

На правах рукописи



Голигузова Алина Леонидовна

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ХОДОВЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ
ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКАХ**

05.22.08 - Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» МГУПС(МИИТ) на кафедре «Эксплуатация железных дорог».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Абрамов Александр Анатольевич

Официальные оппоненты: Кудрявцев Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Управление эксплуатационной работой», профессор

Каликина Татьяна Николаевна,
кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», заведующая кафедрой «Организация перевозок и безопасность на транспорте»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ СамГУПС)

Защита состоится «15» апреля 2015 г. в 13.00 на заседании диссертационного совета Д.218.005.07 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МГУПС (МИИТ), www.miit.ru.

Автореферат разослан «18» февраля 2015 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета

Горелик Александр Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Основным документом, регламентирующим работу практически всех подразделений железных дорог, является график движения поездов. Важнейшими технологическими нормативами при его разработке выступают перегонные времена хода поездов различных категорий (грузовых, пассажирских, пригородных). Именно они, в части грузового движения, определяют такие важнейшие показатели (в т.ч. бюджетные), как техническая и участковая скорости движения, влияющие на оборот и производительность вагонов и локомотивов.

Расчет перегонных времен хода (с учетом имеющихся ограничений по ходовой скорости) производится для условий максимального использования мощности поездных локомотивов, т.е. основным критерием расчетов является максимальное достижение ходовых скоростей движения грузовых поездов. А поскольку, последние оказывают основное влияние на величины технической и участковой скоростей движения, то этот критерий можно интерпретировать как минимальное время нахождения поездов на железнодорожном участке (минимальное время движения по перегонам участка).

При организации пассажирского движения одним из важнейших критериев привлечения населения на железнодорожный вид транспорта является минимизация времени нахождения в пути (максимизация скоростей движения пассажирских поездов). Это позволяет увеличить прибыль компании за счет привлечения дополнительного числа пассажиров (в т.ч. и с других видов транспорта). Поэтому проблема роста топливно-энергетических затрат при увеличении ходовых скоростей движения поездов при организации пассажирских перевозок отодвигается на второй план.

Этого нельзя сказать в отношении грузовых перевозок. Тем более, что из-за значительной массы грузовых поездов (по сравнению с пассажирскими) основные расходы топливно-энергетических ресурсов приходится именно на грузовые перевозки. Вместе с тем, на железнодорожном транспорте Российской Федерации имеет место тенденция, направленная на повышение скоростей

движения грузовых поездов безотносительно от возможного повышения топливно-энергетических затрат. Ежегодно в ОАО «РЖД» рассматриваются программы увеличения числа железнодорожных участков с ходовыми скоростями для грузовых поездов до 90 км/ч.

Степень научной разработанности проблемы исследования.

Решению проблемы оптимизации веса и скорости движения грузовых поездов, а также разработке экономико-математических моделей посвящены работы: А.М. Баранова, С.А. Быкадорова, П.С. Грунтова, О.П. Ершкова, В.Н. Зубкова, Н.В. Колодяжного, Ф.П. Кочнева, В.О. Левзнера, Н.Д. Малькевича, К.К. Тихонова, Э.Д. Фельдман, Д.В. Бобыря, В.Н. Гопнако и ряд других ученых.

Ранее выполненные исследования по рассматриваемой проблеме были направлены на ускорение продвижения грузопотоков, либо на повышение провозной способности железнодорожных участков и в недостаточной мере отражали вопросы потребления топливно-энергетических затрат на тягу поездов. Последние в основном рассматривались с позиции повышения массы грузового поезда в целях сокращения удельного расхода топлива и электроэнергии на тягу и не учитывали скоростной режим его движения.

Целью диссертационной работы является разработка методов определения рациональных скоростей движения (перегонных времен хода) грузовых поездов на однопутных и двухпутных железнодорожных участках по различным критериям оптимизации.

К основным **задачам исследования** относятся:

- оценка влияния ходовых скоростей движения грузовых поездов на параметры функционирования инфраструктуры и подвижного состава;
- разработка методов расчета рациональных ходовых скоростей движения грузовых поездов на двухпутных железнодорожных участках при различных оптимизационных критериях;
- разработка методов расчета рациональных ходовых скоростей движения грузовых поездов на однопутных железнодорожных участках при различных оптимизационных критериях.

Объект исследования. Однопутные и двухпутные железнодорожные

участки.

Предмет исследования. Рассматривается процесс пропуска грузовых поездов на реальных однопутных и двухпутных железнодорожных участках.

Методы исследования:

- системный подход к решению поставленной проблемы;
- факторный и математический анализ;
 - дискретная оптимизация с полным перебором вариантов скоростей движения поездов с учетом накладываемых ограничений.

Научная новизна результатов исследования диссертационной работы состоит в том, что впервые создана методика и разработаны алгоритмы определения рациональных ходовых скоростей движения (перегонных времен хода) грузовых поездов на однопутных и двухпутных железнодорожных участках по различным оптимизационным критериям.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в исследовании зависимости между скоростями движения поездов и эксплуатационными затратами на организацию грузовых перевозок. Отсутствие связи между рациональной скоростью движения грузовых поездов и их весом позволяет говорить о какой-либо одной оптимальной скорости для каждого конкретного железнодорожного участка независимо от массы поездов, обращающихся на нем. Практическое применение предложенных алгоритмов позволяет разрабатывать энергооптимальные графики движения грузовых поездов, имеющих большую актуальность в настоящее время, в связи с высоким потреблением топливно-энергетических ресурсов.

Положения выносимые на защиту:

- экономико-математическая модель оптимизации скоростей движения грузовых поездов по критерию минимизации топливно-энергетических затрат;
- экономико-математическая модель оптимизации скоростей движения грузовых поездов по критерию минимизации эксплуатационных расходов ОАО «РЖД»;
- экономико-математическая модель оптимизации скоростей движения грузовых поездов по критерию минимизации совокупных расходов ОАО

«РЖД» и владельцев вагонных парков.

