

М 384611

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

НА ДОК. НЕ ВЕРНЕТСЯ

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище им. Н.Э.Баумана

УДК 629.114.5:621.41-83

На правах рукописи

ПОДЬЯКОВ Арнольд Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИВОДА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГОРОДСКОГО АВТОБУСА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ТРАНСМИССИЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ТЕПЛОВОМ ДВИГАТЕ-
ЛЕМ С ВНЕШНИМ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЕМ

Специальность 05.05.03 - Автомобили и тракторы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Экспериментальная часть работы проведена в Центральном ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте (НАМИ).

Научный руководитель –
кандидат технических наук доцент ГАЛАШИН В.А.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук ст.н.с. ИВАНЧЕНКО П.Н.
кандидат технических наук доцент БАРАНОВ Е.Н.

Ведущее предприятие – Московский автомобильный завод имени И.А.Лихачёва.

Защита диссертации состоится "22" февраля 1982 г.

на заседании Совета К.053.15.10

МВТУ им. Н.Э.Баумана

Бауманская ул., д. 5

в двух экземплярах, заверенные
анному адресу.

хранятся в библиотеке МВТУ

февраля 1982 г.

В.С.ЦЫБИН

М 387611



1387611

Подьяков А.А. Исследование

Актуальность темы. "Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" перед отечественным автобусостроением поставлены задачи значительного улучшения экономических и качественных показателей перевозок городскими автобусами. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на создание и совершенствование теплоэлектрического тягового привода (ТЭП) для перспективного городского автобуса большой вместимости, внедрение которого решает поставленные народнохозяйственные задачи.

Большинство исследований ТЭП посвящено дизель-электрическим и турбоэлектрическим приводам, эффективно используемым на автомобилях большой грузоподъемности. Результаты этих исследований не позволяют в необходимой степени оценить эффективность применения на городском автобусе ТЭП с тепловыми двигателями с внешним смесеобразованием и в том числе с малотоксичными и экономически перспективными газовыми двигателями.

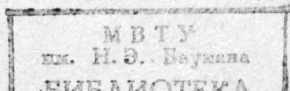
В диссертации исследованы наименее освещенные в литературе вопросы оптимизации режимов работы и структуры ТЭП автобуса с тепловым двигателем с внешним смесеобразованием и тяговыми электрическими машинами постоянного тока со смешанным возбуждением.

Представленные в диссертации исследования выполнены в соответствии с планом научно-исследовательских работ Минавтопрома (проблема 0.19.075, задание 0.19.076, тема 5 плана НИР МАП).

Целью работы является теоретическое и практическое обоснование эффективности использования тягового привода с тепловым двигателем с внешним смесеобразованием и электрическими машинами постоянного тока для перспективного городского автобуса.

Основные идеи работы заключаются в возможности обеспечить высокую эффективность ТЭП используемого типа на перспективном городском автобусе при рациональной структуре системы управления приводом и эксплуатации привода в режимах, обеспечивающих минимальный расход топлива и высокую приемистость автобуса.

Методы исследования. Теоретические исследования динамики систем управления ТЭП в основных установившихся режимах выполнены с помощью методов теории автоматического регулирования линейных систем, моделирования систем на аналоговых машинах и математического аппарата операционного исчисления. Расчетно-аналитическим



и экспериментальными методами исследованы динамические качества привода в режимах разгона автобуса. Стендовыми и ходовыми испытаниями получены основные эксплуатационные характеристики автобуса с различными системами управления его приводом.

Научная новизна. Автором обоснованы рациональные критерии оптимизации режимов работы тягового привода городского автобуса и введён динамический критерий (по быстродействию привода).

На основе динамического программирования нагрузки теплового двигателя разработан эффективный метод улучшения приёмистости автомобилей с ТЭП, отмеченный авторскими свидетельствами.

Установлена наиболее целесообразная функциональная схема управления ДГ автобуса с тепловым двигателем с внешним смесеобразованием и генератором с независимым или смешанным возбуждением. Разработана методика исследования динамики ТЭП с регуляторами частоты вращения и мощности ДГ на математических моделях систем.

К защите представляются разработанные в диссертации:

- положение о необходимости оптимизации режимов работы ТЭП городского автобуса по экономическому, энергетическому и динамическому критериям;

- метод улучшения приёмистости автомобилей с ТЭП посредством динамической коррекции программы установившихся значений нагрузки теплового двигателя;

- методика исследования динамики систем ТЭП с регуляторами частоты вращения и мощности ДГ на математических моделях систем;

- методика определения параметров максимально экономичных режимов работы ДГ - установки автомобиля;

- рекомендации по построению и использованию систем управления ТЭП автобуса с регуляторами частоты вращения и мощности ДГ.

