltage Suppression Technique for EMU Auto-passing the Neutral Section with On-board Switch Closed,” Railway Technical Innovation, 2010, Vol. 1, pp. 44-46

8. Z. Y. He, H. T. Hu, L. Fang, et. “Research on the Harmonic in High-speed Railway Traction Power Supply System and Its Transmission Characteristic,” Proceedings of the CSEE, 2011, Vol. 31, No. 16, pp. 55-62.

9. G. J. Li, X. Y. Feng, L. J. Wang, et. “Research and Simulation on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU,” Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, Vol. 22, No. 7, pp. 181-185.

10. J. M. Wen, B. T. Wang, Z. J. Fang, “Research and Using on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU,” Railway Standard Design, 2011, Vol. 4, pp. 104-108.

11. N. Li, “Research on Electromagnetic Transient Process of Electric Locomotive System,” Beijing: Beijing Jiaotong univerisity, 2010.

12. Carter, F. W. On the stability of running of locomotives [Text] / Proc. of the Roy. Soc. of London, 1928. Vol. 121. Ser. A 788, pp. 585 – 611.

13. Kalker, J. J. Survey of wheel rail rolling contact theory [Text] / Vehicle system dynamics, 1979. Vol 5, pp. 317 –358.

14. Нехаев В. А. Некоторые математические аспекты исследования «жесткой» динамической модели, описывающей взаимодействие колеса и рельса [Текст] / В. А. Нехаев, В. А. Николаев // Научно – технический журнал «Известия Транссиба» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2015. № 4 (24). – С. 45 – 56.

15. Megger: Guide to Diagnostic Insulation Testing Above 1kV, Second Edition / D. O. Jones, J. R. Jowett and others, 2002, p 47.

16. Natesan P. Compensation of Power Quality Problems in Traction Power System Using Direct Power Compensator [Text] / P. Natesan, G. Madhusudanan / IEEE International Conference on Innovations in Engineering and Technology. 2014, Vol. 3, no. 7, pp. 277 – 280.

17. Bueno A. Harmonic and unbalance compensation based on direct power control for electric railway systems [Text] / A. Bueno, J. Aller and others

/ IEEE Transactions on power electronics. 2013. Vol. 28, no. 12, pp. 5823 – 5831.

18. Москалев Ю. В. Определение места размещения и мощности компенсирующего устройства в системе тягового электроснабжения переменного тока двухпутного участка по минимуму потерь активной мощности [Текст] / Ю. В. Москалев, Г. Г. Ахмедзянов // Научно – технический журнал «Известия Транссиба» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. № 2 (26). – С. 100 – 107.

19. An experimental setup to study a hybrid drive train for a shunting locomotive / S. Le Ballois, T. Talakhadze, L. Vido, A. Zarifyan / 11th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER2016), April 6-8, 2016, Monte-Carlo (Monaco).

20. *Bosch R., Lichtberger B.* Continuous, non-destructive measuring of lateral resistance of the track. AEA Technology Rail, Netherland, Plasser & Theurer, Austria. – 10 pages. (Электронный ресурс [www.railway research. Org / IMG/pdf/341-2.pdf](http://www.railwayresearch.Org/IMG/pdf/341-2.pdf)).

21. *Staudt, I.* 3L NPC & TNPC Topology / I. Staudt // Semikron. Application note AN11001, 2012, p. 12

22. *Haken, H.* Synergetics: Introduction and Advanced Topics [Text] / H. Haken. – Springer; Softcover reprint of the original 1st ed. 2004 edition, 2012, 768 p.

23. *Malakooti, B.* Operations and Production Systems with Multiple Objectives [Text] / B. Malakooti. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2014, 1114 p.

24. *Puranam, P.* Corporate Strategy: Tools for Analysis and Decision-Making [Text] / P. Puranam, B. Vanneste. – Cambridge University Press, 2016, 322 p.

25. *Keeney, R. L.* Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs [Текст] / R. L. Keeney, H. Raiffa. – Cambridge University Press, 2003, 569 p.

26. Хряков А.А. Разработка методов и технических средств определения расхода электрической энергии на тягу поездов постоянного тока по зонам учета Дис. канд. техн. наук. Омск, 2011. 211с.