В диссертационной работе лично соискателем решены следующие задачи:

- исследовано влияния скоростей движения грузовых поездов на потребление топливно-энергетических ресурсов и совокупные затраты ОАО «РЖД»;
- разработаны экономико-математические модели, позволяющие рассчитывать оптимальные перегонные времена хода для последующего построения графиков движения поездов на однопутных и двухпутных железнодорожных участках.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на конференциях: научно-технической конференция «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2012) 15-16 ноября 2012г., г. Москва; второй научно-технической конференция «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ-2013) 21-22 октября 2013г., г. Москва; сетевой школе передового опыта «Энергоменеджмент в ОАО «РЖД»» 1-3 октября 2014 г., г. Адлер.

Предложенные в диссертации методики использованы при создании автоматизированного комплекса задач «Разработка, корректировка и актуализация графика движения поездов с обеспечением пропуска грузовых поездов по расписанию» для программно-технологического комплекса ИСУЖТ сетевого уровня на полигоне ЦД ОАО «РЖД».

Публикации. Материалы диссертационного исследования опубликованы в 5 научных публикациях, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК России -3 статьи.

Структура и объем. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, библиографического списка. Изложена на 160 страницах машинописного текста и содержит 61 рисунок, 8 таблиц, 64 формулы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы снижения топливно-

энергетических затрат на тягу поездов; степень научной разработанности;

определены цели и задачи исследования; отражена научная новизна и практическая значимость разработанной методики, положения выносимые на защиту.

В первой главе «Теория и практика изменения параметров грузового движения» проведен анализ теории и практики влияния основных параметров грузового движения на потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Решению данной проблемы посвящены работы: Баранова А.М., Быкадорова С.А., Бобыря Д.В., Гопнако В.Н., Грунтова П.С., Ершкова О.П., Зубкова В.Н., Колодяжного Н.В., Кочнева Ф.П., Левзнера В.О., Малькевича Н.Д., Тихонова К.К., Фельдман Э.Д. и ряда других ученых.

Практически все исследования по рассматриваемой проблеме были направлены на ускорение продвижения грузопотоков, либо на повышение провозной способности железнодорожных участков и в недостаточной мере отражали вопросы потребления топливно-энергетических затрат на тягу поездов. Последние в основном рассматривались с позиции повышения массы грузового поезда в целях сокращения удельного расхода топлива и электроэнергии на тягу и не учитывали скоростной режим его движения.

Во второй главе «Оценка параметров пропуска поездопотока по железнодорожному участку» выполнена оценка параметров пропуска поездопотока по железнодорожному участку.

На потребление электроэнергии (дизельного топлива) на двухпутных железнодорожных участках влияет количество обгонов грузовых поездов пассажирскими, приводящих к изменению топливно-энергетических затрат на разгоны и замедления, а также время простоя под обгонами. В этой связи, разработана формула для определения числа обгонов грузовых поездов пассажирскими поездами на всем железнодорожном участке:

$$n_{обг} = \frac{n_3 (t_{хбн}^{zp} - t_{хбн}^{nc} - 1)}{T_6}, \quad (1)$$

где n_3 – число зон в течение суток, при попадании в которые грузовые поезда

подвергаются обгонам;

$t_{x\delta n}^{ep}, t_{x\delta n}^{nc}$ – время хода соответственно грузового и пассажирского поездов по железнодорожному участку без учета первого перегона, мин;

T_{δ} – бюджет времени в течение суток, выделенный для пропуска поездов, мин. При отсутствии технологических или «окон» для капитального ремонта пути $T_{\delta} = 1440$ мин. При наличии на железнодорожном участке «окон» $T_{\delta} = 1440 - t_{ок}$ (где $t_{ок}$ – продолжительность «окна», мин.).

Величина n_3 определяется по графику движения пассажирских поездов и равна их числу при разрозненной прокладке последних. При пакетном пропуске пассажирских поездов 2 (при двух поездах в пакете), 3 (при трех) и т.д. считаются за одну зону.

Среднее время задержек грузового поезда под обгонами его пассажирскими для всего участка:

$$\Delta t_x^{ep} = \frac{n_3 (t_{x\delta n}^{ep} - t_{x\delta n}^{nc} - 1)}{T_{\delta}} \left(\tau_{nn} + \tau_{no} + t_p + \frac{t_3 - 1}{2} + \frac{t_{x\delta n}^{ep} - t_{x\delta n}^{nc}}{2(k-1)} + \frac{\sum_{i=1}^{k_{инт}} I_{пак_i}^{nc}}{n_3} \right). \quad (2)$$

где $I_{пак_i}^{nc}$ – величина i -го интервала в пакете пассажирских поездов, мин;

$k_{инт}$ – количество интервалов в пакетах на графике движения;

τ_{nn} – интервал попутного прибытия пассажирского поезда за грузовым, мин;

τ_{no} – интервал попутного отправления грузового поезда за пассажирским, мин;

t_p – дополнительное время на разгон грузового поезда, мин;

k – количество перегонов на рассматриваемом железнодорожном участке.

Соотношение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов, а также изменение времени нахождения на участке последних, влияет на изменение показателей использования подвижного состава: время оборота, среднесуточный пробег, производительность вагона и локомотива.

Во второй главе выполнен анализ влияния времени нахождения грузовых поездов на съём их пассажирскими поездами, показатели работы локомотивного парка, показатели работы вагонного парка.

В третьей главе « Экономико-математические модели оптимизации скоростей движения грузовых поездов» разработаны экономико-математические модели оптимизации скоростей движения грузовых поездов.

Выделены три критерия оптимизации, по которым выполняется разработка соответствующих экономико-математических моделей:

- оптимизация скоростей движения грузовых поездов по критерию минимизации топливно-энергетических затрат;
- оптимизация скоростей движения грузовых поездов по критерию минимизации расходов ОАО «РЖД»;
- оптимизации скоростей движения грузовых поездов по критерию минимизации совокупных затрат ОАО «РЖД», грузовладельцев и владельцев вагонного парка.

Основой оптимизационных расчетов во всех случаях является автоматизированная система тяговых расчетов ИСКРА, которая применяется в настоящее время на всей сети железных дорог для определения перегонных времен хода грузовых и пассажирских поездов, определения топливно-энергетических затрат на тягу и т.п.

Фактически разрабатываемые экономико-математические модели являются функциональным расширением автоматизированной системы, которые позволят определять оптимальные скорости движения грузовых поездов для каждого конкретного железнодорожного участка и на их основе рассчитывать времена их хода по перегонам.