Практическая ценность. Выполненные исследования позволяют оборудовать тяговым приводом перспективный городской автобус большой вместимости с высокими эксплуатационными, экономическими, динамическими и токсическими показателями.

Разработаны практические рекомендации по построению наиболее целесообразной структуры системы управления ТЭП для городского автобуса с тепловым двигателем с внешним смесеобразованием и электрической трансмиссией постоянного тока.

Предложен и внедрён (в НАМИ и на ЗИЛе) наиболее рациональный метод улучшения приёмистости автомобилей с ТЭП.

Разработанные методики определения параметров максимально экономичных режимов работы ДГ и исследования динамики систем управления ТЭП на их математических моделях являются эффективным средством исследования и доводки привода автомобилей с ТЭП.

Разработанные типы систем управления ТЭП с регуляторами частоты вращения и мощности ДГ рекомендованы для их наилучшего использования. Названными системами оборудованы образцы городских автобусов большой вместимости ЛАЗ-3603 и ЛАЗ-699Б.

Экономический эффект от внедрения городского автобуса большой вместимости с ТЭП (типа ЛАЗ-3603) в расчёте на один автобус составляет 1510 руб. в год.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры К-3 МВТУ им. Н.Э.Баумана (1975 г. и 1981 г.), на 9-ой научно-технической конференции НАМИ (1976 г.), на научно-технических Советах предприятий ВКЭИ Автобуспром (1975 г.), НАМИ и СКБ ЗИЛ (1981 г.).

Публикации. Основные положения диссертации освещены в пяти печатных работах (в том числе в двух авторских свидетельствах).

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения по результатам исследований и общим выводам, списка использованной литературы из 118 наименований и четырёх приложений. Объём диссертации составляет 240 с.: 142 с. основного машинописного текста, 32 с. ил. (55 рисунков), 22 с. таблиц (25 таблиц), 10 с. библиографии и 34 с. приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. Анализ применения электропривода на автобусах.

В главе сделан анализ тенденций развития городских автобусов, их тяговых электроэнергетических установок, электрических трансмиссий и систем управления тяговым приводом.

Главными направлениями развития автобусного транспорта являются повышение производительности, комфортабельности и снижение себестоимости перевозок посредством увеличения вместимости и средней скорости движения автобусов, совершенствования их конструкции, улучшения топливно-экономических и токсических показателей. Наиболее перспективными и экономически эффективными на городских маршрутах с большим пассажиропотоком являются автобусы большой вместимости. Важнейшие особенности их эксплуатации и

конструкции (широкий скоростной и нагрузочный диапазоны, циклический режим движения с высокими значениями ускорений, большая длина, низкopolная конструкция кузова, число ведущих колёс более двух) обуславливают эффективность применения для них электрических трансмиссий с мотор-колёсами.

Из проведённого в главе анализа следует, что применение ТЭП с экономичным и малотоксичным тепловым двигателем и электрической трансмиссией постоянного тока в настоящее время наиболее рационально решает комплекс компоновочных, тяговых, эксплуатационных и экономических задач, ставящихся созданием перспективного низкopolного городского автобуса большой вместимости. Двигатель-генераторные установки (ДГ) отличаются от других типов электроэнергетических установок высокой удельной энергоёмкостью, быстротой восстановления запаса энергии, наибольшей долговечностью, меньшей стоимостью и лучшими массо-габаритными показателями.

Анализ тенденций развития электрических трансмиссий автобусов и систем управления приводом, результаты исследований советских учёных и опыт зарубежных разработок показывают, что ТЭП перспективного автобуса должен строиться на базе высокоскоростных электрических машин, с индивидуальным приводом ведущих колёс, с применением замкнутых объединённых систем управления приводом, преимущественным использованием непрерывного регулирования напряжения на якорах электродвигателей.

На основании результатов анализа установлены основные схемные и конструктивные параметры ТЭП перспективного городского автобуса и поставлены задачи диссертационной работы:

- установить наиболее рациональные критерии оптимизации режимов работы используемого типа привода и соответствующих им программ управления ТЭП автобуса;
- определить наиболее целесообразную структуру системы управления ДГ и ТЭП заданного типа и назначения;
- разработать методики нахождения программируемых режимов работы ТЭП автобуса;
- разработать методику исследования динамики систем управления ТЭП с использованием их математических моделей.

Глава 2. Анализ характеристик городского автобуса как объекта управления.

Во второй главе сделан анализ критериев оптимизации режимов

работы ТЭП городского автобуса, схем и особенностей регулирования его ДГ и выполнены расчёты (цикла движения, тяговой, динамической и пусковых характеристик привода, программы регулирования ТЭП), конкретизированные для автобуса большой вместимости 8х4 типа ЛАЗ-3603, разработанного институтом ВЭИ Автобуспром.

