

629.421.2
ор 871

Министерство путей сообщения СССР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени АКАДЕМИКА В. Н. ОБРАЗЦОВА

На правах рукописи

ФРЕНКЕЛЬ
Семен Яковлевич

УДК 629.421.2.053.3:681.3(043.3)

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
МАГИСТРАЛЬНЫМ ТЕПЛОВОЗОМ**

Специальность 05.22.07 — Подвижной состав железных
дорог и тяга поездов

Автореферат •
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Ленинград · 1988

Работа выполнена на кафедре «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Белорусского института инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент

Костромин Анатолий Михайлович.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор
Луков Николай Михайлович;

кандидат технических наук
Грищенко Александр Васильевич.

Ведущее предприятие — Управление Белорусской железной дороги.

Защита состоится «*24*» *ноября* . . . 198*8* года в *10⁰⁰* часов на заседании специализированного совета Д114.03.02 при Ленинградском институте инженеров железнодорожного транспорта имени академика В. Н. Образцова по адресу: 190031, Ленинград, Московский пр., 9, ЛИИЖТ, Актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в совет института.

Автореферат разослан «*24*» *октября* . . . 198*8* года.

Фомченков.

1экз

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В решениях XXVII съезда КПСС отмечено, что главной задачей двенадцатой пятилетки является повышение темпов и эффективности развития экономики на базе ускорения научно-технического прогресса, технического перевооружения и реконструкции производства, интенсивного использования созданного производственного потенциала, совершенствования системы управления, хозяйственного механизма и в достижении на этой основе дальнейшего благосостояния советского народа. Перед железнодорожным транспортом в связи с этим поставлена задача своевременного, качественного и полного удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в перевозках.

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года предусмотрено увеличение объема перевозок грузов на 8-10 процентов, пассажирооборота на 7-9 процентов и повышение производительности труда работников, занятых на перевозках, на 10-12 процентов.

Одним из эффективных путей решения этих задач является автоматизация управления движением поездов и, в частности, управления магистральными локомотивами.

Исследованиями, направленными на автоматизацию управления различными видами подвижного состава железных дорог, занимаются многие отечественные и зарубежные организации.

Разработаны и внедрены в эксплуатацию системы автоматического управления электропоездами метрополитена, пригородного и дальнего сообщения. Известны опытные устройства управления локомотивами, преимущественно пассажирскими электровозами. Вместе с тем недостаточно изучены вопросы, связанные с автоматизацией управления магистральными тепловозами.

Цель работы. Разработка системы автоматизированного управления магистральным тепловозом.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи :

- разработан алгоритм управления магистральным тепловозом ;
- разработана и реализована в виде пакета программ вычислений для ЭЦВМ математическая модель тепловоза с составом ;
- с помощью разработанной модели исследован предложенный алгоритм управления магистральным тепловозом ;
- разработана методика построения программы движения поезда, учитывающая алгоритм управления тепловозом ;
- в соответствии с указанной методикой составлен пакет программ для ЭЦВМ, осуществляющих распределение заданного графиком перегонного времени хода поезда по контрольным участкам ;
- разработана и исследована в лаборатории и в условиях эксплуатации система автоматизированного управления магистральным тепловозом.

Методика исследования. Теоретические исследования проводились с использованием методов теории тяги поездов, теории автоматического регулирования и теории оптимального управления с применением ЭЦВМ, а экспериментальные – в лаборатории с применением аналоговых вычислительных машин и в условиях эксплуатации на Белорусской железной дороге.

Научная новизна определяется следующими результатами :

- предложен алгоритм управления магистральным тепловозом по отклонению от программной траектории движения поезда ;
- исследовано влияние коэффициентов закона управления на качество управления тепловозом ;
- предложен метод оптимизации распределения перегонного времени хода поезда по контрольным участкам при заданном алго-

ритме управления тепловозом ;

- предложена методика выбора коэффициентов закона управления магистральным тепловозом.

Практическая ценность работы заключается :

- в разработке алгоритмов и программ вычислений для ЭВМ, оптимизирующих распределение перегонного времени хода поезда по контрольным участкам ;

- в разработке алгоритмов и программ вычислений для ЭВМ по исследованию системы управления магистральным тепловозом, позволяющих на стадии проектирования выбирать коэффициенты закона управления ;

- в разработке и экспериментальном исследовании устройства автоматизированного управления магистральным тепловозом.

Алгоритм управления магистральным тепловозом по обобщенному отклонению, методика подготовки программной информации и соответствующие программы вычислений для ЭВМ использованы НПО "Коломнатепловозпутьмаш" и "Ленэлектронмаш" при разработке и опытной эксплуатации микропроцессорной системы централизованного контроля диагностики и управления для тепловозов.