Исходными данными для расчетов в АС ИСКРА являются план и профиль пути, серия локомотивов в грузовом движении, постоянно действующие предупреждения об ограничении скоростей движения поездов, масса обращающихся грузовых поездов на железнодорожном участке и др.

В первой модели установление оптимальной ходовой скорости грузовых поездов на рассматриваемом железнодорожном участке производится методом направленного перебора по критерию минимизации топливно-энергетических затрат:

$$W = W_m + W_c + W_{ост} \Rightarrow \min, \quad (3)$$

где W_m – топливно-энергетические затраты на тягу грузового поезда при его следовании по железнодорожному участку без остановок, определяемые прямым порядком для задаваемых значений ходовой скорости, кВт (кг дизельного топлива);

W_c – топливно-энергетические расходы на собственные нужды локомотива за все время нахождения грузового поезда на железнодорожном участке, кВт (кг дизельного топлива);

$W_{ост}$ – дополнительные топливно-энергетические расходы, связанные с остановками грузового поезда при его обгонах пассажирскими, кВт (кг дизельного топлива).

Топливо-энергетические расходы на собственные нужды локомотива за все время нахождения грузового поезда на железнодорожном участке:

$$W_c = \frac{(t_{хбн}^{zp} + t_{x_1}^{zp})}{60} w_c, \quad (4)$$

где $t_{x_1}^{zp}$ – время хода грузового поезда по первому перегону железнодорожного участка, мин;

w_c – норматив удельного расхода топливно-энергетических затрат на собственные нужды локомотива, кВт/ч (кг дизельного топлива/ч).

Дополнительные топливно-энергетические расходы, связанные с остановками грузового поезда при его обгонах пассажирскими:

$$W_{ост} = n_{обг} W_{ост}, \quad (5)$$

где $n_{обг}$ – число обгонов грузового поезда пассажирскими за все время его следования по железнодорожному участку, определяемое по формуле (1);

$w_{ост}$ – средний (для всего железнодорожного участка) дополнительный расход электроэнергии (дизельного топлива), кВт (кг дизельного топлива).

На рисунке 1 приведен алгоритм определения оптимальной ходовой скорости грузового поезда на железнодорожном участке по критерию минимума топливно-энергетических затрат.

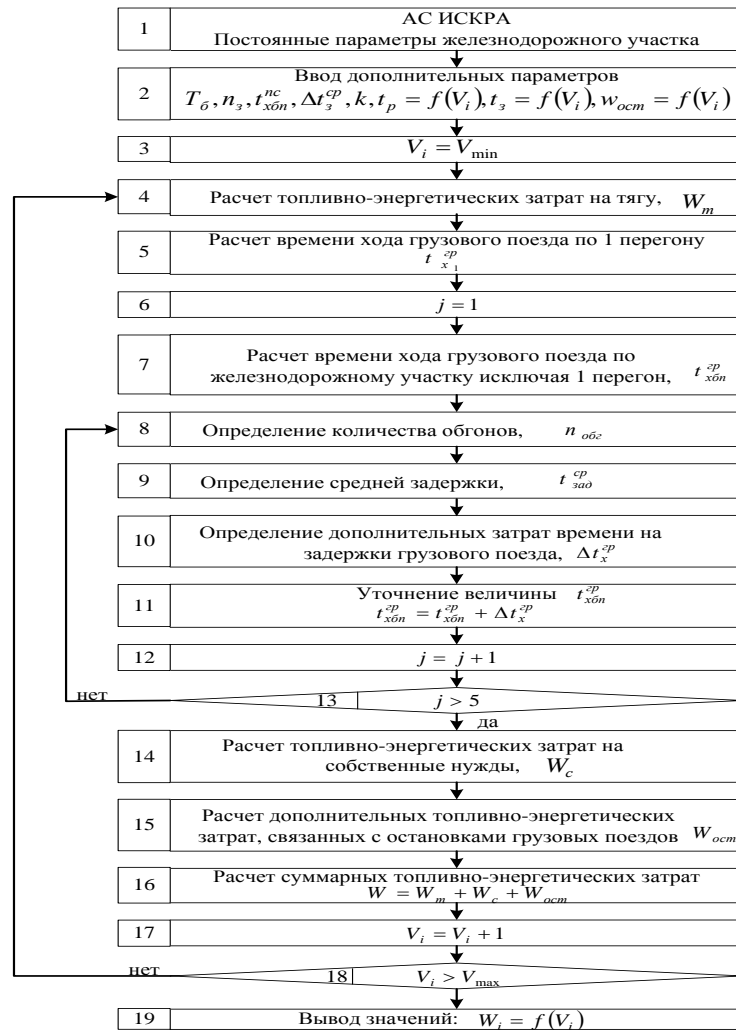


Рисунок 1 – Алгоритм определения оптимальной ходовой скорости грузового поезда по критерию минимума топливно-энергетических затрат

Предлагаемая экономико-математическая модель позволяет оптимизировать ходовую скорость движения грузовых поездов с учетом специфики инфраструктуры и условий функционирования на каждом конкретном железнодорожном участке.

На рисунках 2 и 3 приведены графики зависимости расхода электроэнергии и дизельного топлива от максимальной ходовой скорости движения грузового поезда соответственно на участках Кинель – Абдулино и Морозовская – Им.М.Горького в нечетном направлении. Анализ графиков показывает, что во всех случаях имеет место минимальное потребление электроэнергии (дизельного топлива), достигаемого при определенных скоростях движения грузовых поездов.