27. Ябко И.А. Метод расчета энергооптимальных траекторий движения поезда. Дис. канд. техн. наук. Москва, 2007. 131с.

28. Бакланов А.А. Энергетика движения поезда и нормирование расхода электроэнергии на тягу: Дис. канд. техн. наук. Омск, 1988. 228 с.

29. Климович А.В. Оптимизация управления движением поезда по минимуму затрат энергоресурсов на тягу: Монография / А. В. Климович. М.: Компания Спутник +, 2008. 263 с.

30. Добронос, А.М. Информационное обеспечение эффективной работы тепловозов. Текст. / А.М. Добронос, Ю.Е. Просвилов, В.С. Целиковская // Железнодорожный транспорт. - №1.- 2003. С.45-48.

31. Добронос А.М. Эксплуатационные режимы дизелей и эффективность тепловозов / Монография. - Самара: СамИИТ, 2001. 120 с.

32. Абляимов О.С., Кудряшов В.С. К исследованию энергетической эффективности электровозов ВЛ 60^к в эксплуатации. Материалы научного семинара студентов магистратуры и бакалавриата «Транспортная логистика и мультимодальные перевозки», ТашИИТ, Ташкент, 2011, 6...8 с.

33. Абляимов О.С., Кудряшов В.С. К исследованию режимов вождения грузовых поездов электровозами. IX межвузовская научно-практическая конференция студентов бакалавриата, магистратуры и стажеров-исследователей «Молодой научный исследователь», ТашИИТ, Ташкент, 2011, С. 34-36.

34. Абляимов О.С., Толкачаев А.В. К вопросу решения задачи оптимизации режимов вождения поездов на основе различных принципов. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 157/5, 1979, С. 40-46.

35. Абляимов О.С. О методах исследования перевозочной работы локомотивов. Республиканская научно-техническая конференция с

участием зарубежных учёных «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте», ТашИИТ, Ташкент, 2011, С. 30-32.

36. Абляимов О.С., Ахмедов С.Х. К обеспечению безопасности движения поездов на участке Ташгузар – Кумкурган ГАЖК «Ўзбекистан темир йўллари». X межвузовская научно-практическая конференция студентов бакалавриата, магистратуры и стажеров-исследователей «Молодой научный исследователь», ТашИИТ, Ташкент, 2012, С. 43-46.

37. Митрофанов А.Н. Прогнозирование и управление электропотреблением тяги поездов: Дис. докт. техн. наук. Самара, 2006. 501 с.

38. Медлин Р.Я. Нормирование расхода энергоресурсов / Р. Я. Медлин, Е. А. Сидорова // Электрическая и тепловозная тяга. 1989. №2, С. 37-39.

39. Абляимов О.С., Толкачёв А.В., Смольков И.А. Оценка энергетической эффективности перевозочной работы локомотивов в эксплуатации. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 165/12, 1980, С. 30-36.

40. Толкачёв А.В. Анализ энергетических результатов поездок по скоростемерным лентам. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 169/16, 1981, 58...68 с.

41. Толкачёв А.В. Расчёты коэффициентов полезного действия перевозочной работы тепловозов на участках. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 144, 1977, С. 60-72.

42. Толкачёв А.В. Расчёты норм расхода энергии на перевозочную работу локомотивов методом расчленения. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 100, 1973, С. 43-54.

43. Абляимов О. С., Толкачёв А. В. Выбор оптимальных режимов вождения поездов методом динамического пошагового программирования на некоторых участках. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 116, 1975, С. 36-43.

44. Абляимов О. С., Толкачёв А. В. Эффективность методов нормирования расхода энергии на тягу поездов. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 105, 1974, С. 37-47.