Основные функциональные и структурные особенности исследуемого привода (рис. I) обусловлены применением теплового двигателя с внешним смесеобразованием (ТД), трёхобмоточного тягового генератора (Г), мотор-колёс с электродвигателями смешанного возбуждения ($\text{ЭД}_{1..4}$), синхронного вспомогательного генератора (ВГ) и регуляторов токов независимого возбуждения ($I_{\text{НВГ}}$ и $I_{\text{НВД}}$) тягового генератора (БРВГ) и электродвигателей (БРВД).

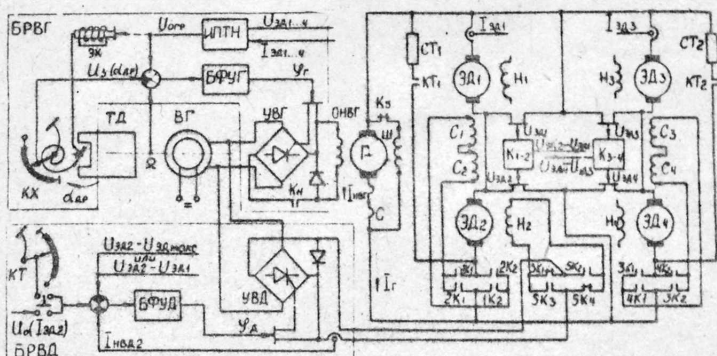


Рис. I. Схема тягового привода автобуса ЛАЗ-3603

УВГ и УВД - управляемые выпрямители питания обмоток независимого возбуждения генератора (ОБВГ) и ЭД ($H_{1..4}$), БФУГ и БФУД - блоки фазового управления углами регулирования (φ_g и φ_d) выпрямителей, ИПТН - узел измерения и преобразования напряжения и тока якоря ЭД в сигнал ограничения, КХ и КТ - ходовой и тормозной контроллеры.

Циклический график и условия эксплуатации обуславливают нагрузочные режимы, тяговые и динамические характеристики и программы управления ТЭП автобуса. Тягово-динамическим расчётом с учётом энергетических потерь в трансмиссии получены тяговая и динамическая характеристики автобуса, уравнения его движения, рассчитаны параметры основных режимов работы привода и подтверждено соответствие расчётных характеристик заданным параметрам цикла движения.

Основные теоретические вопросы второй главы - вопросы опти-

мизации режимов работы и структуры ТЭП автобуса. Они решены установлением рациональных критериев оптимизации, соответствующих им программ регулирования основных параметров режимов привода и выбором наиболее целесообразной схемы управления ТЭП.

В существующих системах тягового привода автомобилей рабочие режимы привода программируются из условий их соответствия экономическому критерию (минимального удельного расхода топлива) и энергетическому критерию (использования максимальной мощности двигателя). Эти же критерии являются основными и при оптимизации режимов работы электрических машин и трансмиссий.

Экономический и энергетический критерии соответствуют основным требованиям к установившимся или медленно меняющимся режимам движения городского автобуса.

Принципы управления тепловыми двигателями по программе максимальной экономичности разработаны Е.А. Чудаковым, М.А. Айзерманом, Н.К. Куликовым, В.А. Петровым, Е.Н. Барановым.

Реализация экономического критерия и нахождение соответствующих минимальному удельному расходу топлива программных зависимостей между основными регулируемыми параметрами привода осуществлены с использованием разработанной автором методики, отличающейся от применяемых графоаналитических методик большей точностью и меньшей трудоёмкостью нахождения регулировочных характеристик ТЭП. Совокупность максимально экономичных скоростных режимов ДГ для ряда фиксированных положений органа подачи топлива определяется экспериментально по наибольшим значениям удельной электрической энергии, производимой генератором за время расходования дозированного количества топлива. Величина этой энергии, эквивалентная КПД ДГ, измеряется интегратором электрической мощности, выделяемой на реостатной нагрузке генератора.

Наивыгоднейшие по экономичности значения мощности нагрузки теплового двигателя рассчитываются для найденных скоростных режимов по соответствующим им величинам электрической мощности:

$$P_{\text{нопт}}(n) = P_{\text{элг}}(n) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{г}}} + P_{\text{вт}} \quad (1)$$

Полученные зависимости определяют экономические программы регулирования частоты вращения ДГ в функции угла открытия дросселя $P_{\text{нопт}}(\alpha_{\text{др}})$ и мощности $P_{\text{нопт}}(n)$ или момента нагрузки $M_{\text{нопт}}(n)$ в функции частоты вращения ДГ (рис. 2).