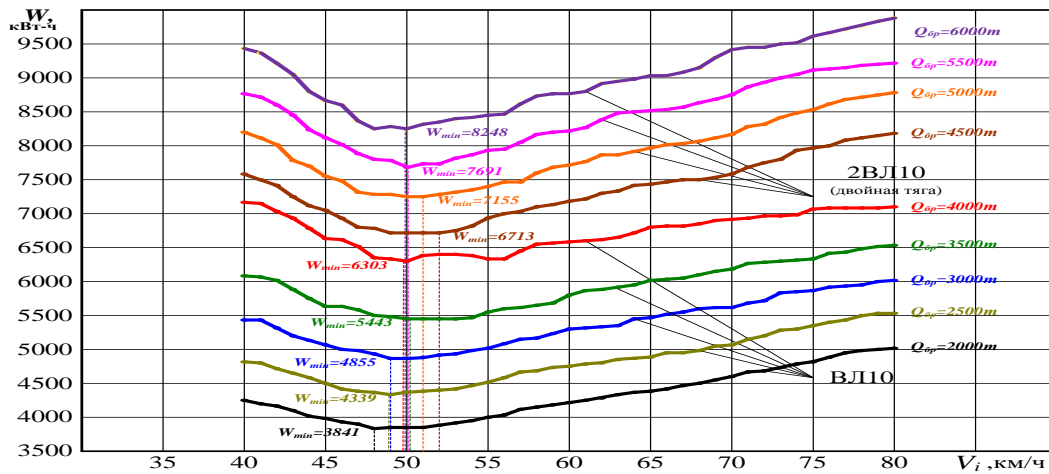


Рисунок 2- График зависимости расхода электроэнергии от максимальной скорости движения грузового поезда с остановками на участке Кинель-Абдулино в нечетном направлении

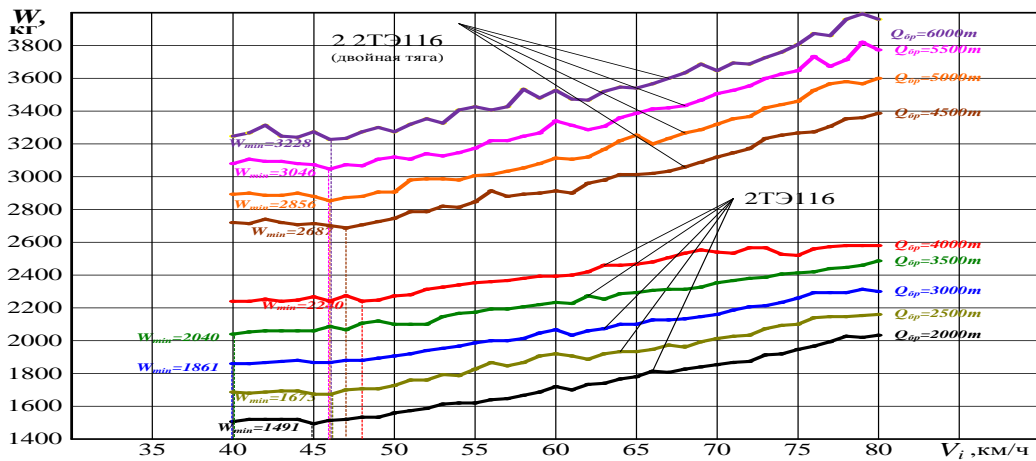


Рисунок 3- График зависимости расхода дизельного топлива от максимальной скорости движения грузового поезда с остановками на участке Морозовская-Им.М. Горького в нечетном направлении (2ТЭ116)

При этом не выявлено какой-либо существенной зависимости между массой поезда и оптимальной скоростью его движения. Отсутствие такой зависимости и узкий диапазон оптимальных скоростей движения грузовых поездов различной массы позволяет говорить о какой-либо одной оптимальной скорости для каждого конкретного железнодорожного участка независимо от массы поездов, обращающихся на нем.

Оптимальная ходовая скорость зависит от множества факторов: серии локомотива, плана и профиля железнодорожного пути, наличия предупреждений об ограничении движения поездов и др. Это позволяет утверждать, что не

только на каждом железнодорожном участке будет иметь место своя оптимальная ходовая скорость, но и на одном и том же участке она будет различаться для четного и нечетного направлений.

Данный тезис был подтвержден соответствующими расчетами для четных направлений рассмотренных железнодорожных участков, в результате которых были получены иные (по сравнению с нечетными направлениями) значения оптимальных ходовых скоростей движения поездов.

При оптимизации ходовой скорости движения грузовых поездов по второй модели учету подлежат не только затраты на топливно-энергетические ресурсы, но и расходы, связанные с эксплуатацией локомотивов и работой локомотивных бригад:

$$C = C_{mэ} + C_l \Rightarrow \min, \quad (6)$$

где $C_{mэ}$ – расходы, связанные с оплатой топливно-энергетических затрат при пропуске грузового поезда через железнодорожный участок, руб.;

C_l – эксплуатационные расходы, отнесенные к работе локомотива и локомотивной бригады при пропуске грузового поезда через железнодорожный участок, руб.

$$C_{mэ} = We_{эн} = (W_m + W_c + W_{ост})e_{эн}, \quad (7)$$

где $e_{эн}$ – стоимость кВт электроэнергии (кг дизельного топлива), руб.

$$C_l = \frac{(t_{хон}^{zp} + t_{x1}^{zp})}{60} e_{лбч}, \quad (8)$$

где $e_{лбч}$ – расходы, связанные с часом работы поездного локомотива, включающие расходы на оплату труда локомотивной бригады и исключаящие затраты на топливо и электроэнергию (в т.ч. топливно-энергетические затраты на собственные нужды), руб.

В этом случае расчетный алгоритм идентичен, представленному на рисунке 1, с той лишь разницей, что в конце расчетов затраты топлива и электроэнергии переводятся в денежную составляющую и к ним суммируются расходы, связанные с временем нахождения на железнодорожном участке локомотива с локомотивной бригадой.

На рисунках 4 и 5 приведены графики зависимости совокупных расходов ОАО «РЖД» от максимальной ходовой скорости движения грузового поезда соответственно на участках Кинель – Абдулино и Морозовская – Им.М.Горького в нечетном направлении. Их анализ показывает, что учет фактора работы локомотива с бригадой приводит к смещению оптимального значения ходовой скорости в большую сторону. И это понятно. Чем выше скорость поезда, тем меньше время находится в пути локомотив с бригадой.