45. Толкачёв А. В. О выборе оптимального управления движением поезда. – Т.: Тр. ТашИИТ, вып. 134, 1976, С. 40-54.
46. Правила тяговых расчётов для поездной работы.–М.: Транспорт, 1985, 287 с.
47. Деев В. В., Ильин Г. А., Афонин Г. С. Тяга поездов. Учебное пособие для вузов. / В. В Деев, Г. А., Ильин, Г. С. Афонин. – М.: Транспорт, 1987, 264 с.
48. Кузьмич В. Д. Теория локомотивной тяги: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / В. Д Кузьмич, В. С., Руднев, С. Я. Френкель. М.: Маршрут, 2005. 448 с.
49. Абляимов О. С. О методах исследования перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Республ. науч.-техн. конф. с участием зарубежных учёных «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» / Ташкентский ин-т инж. ж.-д. транспорта. Ташкент, 2011. С. 30 - 33.
50. Абляимов О. С. Основы управления локомотивов: Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта / О.С. Абляимов, Э.С. Ушаков. Ташкент: *Davr*, 2012. 392 с.
51. Абляимов О. С. К анализу эксплуатации тепловозов *UzTE16M3* на равнинном участке железнодорожного пути [Текст] / О.С. Абляимов, Г.А. Содикова // Молодой научный исследователь: Материалы XII межвузов. науч.-практ. конф./ ТашИИТ. Ташкент, 2014. С. 23 - 25.
52. Абляимов О. С. Оценка эффективности перевозочной работы электровозов 3ВЛ80^С на участке Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Международный информационно – аналитический журнал «Crede experto: транспорт, общество, образование, язык» / Филиал Московского гос. техн. ун-та гражданской авиации. – Иркутск, 2018. № 3 – С. 54 – 62.
53. Абляимов О. С. Графический метод расчёта времени хода поезда на разгон – замедление [Текст] / О. С. Абляимов, И. О. Ташбеков,

О. Б. Нигматов // Республика илмий – амалий анжумани «Олий ва ўрта махсус, касб - ҳунар таълимининг ўзаро ҳамкорлик алоқалари: ютуқ ва муаммолар». / Ташкентский гос. ун-т экономики. – Тошкент: ТДИУ, 2017. – С. 66 - 68.

54. Абляимов О. С. К анализу энергетической эффективности тепловозов *UzTE16M3* на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, М. З. Мухитдинов // Материалы международной науч. – практ. конф. «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 37 – 39.

55. Зоирхонов С. Т. Тяговые расчёты для электровозов 3ВЛ80^С на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, С. Т. Зоирхонов, А. Х. Насуллаев, М. М. Ташпулатов, Т. Т. Шодиев, З. М. Махкамов // Сборник статей по материалам XIII международной науч.-практ. Конф. «Актуальные вопросы в науке и практике» (10 декабря 2018 г., г. Самара). В 4 ч. Ч.1. – Уфа: Изд. Дендра, 2018. – С 50 - 63.

56. Зоирхонов С. Т. К использованию электровозов 3ВЛ80^С на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, С. Т. Зоирхонов, А. Х. Насуллаев, С. И. Эркинов, Ш. М. Искандаров, Ф. О. Хабибуллаев // Сборник статей по материалам XIII международной науч.-практ. Конф. «Перспективы развития науки в современном мире» (14 декабря 2018 г., г. Уфа). В 2 ч. Ч.1. – Уфа: Изд. Дендра, 2018. – С 27 - 39.

57. Абляимов О. С. Исследование эксплуатации тепловозов *UzTE16M3* на холмистом участке железнодорожного пути [Текст] / О. С. Абляимов, Ж. Х. Атахажаев // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы республ. науч.-практ. конф. / ТашиИИТ - Ташкент, 2013. С. 55 - 58.

58. Абляимов О. С. К анализу эксплуатации электровозов 3ВЛ80^С на холмистых участках железных дорог [Текст] / О. С. Абляимов, М. З. Мухитдинов // «Актуальные проблемы научно – методической работы»:

Материалы X межвузов. науч.-метод. конф. / ТашИИТ. - Ташкент, 2013. С. 23 - 25.

59. Васько Н. М. Электровоз ЗВЛ80^С. [Текст] / Н. М. Васько, А. С. Девятков, А. Ф. Кучеров // Руководство по эксплуатации. - М.: Транспорт, 1990. – 454 с.

60. Абляимов О. С. К анализу тяговых расчётов на новых участках ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. Т. Касымов, О. С. Абляимов, // Материалы науч.-техн. конф. по проблемам наземных транспортных систем с участием зарубежных учёных / Ташкентский ин-т инж. ж.-д. транспорта. - Ташкент, 2008. С. 94 - 98.