Апробация работы. Основные положения докладывались на Всесоюзных конференциях: "Проблемы развития тепловозостроения" (Коломна, 1983 г.), "Создание и техническое обслуживание локомотивов большой мощности" (Ворошиловград, 1985 г.), "Повышение энергетической эффективности локомотивов" (Ростов-на-Дону, 1986 г.), на XV научно-технической конференции кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Белорусской железной дороги (Гомель, 1980 г.), на научно-технической конференции "Пути повышения эффективности использования подвижного состава" (Гомель, 1983 г.), на расширенном заседании кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство" Белорусского института инженеров железнодорожного транспор-

та (Гомель, 1987 г.), на научно-техническом семинаре кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство" Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта (Ленинград, 1988 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 8 печатных работ и получено авторское свидетельство на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 137 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 158 страниц и содержит 42 рисунка и 10 таблиц.

1. УПРАВЛЕНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫМ ТЕПЛОВОЗОМ. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью управления магистральным локомотивом является перемещение состава в соответствии с графиком движения и ограничениями, наложенными на значения скорости движения при минимально возможных затратах на топливо или электроэнергию.

Управление тепловозом осуществляют путем воздействия на контроллер машиниста, тормозные краны, кнопочные выключатели и другие аппараты и устройства. Машинист и тепловоз с составом представляют собой систему управления с обратной связью. Соблюдение требований безопасности движения, точности и экономичности выполнения графика в значительной степени зависит от знаний, опыта и личных качеств машиниста. При этом не исключены ошибки управления, под которыми будем понимать случаи выбора управляющего воздействия, не обеспечивающего достижение цели управления (значительные отклонения от графика, перерасход топлива и т.п.). Одним из наиболее эффективных путей предупреждения ошибок управления, как правило, является автоматизация операций по

управлению и контролю.

Совершенствованием управления тепловозными системами, агрегатами и отдельными машинами занимаются многие отечественные организации. Следует отметить значительный вклад сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта - ВНИИЖТ, Всесоюзного научно-исследовательского тепловозного института - ВНИТИ, научно-исследовательского института и завода "Электротяжмаш", Ворошиловградского и Коломенского тепловозостроительных заводов, а также вузов - МИИТа, ЛИИЖТа, ХИИТа, ХПИ, МЭИ, МВТУ, БелиИЖТа и др. Большое внимание уделяется этим вопросам и за рубежом.

Все больше организаций занимается проведением исследований, связанных с автоматизацией трогания, разгона, движения и остановки поезда, иначе говоря, автоматизацией ведения поезда.

Автоматизация управления локомотивом при ведении поезда позволяет улучшить условия труда машиниста, снизив информационную нагрузку, повысить точность выполнения графика движения, снизить расход топлива или электроэнергии на тягу поездов.

Первым в отечественной практике устройством автоведения является устройство для управления моторвагонной секцией C_3^P , разработанное в 1956-58 гг. Научно-исследовательским институтом управляющих и вычислительных машин и названное "автомашинист".

В настоящее время автоматизацией управления различными видами подвижного состава занимаются ВНИИЖТ, ВНИТИ, МИИТ, ЛИИЖТ, ГТСС, УЭМИИТ, БелиИЖТ и другие отечественные и зарубежные организации.

Автоматизация управления магистральным локомотивом требует решения следующих задач:

- построение программы движения поезда;

- выбор алгоритма управления локомотивом, обеспечивающего выполнение программы движения ;

- аппаратная реализация алгоритма управления.

Построение программы движения поезда необходимо не только при автоматизированном управлении локомотивом, но и для повышения эффективности вождения поездов путем оптимизации ручного управления. В качестве критерия оптимальности управления чаще всего принимают расход топлива или электроэнергии на тягу поездов. При этом накладывают ограничение на время движения поезда по рассматриваемому участку.

Предложено много способов построения программ движения поезда как при электрической, так и при тепловозной тяге. Для этого наряду с использованием опыта передовых машинистов, результатами экспериментальных поездок и традиционными методами тяговых расчетов используют методы теории оптимального управления и современные вычислительные средства. Однако при экспериментальных исследованиях и традиционных тяговых расчетах невозможно учесть всё многообразие возможных вариантов программ движения.

Методы, использующие достижения теории оптимального управления, лишены этого недостатка, но в большинстве своем требуют применения ЭЦМ с большим объемом памяти и быстродействием, зачастую превышающими возможности эксплуатируемых машин.

Все указанные методы построения программ движения поезда не учитывают алгоритм управления локомотивом, в соответствии с которым предполагается реализовать построенную программу.