Регулировочная характеристика независимого возбуждения ЭД в функции их якорных токов определена из условий обеспечения ма-

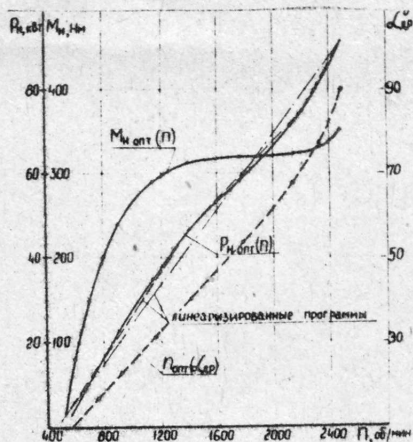


Рис. 2. Экономические программы регулирования ДТ

ксимальной силы тяги на колесах в начале разгона автобуса, максимальной частоты вращения ЭД при максимальной скорости автобуса и максимальных значений их КПД в остальных режимах движения.

Программа управления ТЭП городского автобуса должна предусматривать возможность осуществления максимально интенсивного разгона машины. Это условие требует при программировании режимов работы ТЭП введения динамического критерия – по быстродействию привода. Анализом скоростных

характеристик теплового двигателя и нагрузки показано, что полученные в соответствии с экономическим и энергетическим критериями программы регулирования нагрузки ДТ не обеспечивают необходимой приёмистости автобуса и нуждаются в коррекции. Особенностью реализации динамического критерия разработанным методом является независимость и первичность его действия по отношению к экономическому критерию.

Энергетический и динамический критерии оптимизации режимов работы ТЭП объединяются обобщённым энергетическим критерием, распространяющим условие максимального использования мощности ТД на режимы установившегося движения и разгона автомобиля.

Эффективное обеспечение условий оптимизации режимов работы ТЭП требует одновременной оптимизации его структуры. На основе известных принципов регулирования ТД, общей классификации В.А. Петрова систем тягового привода с ТД и бесступенчатой передачей, структурного анализа систем управления ТД и ТЭП, содержащегося в трудах В.И. Крутова, А.Д. Степанова, В.В. Семёнова, Н.А. Логарского и других учёных, в диссертации поставлена задача оптимизации структуры ДТ с тепловым двигателем с внешним смесеобразованием и тяговым генератором с независимым возбуждением и на её основе – ТЭП городского автобуса.

Анализ возможных способов и соответствующих им схем управле-

ния ДГ показал, что все реализующие их системы охватываются в зависимости от выбора регулируемых, регулирующих и программирующих параметров тремя структурными группами: параметрических систем саморегулирования, замкнутых систем автоматического регулирования и комбинированных систем, сочетающих саморегулирование теплового двигателя с автоматическим регулированием его нагрузки замкнутой системой. Программы регулирования ДГ (рис.2) могут быть реализованы схемами, содержащими два из трёх регуляторов: регулятор частоты вращения ДГ (РС), регулятор подачи топлива (РТ) и регулятор мощности или момента нагрузки (РМ или РН).

Результаты проведенного анализа обосновывают целесообразность выбора для широкого исследования и построения рациональной структуры ТЭП двух схем управления ДГ, обладающих преимуществами перед остальными, – схемы замкнутой системы автоматического регулирования частоты вращения ДГ в функции подачи топлива и схемы комбинированной системы автоматического регулирования мощности нагрузки теплового двигателя в функции частоты его вращения. На их базе построены исследуемые системы управления ТЭП (рис. 3).

Структурные схемы этих систем составлены для движения мотор-колёс в тяговом режиме при одинаковых условиях движения.

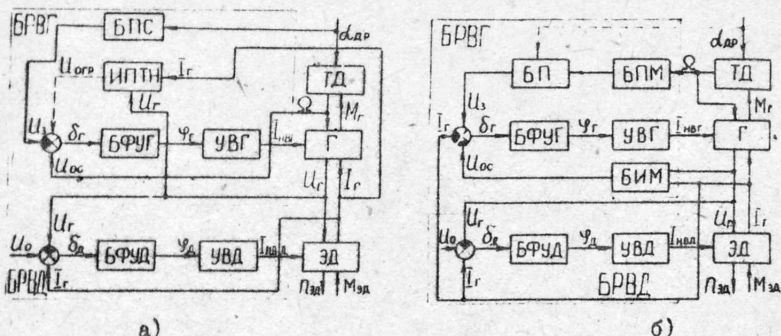


Рис. 3. Исходные структурные схемы ТЭП автобуса с регулятором частоты вращения ДГ (а) и с регулятором мощности ДГ (б)

БПС – блок программирования частоты вращения ДГ;
БПМ – блок программирования мощности ДГ; БП – блок приёмности;
БМ – блок измерения мощности ДГ.
Остальные обозначения указаны на рис. 1 и в описании к нему.