61. Абляимов О. С. Исследование эксплуатации тепловозов *UzTE16M4* на участке Кумкурган – Ташгузар [Текст] / О. С. Абляимов // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. - Омск, 2014. № 2 (18). С. 2...7.

62. Абляимов О. С. К обоснованию параметров основных показателей использования электровозов ЗВЛ80^С тяги на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, М. З. Мухитдинов // Материалы II-й Международной науч.-техн. конф. «Локомотивы. XXI век» / Санкт – Петербургский гос. ун-т путей сообщения. – Санкт – Петербург, 2014. – С. 213 – 217.

63. Абляимов О С. К анализу энергетической эффективности тепловозов *UzTE16M3* на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, М. З. Мухитдинов // Материалы международной науч. – практ. конф. «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 37 – 39.

64. Абляимов О С. К анализу эффективности использования электровозов ЗВЛ80^С на равнинном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, И. С. Камалов, М. З. Мухитдинов // Материалы международной науч. – практ. конф. «Повышение энергетической

эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 47 – 49.

65. Абляимов О.С. Оценка энергетической эффективности использования тепловозной тяги методом осреднения расчетных величин [Текст] / О. С. Абляимов, Ж. Х. Атахажаев // Республика илмий-амалий конференцияси «Таълим тизимини ривожлантиришда таълим босқичлари ўртасидаги интеграция жараёнларини чуқурлаштириш». – Т.: ТошДЙУ, 2014. - С. 25-28.

66. Абляимов О.С., Атахажаев Ж.Х. Исследование перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С методом осреднения расчётных величин [Текст] / О. С. Абляимов, Ж. Х. Атахажаев // Республика илмий-амалий конференцияси «Таълим тизимини ривожлантиришда таълим босқичлари ўртасидаги интеграция жараёнларини чуқурлаштириш». - Т.:ТошДЙУ, 2014 - С. 35-37.

67. Зоирхонов С. Т. Об использовании тепловозов *UzTE16M3* на участке Мароканд – Каттакурган Узбекской железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, М. И. Хисматулин, С. Т. Зоирхонов, Б. Х. Эркинов, Ш. Г. Мусаев, Х. Ф. Ишбутаев // Сборник статей по материалам XVI международной науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы современной науки» (21 ноября 2018 г., г. Томск). В 3 ч. Ч.1. – Уфа: Изд. Дендра, 2018. – С 58 - 70.

68. Зоирхонов С. Т. Деловая игра, как средство формирования познавательных и профессиональных мотивов и интересов студентов [Текст] / С. Т. Зоирхонов // Сборник статей по материалам республиканской науч.-практ. конф. «Гармонично развитое поколение – условие стабильного развития Республики Узбекистан». – Ташкент: *Davr*, 2018. – С 137 - 142.

69. Зоирхонов С. Т. Оценка технического состояния подшипниковых узлов при ремонте и эксплуатации локомотивов [Текст] / С. Т. Зоирхонов // Материалам XVI межвузовской науч.-практ. конф. студентов бакалавриата

и магистратуры, стажёров – исследователей – соискателей «Молодой научный исследователь» / Ташкентский ин-т инж. ж.-д. транспорта. - Ташкент, 2018. - С. 157 - 158.

70. Зоирхонов С. Т. Оценка технического состояния подшипниковых узлов локомотивов средствами вибродиагностики [Текст] / О. Р. Хамидов, И. С. Самигов, С. Т. Зоирхонов, З. О. Келдибеков // Сборник избранных статей по материалам международной науч. конф. «Наука. Исследования. Практика» / ГНИИ «Нацразвитие». - Санкт – Петербург, 2018. - С. 41 - 44.

71. Зоирхонов С. Т. Методы диагностики подшипниковых узлов асинхронных электродвигателей электровозов «UZ - ELR» [Текст] / О. Р. Хамидов, О. Э. Эргашев, З. О. Келдибеков, С. Т. Зоирхонов // Сборник избранных статей по материалам международной науч. конф. «Наука. Исследования. Практика» / ГНИИ «Нацразвитие». - Санкт – Петербург, 2018. - С. 45 - 49.