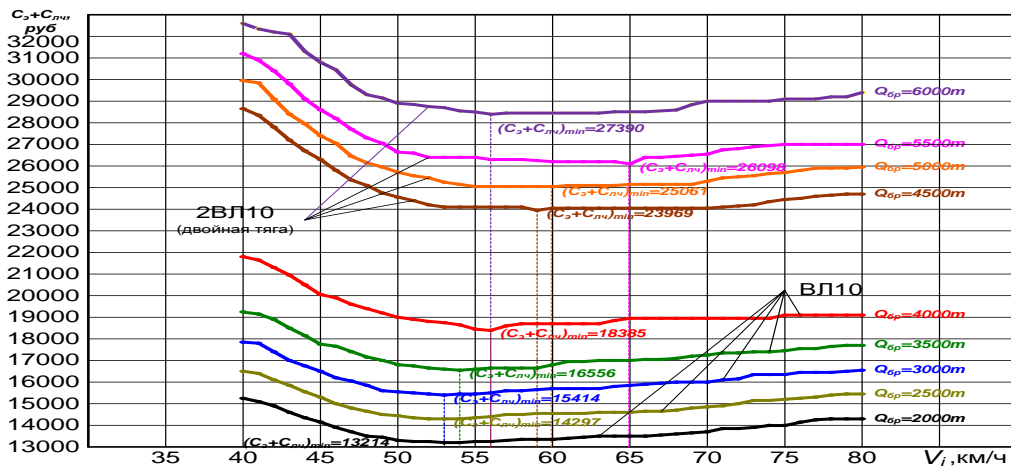


Рисунок 4 – График зависимости финансовых затрат ОАО «РЖД» от максимальной скорости движения грузового поезда с учетом остановок под обгонами на участке Кинель-Абдулино в нечетном направлении

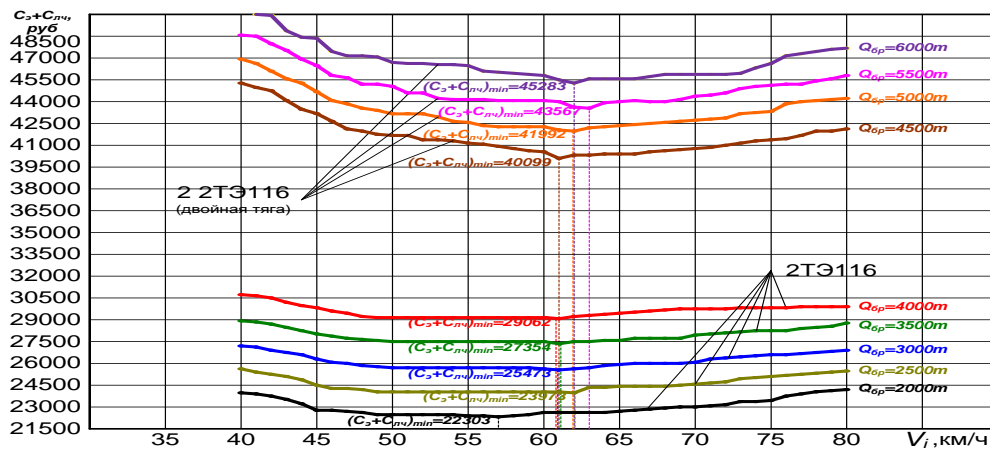


Рисунок 5 - График зависимости финансовых затрат ОАО «РЖД» от максимальной скорости движения грузового поезда с учетом остановок под обгонами на участке Морозовская-Им.М. Горького в нечетном направлении

В третьей модели учету подлежат затраты на топливно-энергетические ресурсы, расходы, связанные с эксплуатацией локомотивов и работой локомо-

тивных бригад, а также связанные с эксплуатацией вагонного парка и временем нахождения грузовой массы на колесах:

$$C = C_{mэ} + C_l + C_э \Rightarrow \min, \quad (9)$$

где $C_э$ – расходы, связанные с временем нахождения вагонов и грузов в грузовом поезде при его проводке через железнодорожный участок, руб.:

$$C_э = \frac{(t_{x_{6n}}^{эп} + t_{x_1}^{эп})}{60} e_{сч}, \quad (10)$$

где $e_{сч}$ – расходы связанные с составо-ч нахождения грузовых вагонов в движении по железнодорожному участку, руб.:

$$e_{сч} = m_c e_{эч}, \quad (11)$$

где $e_{эч}$ – стоимость вагоно-ч грузового вагона (принимается среднесетевой для смешанного вагонопотока: груженого и порожнего, с учетом стоимости часа нахождения в движении грузовой массы), руб.;

m_c – число вагонов в составе грузового поезда, определяемое из выражения:

$$m_c = \frac{Q_{6p} - q_l}{q_э}, \quad (12)$$

где Q_{6p} – масса грузового поезда брутто, т;

q_l – масса поездного локомотива (локомотивов), т;

$q_э$ – средняя масса брутто грузового вагона.

В этом случае расчетный алгоритм идентичен, представленному на рис.1 и во второй модели, с той лишь разницей, что в конце расчетов к денежным затратам на топливо (электроэнергию) и работу локомотива с бригадой добавляются расходы, связанные с временем нахождения на железнодорожном участке вагонов с грузом.

На рисунках 6 и 7 приведены графики зависимости совокупных расходов ОАО «РЖД», грузовладельцев и владельцев вагонных парков от максимальной ходовой скорости движения грузового поезда соответственно на участках.

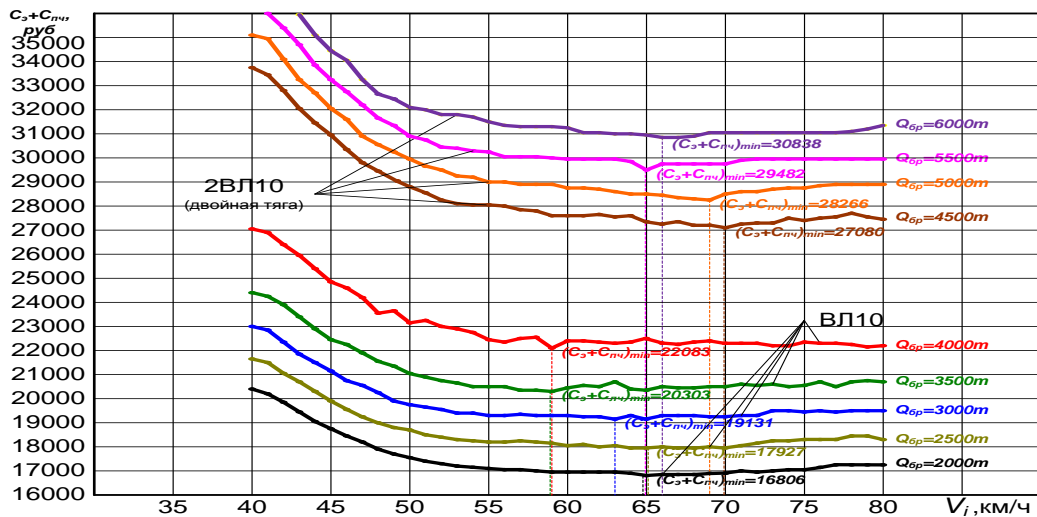


Рисунок 6 - График зависимости суммарных финансовых затрат от максимальной скорости движения грузового поезда с учетом остановок под обгонами на участке Кинель-Абдулино в нечетном направлении

Анализ графиков, представленных на рисунках 6 и 7, в сравнении с приведенными выше показывает, что учет затрат грузоотправителей и владельцев вагонных парков также приводит к смещению оптимального значения ходовой скорости в большую сторону, поскольку чем выше скорость поезда, тем меньше время находятся в пути грузы и вагоны.