С целью выбора лучшего элементного решения регуляторы систем реализованы двумя исполнениями – с магнитно-полупроводниковыми и с полупроводниковыми преобразователями на основе линейных ин-

тегральных схем.

Глава 3. Структурный анализ систем регулирования теплоэлектрического привода автобуса.

Структурный анализ исследуемых систем управления ТЭП с регулятором частоты вращения ДГ (системы РС) и с регулятором мощности ДГ (системы РМ) включает в себя математическое описание систем, синтез их развёрнутых структурных схем, структурные преобразования последних в эквивалентные им расчётные схемы, получение передаточных функций и характеристических уравнений систем, сравнительный анализ динамических свойств систем.

Исследования динамики систем выполнены с использованием методов теории автоматического регулирования и математического аппарата операционного исчисления для основных режимов движения автобуса – с максимальным и номинальным вращающим моментом и с максимальной скоростью в одинаковых условиях движения всех колёс.

Принятые допущения при математическом описании систем обоснованы особенностями рассматриваемых режимов и характеристик узлов привода (непрерывностью токов якорей и возбуждения, малой зависимостью момента сопротивления движению автобуса от отклонения его скорости, малым влиянием вихревых токов и гистерезиса магнитной цепи генератора и некоторыми другими).

Уравнения динамических звеньев ТЭП составлены в приращениях, линеаризованы и выражены в операторной форме. Уравнение ДГ составлено для номинального режима работы теплового двигателя, характеризованного минимальным коэффициентом самовыравнивания. Частные производные магнитного потока генератора получены дифференцированием выражения потока трёхобмоточного генератора по току независимого возбуждения, току якоря и частоте вращения генератора.

С целью обобщения методики расчёта для обеих систем управления ТЭП влияние изменения установки мощности в процессе регулирования мощности учтено обратной связью по частоте вращения ДГ.

На основании уравнений динамических звеньев ТЭП построены развёрнутые структурные схемы систем РС и РМ, преобразованные затем в эквивалентные им расчётные схемы (рис. 4).

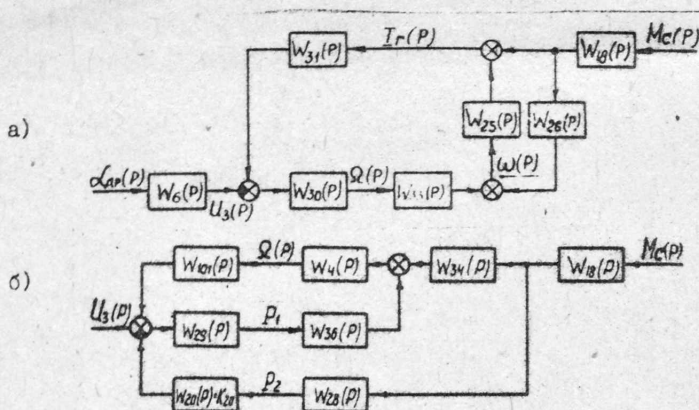


Рис. 4. Расчётные структурные схемы систем управления ТЭП автобуса с регулятором частоты вращения (а) и с регулятором момента (б) двигателя-генератора

U_3 — сигнал уставки по регулируемому параметру,
 I_r — ток якоря генератора, Ω — частота вращения ДГ,
 ω — частота вращения ЭД, M_c — момент сопротивления
 вращению ЭД, P_1 и P_2 — составляющие момента ДГ.

Из расчётных схем получены передаточные функции замкнутых систем управления ТЭП (РС и РМ) по управляющему воздействию:

$$W_3(p)_{pc} = \frac{\Omega(p)}{U_3(p)} = \frac{K_1 K_2 K_3 (A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0)}{A(p)_{pc}}, \quad (2)$$

$$W_3(p)_{pm} = \frac{\Omega(p)}{U_3(p)} = \frac{Q_4 p^4 + Q_3 p^3 + Q_2 p^2 + Q_1 p + A_0}{K_{101} \cdot A(p)_{pm}}. \quad (3)$$

Характеристические уравнения систем при принятых допущениях шестой степени:

$$A(p) = a_0 p^6 + a_1 p^5 + a_2 p^4 + a_3 p^3 + a_4 p^2 + a_5 p + a_6 = 0. \quad (4)$$

Коэффициенты полиномов, определяемые параметрами узлов ТЭП, получены расчётно-экспериментальными исследованиями.

Анализ устойчивости систем (по критериям Раунса и Михайлова) и их частотных свойств по характеристическим годограммам (рис. 5) и по переходным процессам, полученным на модели, свидетельствует о достаточном запасе устойчивости обеих систем во всех исследуемых режимах работы привода и о большей колебательности системы РС.