Значительное число работ посвящено теоретическому и экспериментальному исследованию систем автоматического управления локомотивами. Однако системам автоматического управления магистральными тепловозами уделено очень мало внимания, и задачи,

связанные с разработкой и исследованием указанных систем, ещё ждут своего решения.

2. УПРАВЛЕНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫМ ТЕПЛОВОЗОМ ПО ОТКЛОНЕНИЮ ОТ ПРОГРАММНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ Поезда

Программу движения поезда при автоведении, как правило, задают временами хода по контрольным участкам, на которые разбивают весь перегон.

В соответствии с предлагаемым алгоритмом управление тепловозом осуществляют в зависимости от изменения значения обобщенного отклонения

$$\Delta = k_t \Delta t - k_v \Delta v,$$

где Δt и Δv - отклонения соответственно времени и скорости движения от их программных значений;

k_t - k_v - коэффициенты пропорциональности.

Программные значения скорости v_n и времени t_n движения по контрольному участку получают следующим образом. При вступлении тепловоза на контрольный участок вычисляют значение программной скорости

$$v_n = s_{кч}^n / t_{кч}^n,$$

где $s_{кч}^n$ - длина контрольного участка;

$t_{кч}^n$ - заданное время хода по контрольному участку.

По мере перемещения поезда непрерывно или с заданной дискретностью вычисляют программное время движения от начала контрольного участка до места нахождения поезда

$$t_n = s / v_n,$$

где s - пройденный от начала контрольного участка отрезок пути.

При изменении значения Δ на величину, превышающую заданную зону нечувствительности, положение контроллера машиниста изменяют на одну позицию. При уменьшении значения Δ позицию контроллера увеличивают, а при увеличении Δ - позицию уменьшают.

С целью повышения топливной экономичности управления позиции контроллера ниже некоторой, определенной для рассматриваемой серии тепловоза n_k^M , кроме нулевой, включают только кратковременно для набора от нулевой к n_k^M или от n_k^M к нулевой позиции.

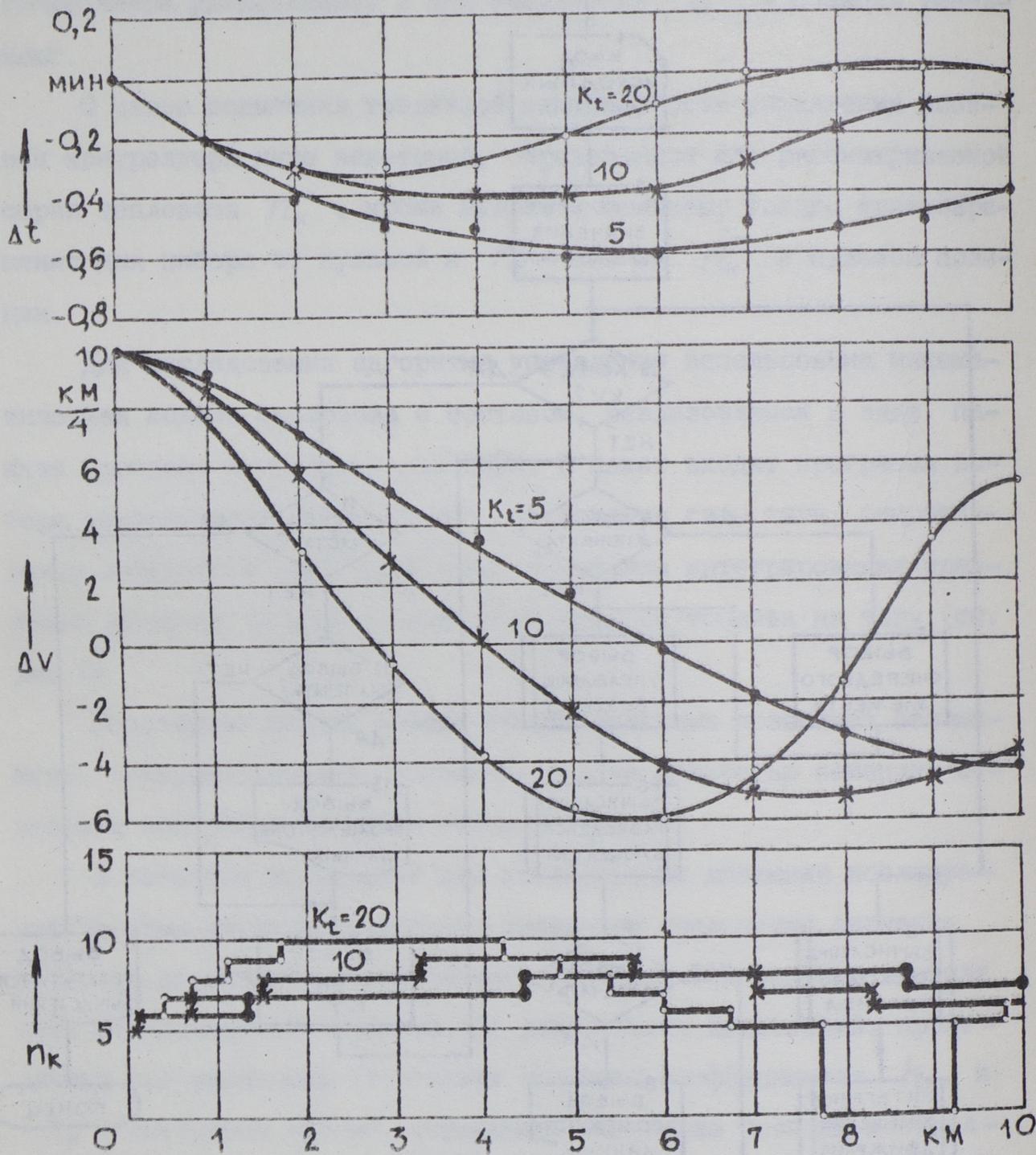
Для исследования алгоритма управления использована математическая модель тепловоза с составом, реализованная в виде пакета программ вычислений для ЭЦВМ. В пакет входят программы выбора управляющего воздействия, вычисления силы тяги, сопротивления движению и тормозной силы, программы интегрирования уравнений движения поезда и вычисления расхода топлива на тягу (см. рис.1).