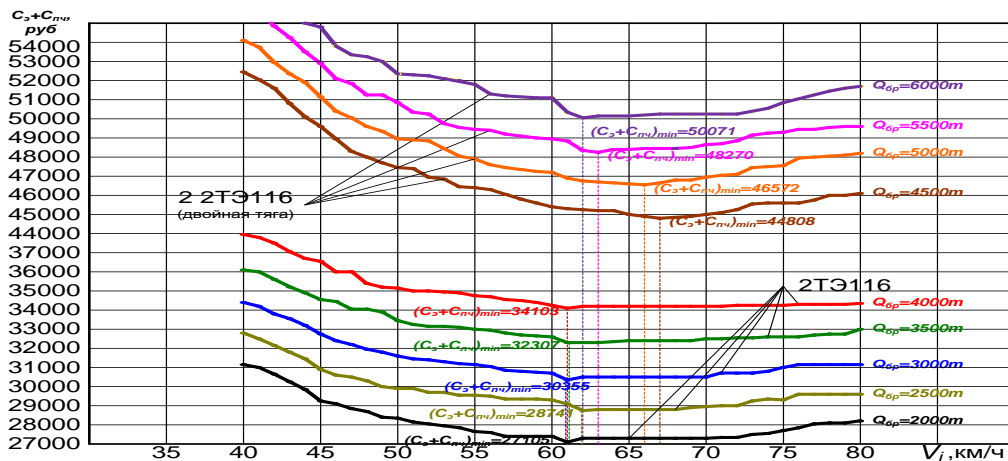


Рисунок 7 - График зависимости суммарных финансовых затрат от максимальной скорости движения грузового поезда с учетом остановок под обгонами на участке Морозовская-Им.М. Горького в нечетном направлении

На величину оптимального значения ходовой скорости оказывают существенное влияние экономические показатели, заложенные в моделях, а именно: стоимость кВт электроэнергии, кг дизельного топлива, расходы, связанные с

часом работы локомотивов и бригад. При их непропорциональном изменении может возникнуть ситуация, когда на одном и том же железнодорожном участке оптимальная ходовая скорость может изменяться по времени.

Например, серьезное увеличение тарифа на электроэнергию (или стоимости дизельного топлива) приведет к целесообразности снижения ходовой скорости в целях снижения топливно-энергетических затрат (и наоборот).

Следует отметить, что при оптимизации режима движения грузовых поездов в нечетном направлении на участке Морозовская – Им.М.Горького была установлена целесообразность уменьшения времени их нахождения на участке на 7 мин. Таким образом, предложенные модели позволяют не только сократить эксплуатационные расходы компании за счет некоторого снижения ходовых скоростей движения грузовых поездов, но и выявить те железнодорожные участки, на которых целесообразно повышение ходовых скоростей.

В четвертой главе «Особенности разработки энергосберегающих ниток графика движения грузовых поездов на однопутных железнодорожных участках» рассмотрены особенности разработки энергосберегающих ниток графика движения грузовых поездов на однопутных железнодорожных участках.

Одной из важнейших особенностей графика движения грузовых поездов на однопутных железнодорожных участках является различие величин станционных интервалов на отдельных пунктах. Минимальные значения станционных интервалов имеют место на отдельных пунктах, ограничивающих максимальный перегон.

На остальных отдельных пунктах величины станционных интервалов имеют большие значения по сравнению с расчетными минимальными. Данное положение обусловлено не идентичностью перегонов и, как следствие, разным суммарным временем хода грузовых поездов по ним. Указанный резерв времени хода по отдельному перегону можно распределить между четным и нечетным поездами в любой пропорции, «затягивая» время их нахождения на разное время, в сумме, не превышающем общего резерва. Резервы времени хода отсутствуют лишь на ограничивающем перегоне и на крайних перегонах железнодо-

рожного участка.

Общее время нахождения грузового поезда на каждом конкретном однопутном железнодорожном участке неизменно и зависит лишь от: периода непакетного графика, типа графика движения поездов и количества перегонов на однопутном железнодорожном участке. В этой связи без увеличения общей продолжительности нахождения грузового поезда на однопутном железнодорожном участке и без снижения наличной пропускной способности последнего можно оптимизировать отдельные фрагменты ниток по критерию минимизации топливно-энергетических затрат (1 модель). При этом, могут даже не учитываться топливно-энергетические затраты на собственные нужды локомотива, т.к. при прочих равных условиях время нахождения поезда на однопутном железнодорожном участке между крайними перегонами одинаково. В общем случае критерий оптимальности времени хода грузовых поездов по «внутренним» перегонам однопутного железнодорожного участка может быть представлен в виде:

$$W = W_m + W_{ост} \Rightarrow \min , \quad (13)$$

где W_m – топливно-энергетические затраты на тягу грузового поезда при его следовании по перегону без остановок, определяемые прямым порядком для задаваемых значений ходовой скорости, кВт (кг дизельного топлива);

$W_{ост}$ – дополнительные топливно-энергетические расходы, связанные с остановками грузового поезда при его обгонах пассажирскими, кВт (кг дизельного топлива).

В данном случае алгоритм оптимизационных расчетов идентичен, представленному на рисунке 1.