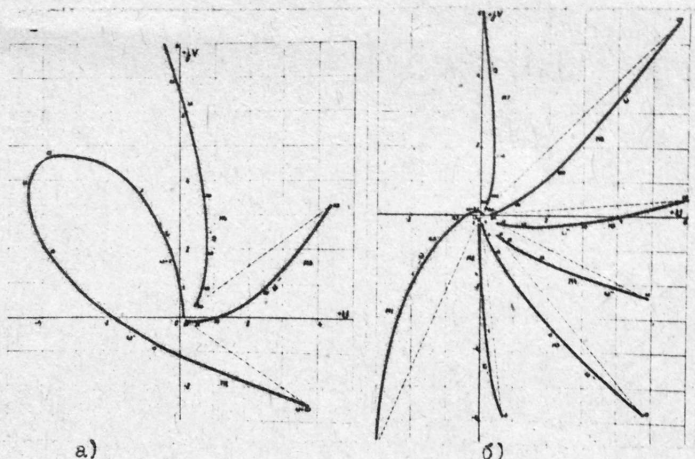


Рис. 5. Характеристические годографы замкнутых систем РС (а) и РМ (б) в режиме номинального тока генератора

Методика выполненного структурного анализа систем универсальна в отношении её использования при применении тяговых электрических машин постоянного тока с различным количеством обмоток.

Глава 4. Расчётно-теоретическое исследование динамики автобуса с ТЭП.

В главе выполнено исследование динамических качеств привода с системами регулирования частоты вращения и мощности ДГ в основных установившихся режимах движения автобуса методом математического моделирования систем (на аналоговой машине ЭМУ-10) и аналитическое исследование режима разгона автобуса с целью обеспечения максимально возможной приёмистости автобуса при заданной мощности теплового двигателя. Особенности разработанных моделей систем обусловлены структурными схемами последних.

На математических моделях систем анализом переходных функций по управляющему и возмущающему воздействиям исследованы качество регулирования переходных процессов изменения основных параметров привода и влияние на эти процессы регулирующих параметров с целью оптимизации последних. Анализ результатов, полученных на модели и расчётом, показывает, что исследуемые системы обеспечивают требуемую точность (в пределах 1,8%) регулирования частоты вращения и мощности ДГ во всех расчётных режимах работы привода.

Обе системы после необходимой коррекции параметров их зве-

ньев обладают достаточным запасом устойчивости и требуемым качеством регулирования. Переходные процессы в системах от изменения момента сопротивления движению автобуса аналогичны и носят монотонный характер, а изменение частоты вращения ДГ практически отсутствует. Переходные процессы по управляющему воздействию в системах РС и РМ имеют существенно различный характер. В системе РС переходные функции токов и напряжения генератора носят характер колебательного затухающего процесса, а частоты вращения колёс и ДГ – практически монотонны. В системе РМ все переходные функции монотонны или весьма близки к таковым; величина перерегулирования токов меньше, а длительность всего переходного процесса вдвое больше, чем в системе РС.

Наибольшее влияние на качество регулирования переходных процессов в системах оказывают величины постоянной времени обмотки независимого возбуждения генератора и коэффициента усиления разомкнутых систем. Последний может быть взят для системы РМ в 2-3 раза большим, чем для системы РС.

Достоверность результатов исследований систем ТЭП на их математических моделях подтверждается близким соответствием переходных функций, полученных на моделях, осциллограммам соответствующих процессов, снятых в условиях ходовых испытаний автобуса.

Приёмистость автобуса, как показано анализом скоростных характеристик теплового двигателя и его нагрузки, зависит от максимальной мощности двигателя и от возможности её использования, определяющих быстродействие привода. Скорость автобуса через время T_0 от начала разгона будет тем выше, чем больше величина свободной энергии $A_{тд}$, отданной тепловым двигателем за это время:

$$A_{тд} = \int_0^{T_0} P_{тд}(t) \cdot dt = \int_0^{\Omega_{тд}} \frac{M_{тд}(\Omega) \cdot \Omega}{M_{тд}(\Omega) - M_H(\Omega)} \cdot d\Omega, \quad (5)$$

где:

$P_{тд}(t) = M_{тд}(t) \cdot \Omega(t)$ – свободная мощность теплового двигателя,
 J – момент инерции ДГ,

$M_H(\Omega)$ – момент нагрузки от генератора,

$T_{хх}$ – время разгона ДГ без нагрузки от режима холостого хода до номинального,

$\Omega_{тд}$ – частота вращения ДГ через время T_0 от начала разгона.