Реализация модели в виде пакета программ позволяет отлаживать, совершенствовать, дополнять и даже полностью заменять отдельные программы на любом этапе работы.

В качестве возмущений для исследования динамики исследуемой системы управления приняты начальное отклонение значения скорости движения от программного значения и изменение профиля пути на исследуемом участке. По результатам вычислений, проведенных при различных сочетаниях значений коэффициентов K_t и K_v , построены кривые, отражающие изменение позиций контроллера машиниста, а также отклонений времени и скорости в зависимости от пройденного пути. Некоторые из указанных кривых приведены на рис.2.

Анализ построенных графиков позволяет утверждать, что из-

Графики переходного процесса



$Q = 3100 \text{ m}$

$K_v = 0,1$

5 →

Рис. 2

Изменение значений K_t и K_v , меняя чувствительность управления к отклонению соответственно времени и скорости от их программных значений, ведет к изменению амплитуды отклонения времени и длительности переходного процесса. Выбор соответствующих условиям движения поезда значений коэффициентов закона управления позволяет обеспечить требуемую точность выполнения заданного времени хода при минимально возможном в исследуемых условиях расходе топлива. С увеличением массы поезда отмеченные закономерности сохраняются, но при неизменных параметрах системы управления длительность переходного процесса, значение максимального отклонения времени и расход топлива на перемещение поезда увеличиваются.

3. ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА ПРИ ЗАДАННОМ АЛГОРИТМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗОМ

Наличие широкого диапазона изменения характеристик грузовых поездов, а также резерва времени на ненапряженных участках дает возможность варьирования кривых скорости и времени движения по перегону между остановочными пунктами.

Выполнение различных вариантов распределения перегонного времени хода по контрольным участкам, на которые разбивают весь перегон, даже при одном и том же алгоритме выбора управляющего воздействия требует разного расхода топлива на тягу поездов. При этом точность выполнения графика движения, вследствие ограниченной мощности тепловозов и ограничений, накладываемых на значение ускорения движения поезда, также различна. Поэтому возникает необходимость в оптимизации распределения перегонного времени хода.

Задачу оптимизации распределения перегонного времени формулируют следующим образом. Известны характеристики тепловоза и состава, а также профиль пути. Заданы перегонное время хода,

контрольные участки, алгоритм управления тепловозом и гистограмма распределения масс поездов, проходящих в одном направлении. Требуется так распределить перегонное время хода по контрольным участкам, чтобы расход топлива на тягу поездов был минимальным.

С точки зрения теории оптимального управления это аддитивная задача нелинейного программирования, т.е. задача отыскания минимума аддитивной функции

$$B = \sum_{i=1}^N B_i(t_i^n),$$

где B - общий расход топлива на тягу поездов;

B_i - расход топлива на перемещение поездов по i -му контрольному участку;

t_i^n - программное время хода по i -му контрольному участку;

N - количество контрольных участков на рассматриваемом перегоне.

Накладывают ограничения

$$t_i^n \in T_i \text{ и } v \in V_i,$$

где T_i и V_i - множества допустимых значений соответственно программного времени хода и скорости движения поезда по i -му контрольному участку.

Для решения указанной задачи применен алгоритм "Киевский веник", состоящий из правил последовательного сжатия множества конкурентоспособных вариантов. В пространстве $(\sum t_i^n, S)$, где S - расстояние от начала перегона, строят сетку, приведенную на рис.3. Шаг по аргументу S принят переменным, совпадающим с контрольными участками, а шаг по $\sum t_i^n$ - постоянным и

равным некоторому значению Δt_c . Изменяя с дискретностью Δt_c в пределах наложенных ограничений значения программного времени хода на каждом контрольном участке, для каждого из интервалов гистограммы распределения масс поездов строят траекторию движения и фиксируют значения позиции контроллера, скорости движения и расхода топлива. Для последующего рассмотрения в каждом узле сетки оставляют такое значение программного времени движения, которому соответствует наименьший общий расход топлива на перемещение всех рассматриваемых поездов.

Таким образом, на каждом контрольном участке "отмечают" неконкурентоспособные варианты, оставляя по одному для каждого узла. После вычислений для последнего контрольного участка остается последовательность значений t_i^n , соответствующих наименьшему расходу топлива на тягу поездов.

Схема оптимизации

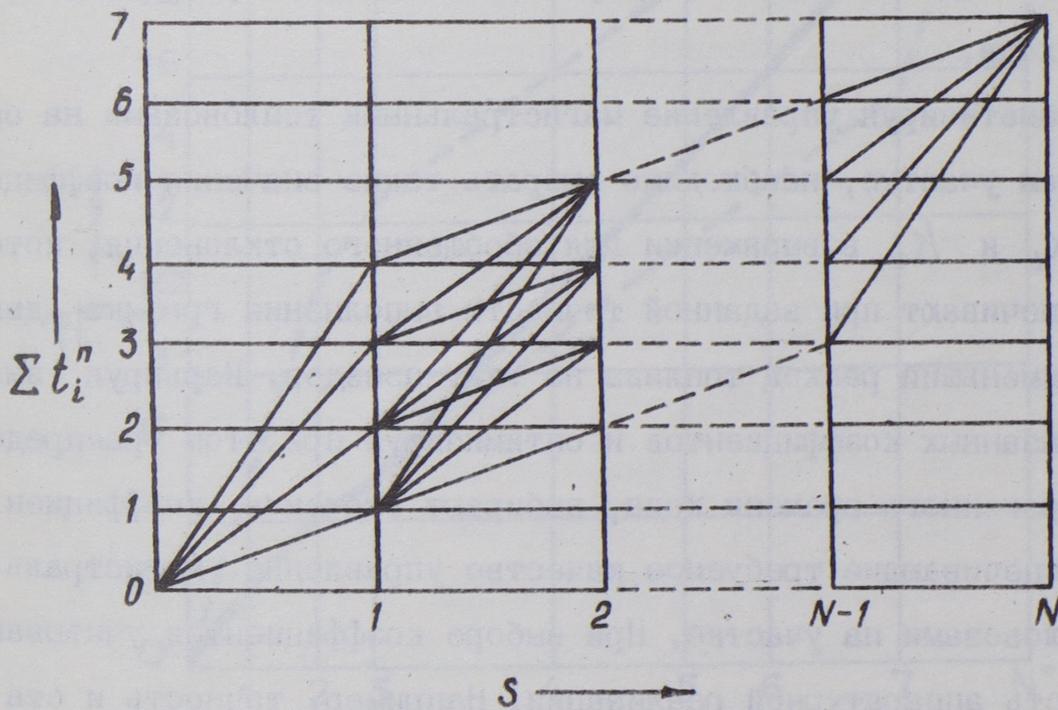


Рис.3

Оптимизацию распределения перегонного времени хода поезда в соответствии с изложенной методикой осуществляют на ЭЦВМ. Составлены программа определения области допустимых значений программного времени хода и программа оптимизации распределения перегонного времени хода по заданным контрольным участкам.

Установлено, что уменьшение Δt_c , как правило, позволяет получать программу движения, обеспечивающую более высокую точность выполнения графика движения и снижение расхода топлива на перемещение поезда. Однако при этом возрастает время вычислений. Для обеспечения приемлемых точности и времени счета, а также, учитывая возможности аппаратурной реализации автоведения, для расчетов принято $\Delta t_c = 0,25$ мин.

Результаты оптимизации распределения перегонного времени хода по контрольным участкам для поездов, гистограмма распределения масс которых дана на рис.4, приведены на рис.5 сплошной линией. При вычислениях принято $K_t = 10$, $K_v = 0,1$. Штриховой линией выделена область допустимых значений программного времени хода.