На рисунках 8 и 9 показаны существующие (черный цвет) и энергооптимальные (красный цвет) графики движения грузовых поездов на неэлектрифицированном однопутном железнодорожном участке Рыбинск Пассажирский – Сонково и на электрифицированном однопутном железнодорожном участке Малошуйка – Мудьюга. Анализ резервов времени хода показывает, что они сохраняются на отдельных перегонах и при энергооптимальном режиме движе-

ния грузового поезда, т.е. энергооптимальность достигается не путем реализации всего резерва в первоначальном графике, а за счет оптимизации ходовой скорости движения грузовых поездов по отдельным перегонам, т.е. фактически происходит перераспределение времени между движением поезда по перегону и его простоем под скрещением на отдельных пунктах железнодорожного участка.

Оптимизация времени нахождения грузовых поездов на крайних перегонах однопутного железнодорожного участка возможна по одной из трех моделей, изложенных для двухпутных участков. При этом во всех случаях ограничением времени нахождения пары грузовых поездов на крайнем перегоне является условие не перехода данного перегона в категорию ограничивающего, т.е. – не снижения наличной пропускной способности железнодорожного участка

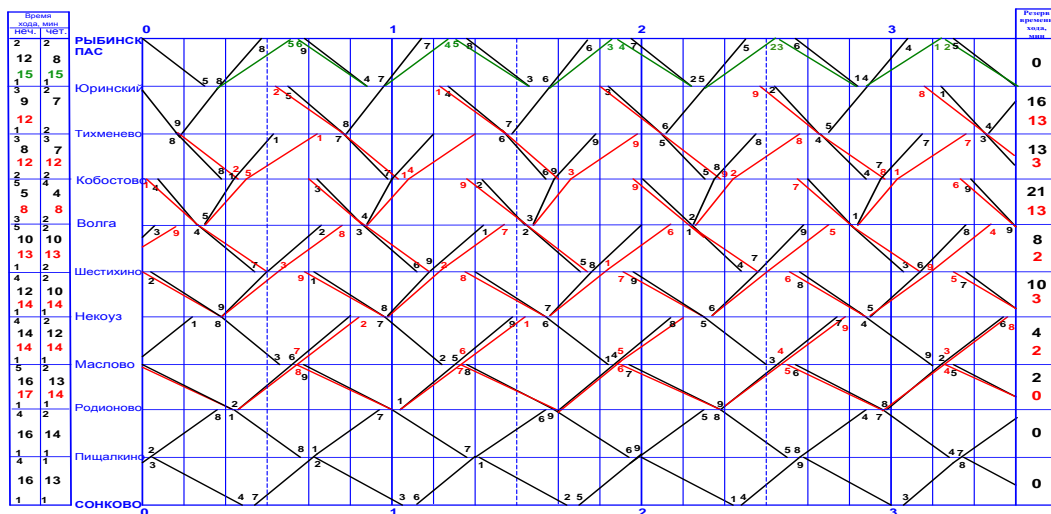


Рисунок 8. Существующий и энергооптимальный графики движения грузовых поездов на однопутном неэлектрифицированном железнодорожном участке Рыбинск Пас.-Сонково.

Выполненные расчеты показывают, что при оптимизации времени хода грузовых поездов по критерию минимизации топливно-энергетических затрат незначительно увеличивает время нахождения грузовых поездов на всем железнодорожном участке (на 1-3 мин). Вместе с тем имеет место существенная экономия топлива и электроэнергии.

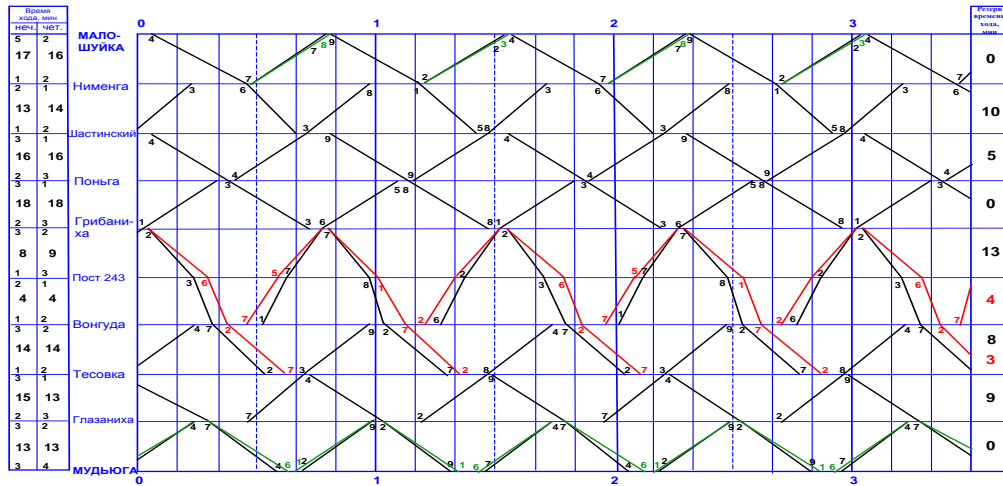


Рисунок 9. – Существующий и энергооптимальный графики движения грузовых поездов на однопутном электрофицированном железнодорожном участке Малошуйка-Мудьюга

При оптимизации по критерию минимума совокупных затрат ОАО «РЖД» суммарное время нахождения грузовых поездов на участке не изменяется или изменяется на 1-2 мин. А при оптимизации по третьей модели остается таким же как и во второй. В этой связи определение наиболее рационального времени нахождения грузовых поездов на крайних перегонах однопутного железнодорожного участка целесообразно производить по 2 модели.

В условиях небольших размеров движения поездов, когда наличная пропускная способность однопутного железнодорожного участка не лимитирует потребную, может применяться подход комплексной оптимизации энергосберегающих ниток графика по одной из трех моделей. Такое решение приведет к уменьшению наличной пропускной способности всего железнодорожного участка, а также к ухудшению качественных показателей работы: участковой и технической скоростей движения, оборота грузового вагона и поездных локомотивов и т.п.

Во всех трех оптимизационных вариантах имеет место единый подход к разработке оптимальных ниток, прокладываемых на графике движения. Его сущность заключается в том, что оптимизируется время хода четного и нечетного грузовых поездов по каждому перегону. После этого определяется ограничивающий перегон, для которого выбирается наиболее рациональная схема

прокладки ниток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований можно сформулировать следующие основные выводы и предложения:

1. Проблема снижения топливно-энергетических затрат на тягу грузовых поездов имеет большую актуальность, т.к. они составляют около 50 % суммарных затрат топлива и электроэнергии ОАО «РЖД» и оцениваются в размере 100 млрд. руб. в год в денежном эквиваленте. Одним из важнейших резервов по сокращению топливно-энергетических затрат на тягу является оптимизация ходовых скоростей (перегонных времен хода) грузовых поездов на конкретных железнодорожных участках.

2. В целях оценки влияния скоростей движения грузовых поездов (перегонных времен хода) на затраты по продвижению поездопотоков разработаны три модели, оптимизирующие скорости движения грузовых поездов по критериям: минимизации топливно-энергетических затрат, совокупных затрат ОАО «РЖД» на тягу поездов и суммарных совокупных затрат ОАО «РЖД», владельцев подвижного состава, грузоотправителей и грузополучателей.

Расчетами, выполненными по первой модели для реальных участков с электрической и тепловозной тягой, установлено, что во всех случаях имеет место минимальное потребление электроэнергии (дизельного топлива), достигаемого при определенных скоростях движения грузовых поездов. При этом не выявлено какой-либо существенной зависимости между массой поезда и оптимальной скоростью его движения. Более того, отсутствие такой зависимости и узкий диапазон оптимальных скоростей движения грузовых поездов различной массы позволяет говорить о какой-либо одной оптимальной скорости для каждого конкретного железнодорожного участка независимо от массы поездов, обращающихся на нем.

Оптимальная ходовая скорость (минимальное потребление топлива и электроэнергии) зависит от множества факторов: серии локомотива, плана и профиля железнодорожного пути, наличия предупреждений об ограничении движения поездов и др. Это позволяет утверждать, что не только на каждом

железнодорожном участке будет иметь место своя оптимальная ходовая скорость, но и на одном и том же участке она будет различаться для четного и нечетного направлений.

3. Учет фактора работы локомотива с бригадой (модель 2) приводит к смещению оптимального значения ходовой скорости в большую сторону, поскольку чем выше скорость поезда, тем меньше время находится в пути локомотив и локомотивная бригада. Аналогичное предыдущему оказывает воздействие на оптимальную ходовую скорость и учет затрат грузоотправителей, грузополучателей и владельцев вагонного парка (модель 3).

На величину оптимального значения ходовой скорости оказывают существенное влияние экономические показатели, заложенные в моделях. При их непропорциональном изменении может возникнуть ситуация, когда на одном и том же железнодорожном участке оптимальная ходовая скорость может изменяться по времени. Например, серьезное увеличение тарифа на электроэнергию (или стоимости дизельного топлива) приведет к целесообразности снижения ходовой скорости в целях снижения топливно-энергетических затрат (и наоборот).

Предложенные модели позволяют не только сократить эксплуатационные расходы компании за счет некоторого снижения ходовых скоростей движения грузовых поездов, но и выявить те железнодорожные участки, на которых наоборот целесообразно повышение ходовых скоростей.

4. Общее время нахождения грузового поезда на каждом конкретном однопутном железнодорожном участке неизменно и зависит лишь от: периода непакетного графика, типа графика движения поездов и количества перегонов на однопутном железнодорожном участке. В этой связи оптимизацию ниток графика движения грузовых поездов на внутренних перегонах участка (исключая ограничивающий) целесообразно производить по критерию минимизации топливно-энергетических затрат (1 модель). При этом энергооптимальность ниток достигается перераспределением времени нахождения грузового поезда в движении и его простоя на раздельном пункте под скрещением.

Оптимизация времени нахождения грузовых поездов на крайних перего-

нах однопутного железнодорожного участка возможна по одной из трех моделей. При этом во всех случаях ограничением времени нахождения пары грузовых поездов на крайнем перегоне является условие не перехода данного перегона, в категорию ограничивающего, т.е. – не снижения наличной пропускной способности однопутного железнодорожного участка.

Выполненные расчеты показывают, что при оптимизации времени хода грузовых поездов по 1 модели незначительно увеличивает время нахождения грузовых поездов на всем железнодорожном участке (на 1-3 мин). Вместе с тем, имеет место существенная экономия топлива и электроэнергии. При оптимизации по 2 модели суммарное время нахождения грузовых поездов на участке не изменяется или изменяется на 1-2 мин. А при оптимизации по третьей модели остается таким же как и во второй. В этой связи, определение наиболее рационального времени нахождения грузовых поездов на крайних перегонах однопутного железнодорожного участка целесообразно производить по 1 или 2 моделям.

5. Выполненные практические расчеты для конкретных железнодорожных участков сети ОАО «РЖД» показали, что за счет оптимизации ходовых скоростей движения грузовых поездов можно добиться сокращения топливно-энергетических затрат на 5-12%.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Голигузова, А. Л. Ходовая скорость движения грузовых поездов по условию энергосбережения [Текст] / А.А. Абрамов, А.Л. Голигузова // - Железнодорожный транспорт. - 2011. - №5. - С. 28-31.

2. Голигузова, А. Л. Энергооптимальный график движения грузовых поездов на однопутных участках [Текст] / А.А. Абрамов, А.Л. Голигузова // - Железнодорожный транспорт. - 2011. - №9. - С. 53-56.

3. Голигузова, А. Л. Определение числа обгонов грузовых поездов пассажирскими на двухпутных ж.д. участках [Текст] / А.Л. Голигузова // - Вестник транспорта Поволжья. - 2010.- Вып. №2(22) – Самара, СамГУПС.

Научные статьи в других изданиях

1. Голигузова, А. Л. Концепция разработки энергосберегающих ниток графика движения грузовых поездов [Текст] / А.Л. Голигузова // - Межвузовский сб. науч. тр. – М.: МИИТ, 2010. – С.101-106.

2. Голигузова, А. Л. Экономико-математическая модель оптимизации скоростей движения грузовых поездов по критерию минимизации топливно-энергетических затрат [Текст] / А.Л. Голигузова // Межвузовский сб. науч. тр. – М.: МИИТ, 2010. - С.143-147.

Голигузова Алина Леонидовна

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ХОДОВЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ
ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКАХ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подпись в печать

Формат 60 x 90/16

Тираж 80 экз

Усл.- печ.л. – 1,5

Заказ №

127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр 9, УПЦ Ги МИИТ