Расчётом показано, что за время $T_0 \gg T_{хх}$ величина $A_{тд}$ имеет наибольшее значение в случае регулирования нагрузки от тягового генератора по программе, обеспечивающей выполнение условий:

$$\begin{aligned} M_H(\Omega) &= 0 && \text{при } \Omega < \Omega_{\text{ном}} \text{ и } t < T_{\text{хх}}, \\ M_H(\Omega) &= M_{\text{ТДном}} && \text{при } \Omega = \Omega_{\text{ном}} \text{ и } t \geq T_{\text{хх}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Реализация такой программы для установившихся режимов работы ТД приводит к резкому увеличению расхода топлива, поэтому она может быть принята лишь в процессе разгона ДГ и осуществлена посредством динамической коррекции сигнала управления нагрузкой. Необходимая коррекция экономической программы, обусловленная характеристиками ТД и требуемой приёмистостью автобуса, осуществлена разработанным звеном динамической коррекции (блоком приёмистости)

Глава 5. Экспериментальные исследования характеристик автобуса с теплоэлектрическим приводом.

Экспериментальные исследования включают в себя лабораторные исследования характеристик узлов привода, стендовые испытания узлов и систем регулирования привода и ходовые испытания автобуса. Их целью является проверка методик и результатов теоретического анализа, разработка экспериментальных методов исследования ТЭП, получение эксплуатационных характеристик привода и комплексная оценка характеристик автобуса с различными системами управления ТЭП.

Стендовые испытания привода проведены на специальном стенде для испытаний электротрансмиссий с мотор-колёсами.

По разработанной методике (глава вторая) на стенде определена экономическая программа регулирования ДГ для множества положений органа подачи топлива. Для найденных программных режимов получены семейство внешних (рис. 6) и регулировочных характеристик тягового генератора.

В процессе ходовых испытаний получены топливно-экономические, токсические и динамические характеристики автобуса с различными системами управления ТЭП.

Для наиболее объективной оценки экономичности городского автобуса измерялись цикловые расходы топлива при движении автобуса с расчётной нагрузкой по среднестатистическому циклу. Результаты исследований показывают, что применение систем управления ТЭП с регулированием частоты вращения и мощности ДГ обеспечивает практически одинаковые расходы топлива, на 6 - 20% меньше, чем система саморегулирования ДГ.

Преимущество электрической трансмиссии перед механической по

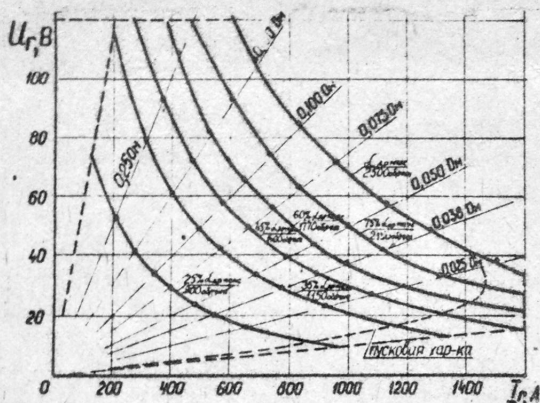


Рис. 6. Внешние характеристики тягового генератора ГЭТ-120 на программных режимах работы теплового двигателя

токсическим характеристикам энергоустановки подтверждается измерениями средней концентрации основных токсичных продуктов (CO , CmH_n , NO_x) в выхлопных газах теплового двигателя за расчетный цикл движения автобуса. Результаты анализа показывают, что токсические характеристики ТЭП с системами регу-

лирования частоты вращения и мощности ДГ практически одинаковы и на 20 – 50% лучше, чем при использовании ступенчатой механической трансмиссии.

Динамические качества привода и приемистость автобуса исследованы при движении с расчетной нагрузкой по асфальтированной горизонтальной дороге (рис. 7) и на подъеме с 10% уклоном.

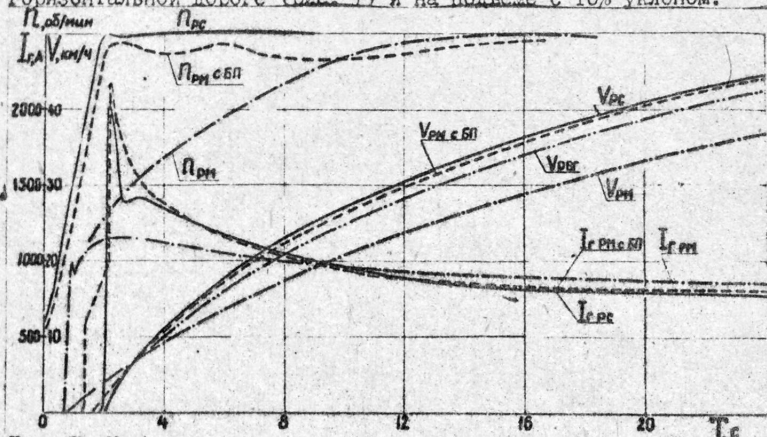


Рис. 7. Характеристики разгона автобуса по горизонтальной асфальтированной дороге при максимальной подаче топлива.