Автоматизируя управление магистральными тепловозами на определенном участке, необходимо выбрать такие значения коэффициентов K_t и K_v в выражении для обобщенного отклонения, которые обеспечивают при заданной точности выполнения графика движения наименьший расход топлива на тягу поездов. Варьируя значения указанных коэффициентов и оптимизируя при этом распределение перегонного времени хода, выбирают значения коэффициентов, обеспечивающие требуемое качество управления магистральными тепловозами на участке. При выборе коэффициентов учитывают особенность аппаратурной реализации. Например, точность и стабильность измерений и вычислений, обеспечиваемых используемыми датчиками и устройством управления.

Гистограмма распределения масс поездов

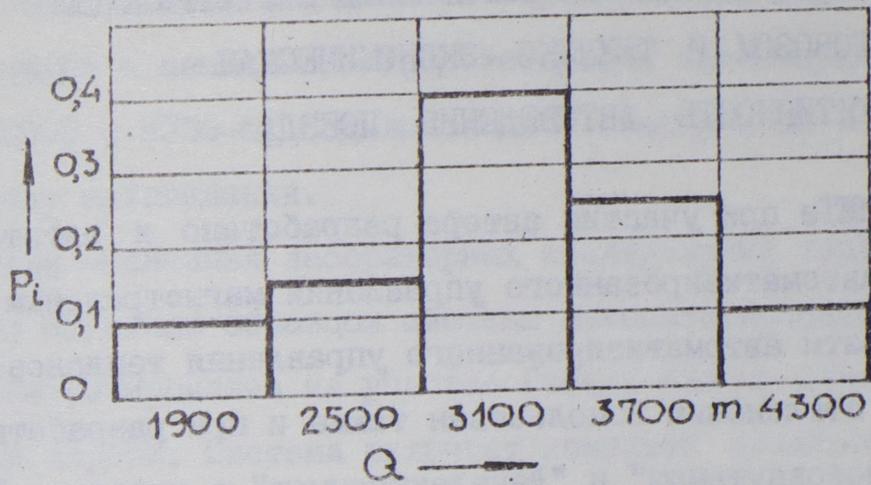


Рис.4

Оптимизированное распределение времени хода по контрольным участкам

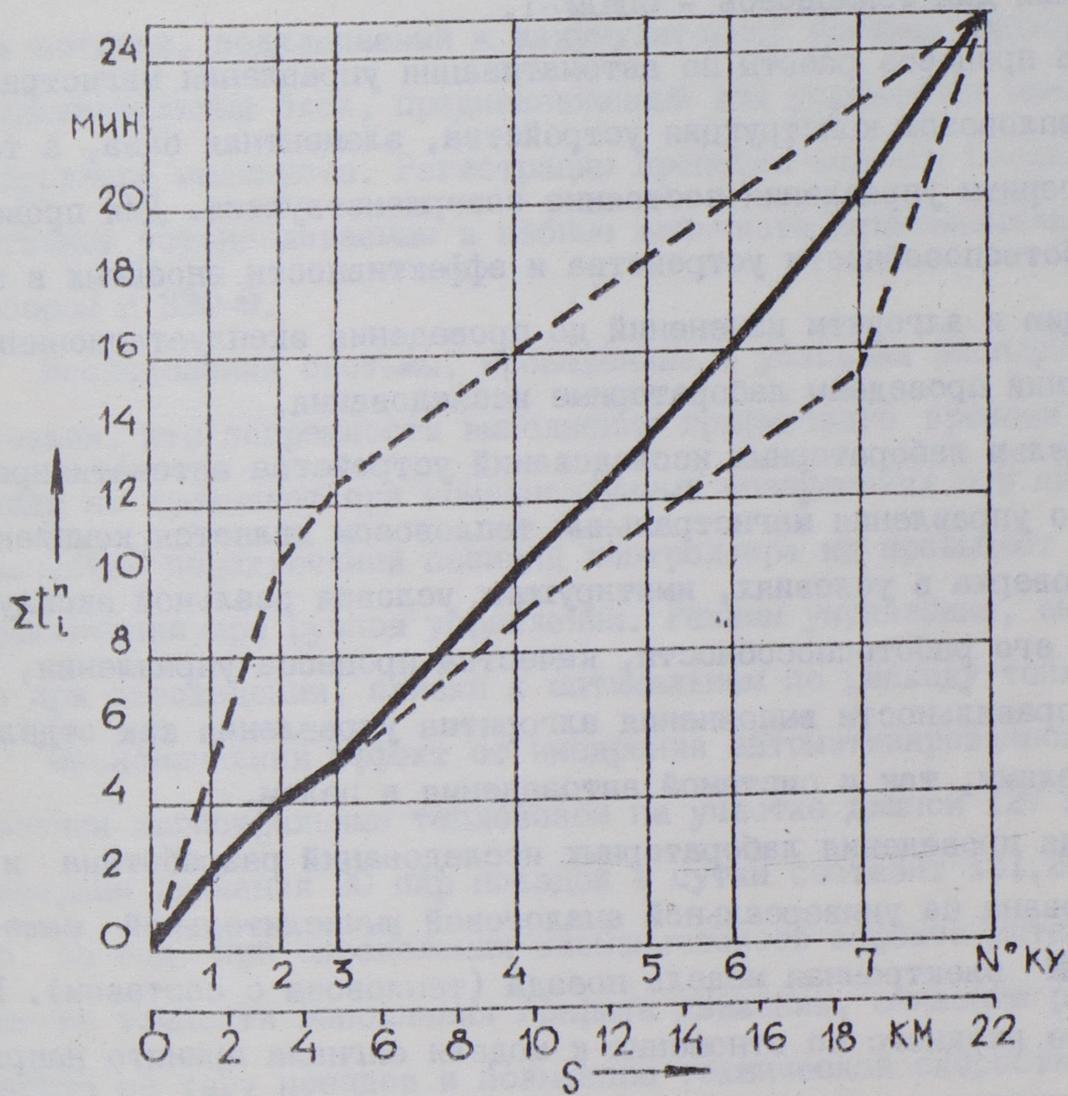


Рис.5

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫМ ТЕПЛОВОЗОМ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА

В БелиИЖТе при участии автора разработано и изготовлено устройство автоматизированного управления магистральным тепловозом. Алгоритм автоматизированного управления тепловозом по обобщенному отклонению использован также и при разработке НПО "Коломнатепловозпутьмаш" и "Ленэлектронмаш" с участием БелиИЖТа и других организаций экспериментального и опытно-промышленного образцов системы централизованного контроля, диагностики и управления для тепловозов - СЦКДУ-Т.

В процессе работы по автоматизации управления магистральным тепловозом конструкция устройства, элементная база, а также алгоритм управления постоянно совершенствуются. Для проверки работоспособности устройства и эффективности вносимых в конструкцию и алгоритм изменений до проведения эксплуатационных испытаний проведены лабораторные исследования.

Целью лабораторных исследований устройства автоматизированного управления магистральным тепловозом является комплексная проверка в условиях, имитирующих условия реальной эксплуатации, его работоспособности, качества процесса управления, а также правильности выполнения алгоритма управления как отдельными узлами, так и системой автоведения в целом.

Для проведения лабораторных исследований разработана и реализована на универсальной аналоговой вычислительной машине - АВМ электронная модель поезда (тепловоза с составом). В качестве входного по отношению к модели сигнала принято напряжение, пропорциональное позиции контроллера машиниста, а в ка-

честве выходного — напряжение, пропорциональное скорости поезда.

Процессы, происходящие при моделировании ведения поезда, регистрируют с помощью быстродействующих самопишущих приборов типа НЗ20-9 и НЗ38-6, подключаемых к электрической модели и к устройству автоведения.

После окончания лабораторных исследований тепловоз, оборудованный макетным образцом системы автоматизированного управления, эксплуатировался на участке Гомель-Калинковичи Белорусской железной дороги. Система включает комплект электронной аппаратуры, пульт управления и датчики скорости, которые устанавливаются на буксы тепловоза и приводят от осей колесных пар. Непосредственное соединения с электрической схемой тепловоза имеет блок питания, подключаемый к аккумуляторной батарее тепловоза, и исполнительный блок, предназначенный для управления вместо контроллера машиниста. Регистрацию процесса ведения поезда осуществляют устанавливаемым в кабине машиниста девятиканальным прибором Н 320-9.

Исследования системы, проведенные в условиях эксплуатации, показали, что погрешность выполнения графического времени хода поезда не превышает при компенсируемых возмущениях 0,3 минуты, количество переключений позиций контроллера не превышает число переключений при ручном управлении. Режимы управления, выбираемые при автоведении, близки к оптимальным по расходу топлива.

Экономический эффект от внедрения автоматизированного управления магистральным тепловозом на участке длиной 127 км с размерами движения 30 пар поездов в сутки составит 151,29 тыс. руб. за год. При определении экономического эффекта учтены повышение точности выполнения графика движения, снижение расхода топлива на тягу поездов и повышение технической скорости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ функций машиниста показывает, что при существующих средствах и методах управления локомотивом, в условиях возрастания интенсивности и скорости движения поездов невозможно исключить отклонения от графика движения и перерасход топлива на тягу поездов. Одним из эффективных путей повышения качества и безопасности вождения поездов является автоматизация управления движением и, в частности, управления магистральными тепловозами.

В диссертационной работе поставлена и решена задача разработки и исследования системы автоматизированного управления магистральным тепловозом.

Получены следующие основные результаты:

1. Предложен алгоритм управления магистральным тепловозом по обобщённому отклонению от программы движения.

2. Исследовано влияние коэффициентов закона управления на точность выполнения графика движения и расход топлива на тягу поездов.

Установлено, что изменение значений коэффициентов закона управления, меняя чувствительность управления к отклонениям времени и скорости движения от их программных значений, ведёт к изменению амплитуды отклонения времени и длительности переходного процесса.

3. Предложен метод оптимизации распределения перегонного времени хода поезда по контрольным участкам при заданном алгоритме управления тепловозом.

4. Предложена методика выбора значений коэффициентов закона управления, обеспечивающих наименьший расход топлива на тягу поездов при заданной точности выполнения графика движения.

5. Разработано и исследовано устройство автоматизированно...

го управления магистральным тепловозом (а.с. II3I728).

6. Лабораторные исследования разработанного устройства, проведенные с использованием электронной модели тепловоза с составом, показали, что устройство работоспособно, а управление тепловозом осуществляется в соответствии с принятым алгоритмом.

7. Исследования устройства в условиях эксплуатации подтвердили результаты теоретических и лабораторных исследований, показали его способность обеспечить выполнение графика движения поездов с заданной точностью при выборе рациональных режимов работы силовой установки тепловоза.

8. Экономический эффект от автоматизации управления магистральными тепловозами на участке длиной 127 км составит 151,29 тыс.руб. в год при сроке окупаемости 0,73 года.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Костромин А.М., Рафаловский В.В., Френкель С.Я. Автоматизация управления тепловозом // Перспективы развития Белорусской железной дороги: Тезисы докладов XV научно-технической конференции кафедр БелИИЖТа и Дор НТО Белорусской железной дороги. - Гомель, 1980. - С.27.

2. Гизатуллина В.Г., Костромин А.М., Френкель С.Я. Экономическая эффективность автоматизации управления локомотивом // Оптимизация управления и совершенствование узлов локомотивов. - Гомель, 1981. - С.19-27.

3. Костромин А.М., Рафаловский В.В., Френкель С.Я., Комаров Г.А. Автоматическая система управления тепловозом // Проблемы развития тепловозостроения. - Коломна, 1983. - С.102 - 103.

4. Френкель С.Я. Оптимизация распределения перегонного

времени хода / БелНИИЖТ. - Гомель, 1983. - 6 с. - Деп. в ЦНИИТЭИ
МПС 30.12.83, № 2477 жд - Д83.

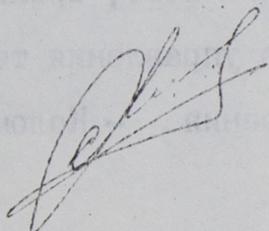
5. Костромин А.М., Рафаловский В.В., Френкель С.Я. Результаты испытаний системы автоведения поезда // Пути повышения эффективности использования подвижного состава: Тезисы докладов научно-технической конференции. - Гомель, 1983. - С.101 - 102.

6. Костромин А.М., Рафаловский В.В., Френкель С.Я. Управление магистральным тепловозом с применением устройства для автоматического ведения поезда // Оптимизация управления и повышение эффективности работы локомотивом. - Гомель, 1984. - С.49-53.

7. Костромин А.М., Рафаловский В.В., Френкель С.Я. Автоматизированное управление магистральным тепловозом // Создание и техническое обслуживание локомотивов большой мощности: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - Ворошиловград, 1985. С.36.

8. Костромин А.М., Рафаловский В.В., Френкель С.Я. Оптимизация и автоматизация управления тепловозом - резерв экономии дизельного топлива: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение энергетической эффективности локомотивов", 17 - 19 июня 1986 г., Ростов-на-Дону.-М., 1986. - С.22 - 23.

9. А.с. И131728 СССР. Устройство для автоматического управления транспортным средством / А.М.Костромин, В.В.Рафаловский, С.Я.Френкель, Г.А.Комаров (СССР). - № 3480594 / 27 - II; Заявлено 06.08.82, Опубл. 30.12.84. Бюл. № 48.



Френкель Семен Яковлевич

**Система автоматизированного управления
магистральным тепловозом**

05.22.07 — Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Подписано в печать 29.09.88 г. АЗ 04486. Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Бумага тип. № 1. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Зак. № 3608. Бесплатно.

Ротапринт типографии БелИИЖТа, 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.