Анализ осциллограмм процессов изменения основных параметров систем управления ТЭП при разгоне автобуса показывает следующее.

Исследуемые системы обладают достаточным запасом устойчивости во всех режимах движения автобуса. Переходные процессы изменения частоты вращения ДГ и мотор-колёс носят требуемый аperiодический характер, а токов якоря и возбуждения тягового генератора — колебательный, с допустимыми величинами перерегулирования.

Разработанные системы регулирования частоты вращения и мощности ДГ обеспечивают во всех режимах движения автобуса требуемые точность и качество регулирования переходных процессов для соответствующих параметров (отклонение от программных режимов менее 2%), необходимое быстродействие привода (длительность выведения ДГ на номинальный режим менее 2,5 с) и приёмистость автобуса, обуславливающие выполнение заданного графика его движения.

Ходовые испытания подтверждают эффективность и достоверность разработанных расчётно-теоретических методов исследования ТЭП.

Общие выводы

1. Созданный теплоэлектрический привод с тепловым двигателем с внешним смесеобразованием и электрической трансмиссией постоянного тока соответствует компоновочным, эксплуатационным, экономическим и экологическим требованиям, предъявляемым к тяговому приводу перспективного городского автобуса большой вместимости.

2. Оптимизация режимов работы ТЭП городского автобуса должна производиться по экономическому, энергетическому и динамическому критериям, обуславливающим эксплуатацию ДГ-установки в режимах минимального удельного расхода топлива или максимальной мощности (как при равномерном движении автобуса, так и при его разгоне).

3. Рациональная структура ТЭП автобуса с тепловым двигателем с внешним смесеобразованием реализуется системой автоматического управления частотой вращения ДГ в функции величины подачи топлива с воздействием на момент нагрузки генератора и с автоматическим управлением токами независимого возбуждения ЭД. Применение системы управления мощностью нагрузки ТД в функции частоты его вращения более целесообразно при использовании дизель-генераторной, турбогенераторной или комбинированной энергоустановок.

4. Разработанные системы управления приводом автобуса с регуляторами частоты вращения и мощности ДГ обладают высокими эксплуатационными, технологическими и массо-габаритными показателями, оригинальными схемными и конструктивными исполнениями и обеспечивают требуемые тягово-динамические характеристики автобуса.

5. Разработанная методика экспериментального определения параметров максимально экономичных режимов работы ДГ – установки позволяет наиболее рационально и достоверно установить экономическую программу управления ТЭП автобуса.

6. Предложенный метод оптимизации режимов работы ТЭП по быстройдействию (по динамическому критерию) посредством динамической коррекции программы установившихся значений нагрузки теплового двигателя при разгоне автобуса является наиболее рациональным средством улучшения приёмистости автомобилей с ТЭП.

7. Разработанная методика анализа динамики и оптимизации параметров систем управления ТЭП автобуса на их математических моделях является эффективным средством исследования динамических характеристик привода, рекомендуемым для использования при проектировании и доводке ТЭП автомобилей.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Подъяков А.А. Способы регулирования карбюраторного двигателя в системе теплоэлектрического привода колёсной машины. – Известия вузов. Машиностроение, 1973, № I, с. 122-126.
2. Подъяков А.А. Улучшение приёмистости самоходных машин с теплоэлектрическим приводом. – Труды МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1974, № 204. Вопросы автомобилестроения, вып. 2, с. 48-55.
3. Подъяков А.А., Пайков Г.В., Артёмов И.М. Регулирование теплоэлектрического привода автобуса. – Известия вузов. Машиностроение, 1976, № 6, с. 104-109.
4. А.с. 611.797 (СССР). Способ управления теплоэлектрическим приводом экипажа (А.А.Подъяков, А.Д.Степанов, И.М.Артёмов и др. – Оpubл. в Б.И., 1978, № 23).
5. А.с. 653.149 (СССР). Устройство управления теплоэлектрическим приводом самоходных машин. /А.А.Подъяков, А.Д.Степанов, И.М.Артёмов и др. – Оpubл. в Б.И., 1979, № II.
6. Разработка типоразмерного ряда электромотор-колёс. Экспериментально-конструкторские и исследовательские работы по транспортным средствам с электроприводом и мотор-колёсами: Отчёт /НАМИ; Руководитель работы А.И.Яковлев. – ГР № 71046292, инв. № 10329. – М., 1975, – 210с.

Д-88860 от 24.12.81 Объем I п.л. Тир. 100 экз.
Зак. 1647. Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана

