

С 7 1 6 2 2 0 -

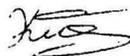
На правах рукописи

КАЮМОВ ЭДУАРД ФАИЗОВИЧ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ
НА ОСНОВЕ СТАБИЛИЗАЦИИ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ
НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Казань 2000

Работа выполнена на кафедре радиуправления Казанского
государственного технического университета им. А.Н.Туполева

Научные руководители:

заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук,
профессор Я.С. Урецкий

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор З. А. Баширов;
доктор технических наук,
профессор В. И. Наумов

Ведущая организация:

Инновационный технологиче-
ский центр Республики Татар-
стан

Защита состоится "19" июня 2000 г. в _____ часов
на заседании диссертационного совета К.063.43.05
при Казанском государственном техническом университете
им. А. Н. Туполева по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан "19" мая 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



0000947904

В. А. Козлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современный этап развития автомобилестроения характеризуется повышенными требованиями к качественным показателям эксплуатационных характеристик транспортных средств.

Согласно наметившимся тенденциям, для обеспечения нормативных эксплуатационных характеристик транспортных средств, наиболее широко применяются многоцелевые бортовые системы управления, способные оценивать текущие эксплуатационные показатели и находить оптимальный вариант управления рабочими процессами агрегатов транспортного средства, а улучшение эксплуатационных характеристик транспортного средства может достигаться разработкой и использованием различного рода устройств корректировки рабочих процессов.

Перспективным направлением развития силового привода транспортных средств является стабилизация рабочих режимов энергетической установки (ЭУ) на основе компенсации силовых возмущений промежуточными накопителями энергии (НЭ). При этом управление подобным комбинированным приводом основывается на анализе рабочих процессов и синтезе соответствующих управляющих воздействий.

Однако реализация подобного привода сдерживается недостаточным развитием методов и средств решения этих задач, а основная трудность связана с отсутствием динамических моделей адекватно отражающих специфические особенности функционирования НЭ в качестве компенсирующего элемента системы управления комбинированным приводом.

Поэтому возникает актуальная задача разработки методов и средств стабилизации рабочих режимов энергетической установки на основе использования промежуточных накопителей энергии в качестве компенсирующего элемента системы управления. Решению данной задачи и посвящена диссертационная работа.

Целью работы является улучшение эксплуатационных характеристик транспортного средства на основе стабилизации рабочих режимов энергетической установки промежуточными накопителями энергии.

Для достижения этой цели в диссертации решена задача разработки методов и средств стабилизации рабочих режимов энергетической установки на основе применения промежуточных накопителей энергии в качестве компенсирующего элемента системы управления. Частными задачами которого являются:

- анализ рабочих процессов в системе привода транспортного средства и разработка методов и средств коррекции рабочих характеристик;
- разработка и исследование моделей комбинированной системы, учитывающих особенности функционирования НЭ в качестве компенсирующего элемента системы управления;
- синтез структуры, элементов и алгоритмов функционирования системы управления комбинированным приводом;
- исследование вопросов технической реализации методов стабилизации рабочих режимов энергетической установки.

Методы исследований. Теоретические исследования базируются на использовании методов теорий моделирования на основе электромеханических аналогов, линейных многоканальных многосвязанных систем автоматического управления и оптимизации. Моделирование осуществлено с использованием программного обеспечения LabView и MathCad.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Исследованы вопросы улучшения эксплуатационных показателей транспортных средств, показано, что повышение эксплуатационных показателей возможно на основе достижения инвариантности совокупности выходных координат первичной энергетической установки по отношению к произвольному по времени изменению нагрузки, за счет искусственного внешнего воздействия, а в качестве источника подобного воздействия возможно использование промежуточного накопителя энергии, позволяющего стабилизировать рабочие режимы энергетической установки в области оптимальных эксплуатационных характеристик.
2. Предложена модель системы накопитель энергии - нагрузка на основе эквивалентных электрических аналогов и проведен анализ их взаимодействия, показано, что взаимодействие координат в этих системах подчиняется законам обратной связи и нагрузка проявляется как естественная отрицательная обратная связь, а нелинейность взаимодействия обусловлена наличием аддитивно – параметрического звена замыкания.
3. Предложена схема построения системы управления комбинированным приводом на основе компенсации изменения нагрузки, за счет компенсирующего элемента системы управления в виде промежуточного накопителя энергии, создающего относительно инвариантной координаты противоположное воздействие. Показано, что при этом ошибка воспроизведения входного воздействия основным энергетическим каналом является эквивалентной входной величиной компенсирующего канала, а компенсирующий канал должен иметь собственный вход и доступные измерению внутренние координаты в силовой части. Что позволяет обеспечить выполнение условий инвариантности.
4. Исследованы динамические характеристики комбинированной системы, показано, что переходные процессы в системе определяются компенсирующим каналом и установлено, что при уменьшении инерционности компенсирующего канала происходит компенсация запаздывания основного канала.

Практическая ценность работы. Разработанные методы и средства стабилизации рабочих режимов энергетической установки силового привода транспортного средства, содержащие элементы, устройства, схемы, алгоритмы и методики подбора параметров управления позволяют обеспечить приближение законов рабочих процессов в приводе транспортного средства к теоретическим оптимальным. Это создает основу для выработки конструктивных и технических решений при проектировании подобных систем и открывает новые возможности для создания транспортных средств с повышенными эксплуатационными характеристиками.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Н. И. Лобачевского
Казанского гос. университета

Реализация результатов работы. Теоретические и практические результаты диссертационной работы были использованы в Инновационном технологическом центре РТ при проектировании силового привода для малолитражного автомобиля, в Малой академии картинга при создании спортивного микроавтомобиля. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе КГТУ им. А.Н. Туполева и Казанского филиала Челябинского танкового института.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 2–Международном симпозиуме “Энергетика, Экология, Экономика”, Казанский филиал московского энергетического института, Казань 1997, 1 – Международной научно - практической конференции «Автомобиль и техносфера», КГТУ им. А.Н. Туполева, Казань 1999, Научно-практической конференции по проблемам экологии и БЖД, Санкт – Петербург 1999, а также на научно – технических семинарах в Инновационном технологическом фонде РТ.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Она изложена на 134 страницах, содержит 21 рисунков, список использованных источников из 115 наименований.

Научные положения, выносимые на защиту. На основе полученных в диссертационной работе результатов на защиту выносятся следующие научные положения.

1. Улучшение эксплуатационных характеристик транспортного средства достигается стабилизацией рабочих режимов энергетической установки в области оптимальных эксплуатационных характеристик на основе достижения инвариантности совокупности выходных координат первичной энергетической установки по отношению к произвольному по времени изменению нагрузки, за счет искусственного внешнего воздействия создаваемого промежуточным накопителем энергии.
2. При взаимодействии системы накопитель энергии – нагрузка, взаимодействие координат подчиняется законам обратной связи, и нагрузка проявляется как естественная отрицательная обратная связь при этом нелинейность взаимодействия обусловлена наличием аддитивно – параметрического звена замыкания.
3. Схема системы управления комбинированным приводом на основе на основе компенсации изменения нагрузки, за счет компенсирующего элемента системы управления в виде промежуточного накопителя энергии, создающего относительно инвариантной координаты противоположное воздействие. При этом ошибка воспроизведения входного воздействия основным энергетическим каналом является эквивалентной входной величиной компенсирующего канала, который имеет собственный вход и доступные измерению внутренние координаты в силовой части. Переходные процессы в комбинированной системе определяются компенсирующим каналом и при уменьшении инерционности компенсирующего канала происходит компенсация запаздывания основного канала.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении указаны основные проблемы улучшения эксплуатационных характеристик транспортных средств, обоснована актуальность и сформулирована цель работы, приведены основные положения выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обсуждению современного состояния проблемы улучшения эксплуатационных характеристик и обзору современных методов управления приводом транспортных средств. Силовой привод транспортного средства представляет собою элемент системы управления непосредственно соединенный с объектом управления и особенностью которого является более тесная взаимосвязь информационной и энергетической сущностей процессов управления, чем в других элементах и устройствах систем управления.

Результаты анализа функциональных возможностей и задач, решаемых системой управления силовыми приводами транспортных средств, позволяют установить следующие тенденции их развития:

- совершенствование структуры системы управления с точки зрения обеспечения максимального приближения к теоретическим оптимальным законам рабочих процессов агрегатов транспортного средства;
- использование новых параметров управления, не применявшихся ранее в управлении рабочими процессами агрегатов транспортного средства;
- разработка элементов и устройств, предоставляющих возможность управления рабочими процессами в соответствии с несколькими программами управления в зависимости от разных исходных критериев оптимальности;
- разработка и использование элементов и устройств корректировки рабочих характеристик агрегатов транспортного средства в зависимости от режимов эксплуатации.

При этом рабочие характеристики энергетической установки в наибольшей степени влияют на качество эксплуатационных характеристик (рис. 1.1).

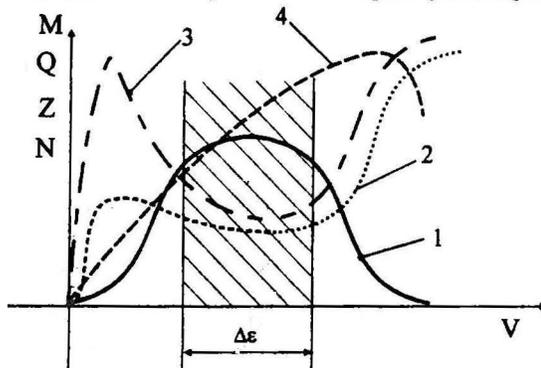


Рис. 1.1 Зависимости эксплуатационных характеристик от рабочих характеристик энергетической установки

Где V - частота вращения энергетической установки; $1 - M(V)$ выходной момент энергетической установки; $2 - Q$ расход топлива; $3 - Z$ экологичность; $4 - N$ выходная мощность.

Результаты анализа улучшения эксплуатационных характеристик транспортного средства в широком диапазоне изменения внешних условий, целей использования, позволили обосновать возможность использования в силовом приводе промежуточных накопителей энергии. Перспективным способом применения которых является стабилизация рабочих режимов энергетической установки на основе достижения инвариантности совокупности выходных координат энергетической установки по отношению к произвольному по времени изменению нагрузки, за счет компенсирующего элемента системы управления в виде промежуточного накопителя энергии, создающего относительно инвариантной координаты противоположное воздействие. При этом управление подобным комбинированным приводом основывается на анализе рабочих процессов и синтезе соответствующих управляющих воздействий. Однако решение этих задач затруднено в связи с недостаточным развитием соответствующих методов и средств, связанного с отсутствием динамических моделей адекватно отражающих специфические особенности функционирования НЭ в качестве компенсирующего элемента системы управления комбинированным приводами и разнородностью взаимодействий элементов системы.

В диссертационной работе сформулирована задача научных исследований, заключающаяся в нахождении структуры и параметров системы управления комбинированным приводом, удовлетворяющих условию инвариантности вектора выходных координат первичной энергетической установки по отношению к произвольному по времени изменению нагрузки:

$$\text{Найти } W_i = W(Y_i, V_i, U_i, T_i, \{X_i^k\})$$

$$\text{при } \left\{ \Omega_h(t), M_h(t), \dot{M}_h(t) \right\} \in \left\{ \Omega_{en}^{opt}, M_{en}^{opt}, \dot{M}_{en}^{opt} \right\}$$

где $i \in \{1, n\}$ - категория транспортных средств;

Y_i - исходные параметры управления;

V_i - тип и параметры первичной ЭУ;

U_i - тип и параметры НЭ;

T_i - тип и параметры корректирующих устройств

$\left\{ \Omega_h(t), M_h(t), \dot{M}_h(t) \right\}$ - совокупность координат требуемых динамических состояний транспортного средства;

$\left\{ \Omega_{en}^{opt}, M_{en}^{opt}, \dot{M}_{en}^{opt} \right\}$ - пространство оптимальных динамических состояний первичной энергетической установки;

$\{X^k\} = \{X^k\}$ - группа k параметров требований разработки, совместимости с

текущей практикой.

Решение общей задачи исследований основано на:

- анализе рабочих процессов в системе привода транспортного средства и разработке методов и средств коррекции рабочих характеристик;
- разработке и исследовании моделей комбинированной системы, учитывающих особенности функционирования НЭ в качестве компенсирующего элемента системы управления;
- синтезе структуры, элементов и алгоритмов функционирования системы управления комбинированным приводом;
- исследовании вопросов технической реализации методов стабилизации рабочих режимов энергетической установки.

Вторая глава посвящена исследованию систем привода с ограниченными источниками энергии.

В существующих методах анализа систем привода динамические процессы рассматриваются в предположении постоянства выходной величины источника энергии, что возможно лишь при использовании источников энергии неограниченной мощности. При использовании ограниченных источников энергии возникает взаимовлияние нагрузки и источника энергии, заключающаяся в том, что нагрузка проявляется как естественная отрицательная обратная связь, характер которой зависит от вида источника и сопротивления нагрузки.

В связи с этим предложена модель (рис.2.1) системы накопитель энергии – нагрузка, учитывающая не возобновляемый характер источника энергии и взаимовлияние нагрузки и источника энергии, основанная на замене источника энергии, в виде накопителя, эквивалентным генератором, содержащим источник ЭДС с напряжением равным начальной величине E_0 заряда НЭ и включенного последовательно с ним сопротивлением Z_U .

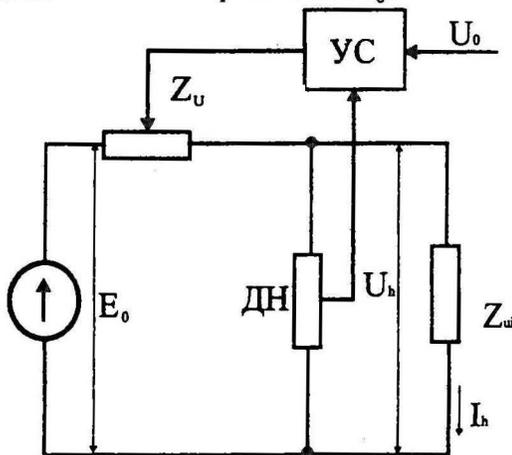


Рис.2.1 Модель системы накопитель \leftrightarrow нагрузка, на основе эквивалентных электрических цепей

Где ДН - датчик напряжения, УС - устройство сравнения, Z_w - нагрузка.

Не возобновляемый характер источника энергии и взаимное влияние источника и нагрузки моделируется тем, что выходной ток данного генератора $I_i = \frac{E_0}{Z_U(U_0, U_h)}$ зависит напряжения U_0 равного напряжению разряда НЭ на собственное внутреннее сопротивление при отсутствии нагрузки и от величины напряжения нагрузки U_h соответственно.

$$Z_U(t) = k[U_0(t) - U_h(t)] \quad (2.1)$$

Подобное взаимодействие не имеет явно выраженных обратных связей, однако взаимодействие координат в этих системах подчиняется законам обратной связи, и поэтому они могут быть представлены в виде эквивалентных структурных схем с АПОС (аддитивно - параметрической обратной связью) (рис. 2.2), в которой коэффициент передачи линейно зависит от сигнала обратной связи x_1 :

$$k_p = k_m - k_1 x_1 \quad (2.2)$$

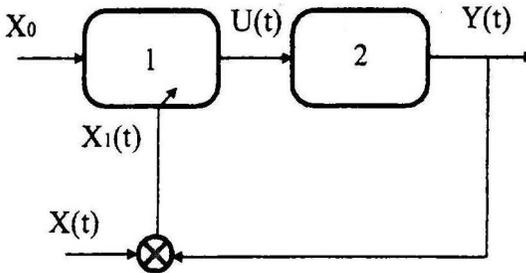


Рис.2.2. Структурная схема системы накопитель энергии \leftrightarrow нагрузка с АПОС
1 - звено замыкания; 2 - нагрузка

Где, прямая цепь описывается уравнением $\sum_{i=0}^n a_i Y^{(i)} = k_H U$

уравнение цепи обратной связи $X_1(t) = X(t) - Y(t)$

уравнение цепи замыкания $U = [k_m \mp k_1 (X - Y)] X_0$

Общее уравнение системы запишется в виде:

$$\sum_{i=1}^n a_i Y^{(i)} - k_H k_1 X_0 Y = k_H k_m X_0 - k_H k_1 X_0 X \quad (2.3)$$

Это позволяет в наглядной форме выявить причинно-следственные связи между переменными системы.

Нелинейность взаимодействия НАКОПИТЕЛЬ \leftrightarrow НАГРУЗКА обусловлена наличием аддитивно - параметрического звена замыкания, которое является билинейным (линейным по обоим входам).

В связи с этим рассмотрена возможность получения линейной модели (рис.2.3), на основе разложения функции звена замыкания в ряд Тейлора.

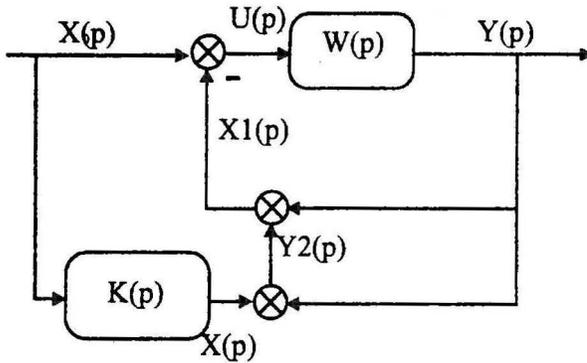


Рис.2.3. Структурная схема линейной модели системы накопитель ↔ нагрузка

На рис. 2.4 представлены результаты моделирования взаимодействия накопителя энергии и транспортного средства на основе предложенной линейной модели, для различных соотношений инерционностей накопителя и транспортного средства.

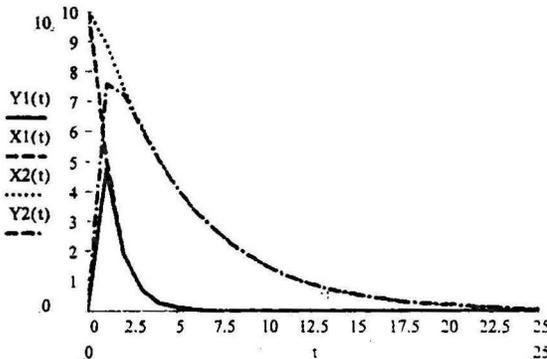


Рис. 2.4. Результаты моделирования взаимодействия накопителя и транспортного средства, для различных соотношений инерционностей накопителя и транспортного средства

Третья глава посвящена особенностям совместного использования первичной ЭУ и НЭ в системе привода транспортного средства, вопросам разработки принципов построения и алгоритмов функционирования системы управления комбинированным приводом.

Сформулирован критерий реализуемости условий инвариантности, основанный на известном принципе двухканальности, заключающийся в том, что в динамической системе должно быть, по крайней мере, два канала распространения воздействия между точкой приложения внешнего воздействия и точкой

измерения величины, инвариантность которой по отношению к этому воздействию должна быть обеспечена.

В связи с этим предложен способ обеспечения инвариантности связанный с искусственным введением специального компенсирующего канала. При этом выполнение условий инвариантности означает компенсацию изменения нагрузки, при помощи компенсирующего канала, создающего относительно инвариантной координаты противоположное воздействие, где источником подобного воздействия является промежуточный накопитель энергии.

Сформулирован принцип построения и алгоритм функционирования подобной системы, заключающийся в том, что компенсирующий канал вносит поправку в измеренное значение задающего воздействия X_u , то есть если $y_1(t)$ выход системы состоящего из основного канала, то выход системы с двумя каналами равен:

$$Y(t) = y_1(t) + y_2(t) \quad (3.1)$$

При этом в качестве эквивалентной входной величины $x_2(t)$ компенсирующего канала принято ошибка воспроизведения входного воздействия первым каналом:

$$x_2(t) = \varepsilon_1(t) = X_u(t) - y_1(t) \quad (3.2)$$

А выходная координата этого канала вводится в силовую часть системы, то есть суммирование его выходного сигнала с сигналом основного канала, производится в части системы, где происходит преобразование координат силового (энергетического) уровня (в силовой части), или внутри объекта управления исполнительной части системы.

Компенсирующий канал должен иметь собственный вход в силовой части и доступные измерению (и используемые для корректирующих связей) внутренние координаты силовой части.

На рис.3.1 представлена схема двухканального комбинированного привода, на рис. 3.2 – алгоритм ее функционирования.

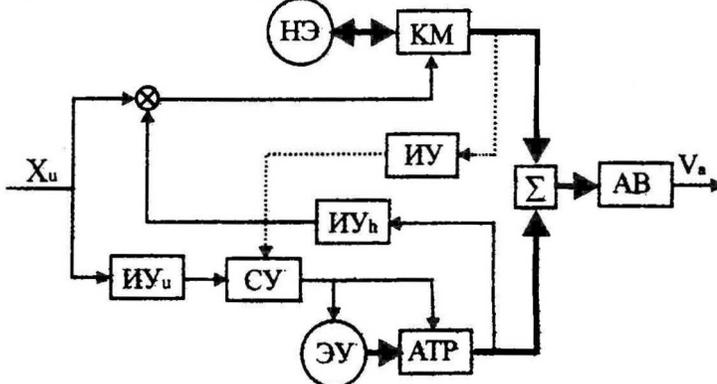


Рис. 3.1. Схема двухканального комбинированного привода

где X_u - задающее воздействие;

IY_u - измерительное устройство задающего воздействия;

SU - система управления ЭУ;

$HЭ$ и $ЭУ$ - источники энергии; первичная энергетическая установка и накопитель энергии соответственно;

KM и $KПП$ - коммутирующий механизм и автоматическая трансмиссия;

отдельные каналы описываются уравнением:

$$C_k(D)y_k(t) = B_k(d)x_k(t), \quad (3.3)$$

$$\text{или } C_k(D)\varepsilon_k(t) = A_k(D)x_k(t) \quad (3.4)$$

где $k=1,2$; $C_k(D), B_k(D), A_k(D) = C_k(D) - B_k(D)$ - операторные полиномы;

$D = \frac{d}{dt}$ - символ дифференцирования; $x(t)$ и $y(t)$ - входные и выходные координаты каналов; $\varepsilon_k(t) = x_k(t) - y_k(t)$ - ошибки воспроизведения.

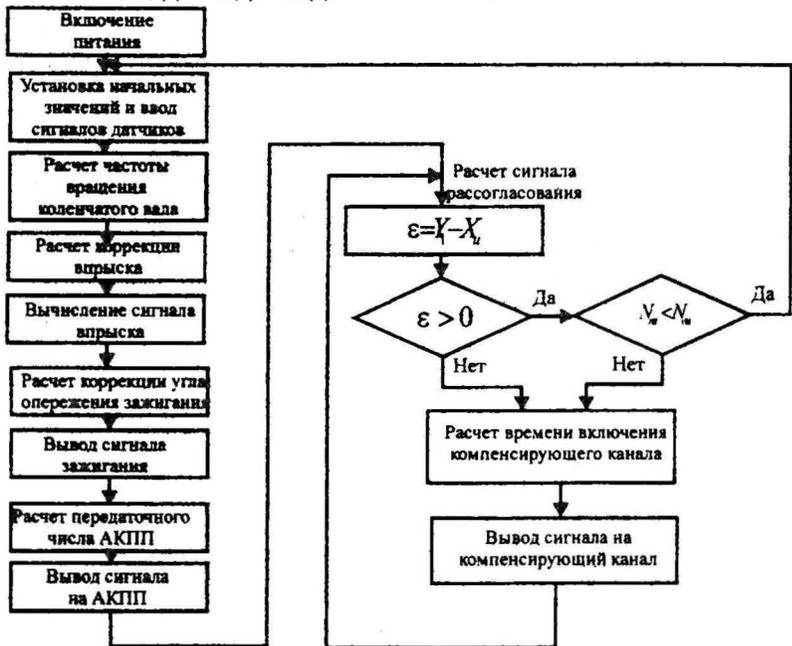
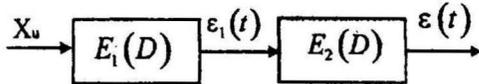


Рис. 3.2. Алгоритм функционирования системы управления комбинированным приводом

Система комбинированного привода может быть представлена в виде эквивалентной структурной схемы с последовательным соединением операторов

ошибок $E_k(D) = \frac{A_k(D)}{C_k(D)}$ (рис.3.3).

Рис.3.3 Эквивалентная структурная схема комбинированного привода



Где $E_1(D)x(t)$ - представляет собой ошибку основного канала $\varepsilon_1(t)$ при подаче на него воздействия $x(t)$, а результирующую ошибку $\varepsilon(t) = E_2(D)\varepsilon_1(t)$ можно рассматривать как ошибку компенсирующего канала $\varepsilon_2(t)$, если на его вход подано воздействие $\varepsilon_1(t)$.

Такое двухступенчатое преобразование задающего воздействия $x(t)$ обеспечивает возможность достижения более высокой точности воспроизведения.

Динамические характеристики комбинированной системы определяются уравнениями связи между выходными величинами $Y(t)$ - комбинированного привода и $Y_1(t)$ - основного канала. При этом реакция $Y(t)$ на выходе комбинированного привода может быть представлена в виде суммы реакций основного $z_1(t)$ и компенсирующего $z_2(t)$ каналов на входное воздействие и составляющей $z_{1,2}(t)$, учитывающей взаимосвязь между каналами:

$$Y(t) = \underbrace{W_1(D)x(t)}_{z_1} + \underbrace{W_2(D)x(t)}_{z_2} - \underbrace{W_1(D)W_2(D)x(t)}_{z_{1,2}} \quad (3.5)$$

Где $W_k(D) = \frac{B_k(D)}{C_k(D)}$ - операторный полином замкнутой системы отдельного канала, для комбинированного привода в первом приближении можно принять:

$$W_1(D) = \frac{1}{T_1^2 D^2 + 2\xi T_1 D + 1} \quad W_2(D) = \frac{1}{T_2 D + 1} = \frac{1}{r T_1 D + 1}$$

где $r = \frac{T_2}{T_1}$ - безразмерная величина, характеризующее отношение инерционностей основного и компенсирующих каналов.

При этом действие компенсирующего канала на переходную ошибку может быть оценено по коэффициенту компенсации переходной ошибки:

$$J(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon_1(t)} = \frac{Y(t) - x(t)}{y_1(t) - x(t)} \quad (3.6)$$

С уменьшением r переходная характеристика комбинированного привода по выходу компенсирующего канала приближается к переходной характеристике основного канала, компенсируя тем самым его запаздывание.

Четвертая глава посвящена вопросам экспериментальных исследований и практической реализации системы комбинированного привода транспортных средств.

С целью определения количественных соотношений эффективности использования НЭ в системе комбинированного привода транспортных средств в реальных условиях были проведены экспериментальные исследования на опытном образце, опробованного на автомобиле ВАЗ - 2101. В качестве нако-

питателя энергии были использованы два стандартных маховика от двигателя ВАЗ – 2101, в качестве привода дифференциальный механизм главной передачи. Схема экспериментального образца представлена на рис. 4.1.

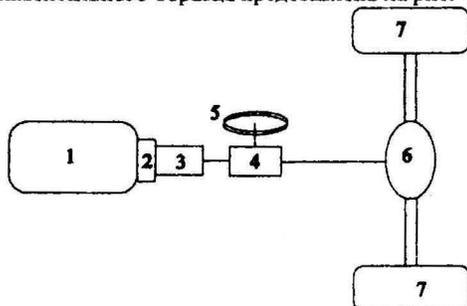


Рис. 4.1. Схема экспериментального образца

где 1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – КПД; 4 – дифференциальный механизм; 5 – накопитель (маховики); 6 – главная передача; 7 – ведущие колеса.

Эксперименты, проведенные на автомобиле, показали принципиальную применимость накопителей в системе привода автомобиля, удовлетворительные динамические характеристики, результаты которых хорошо согласуются с полученными в диссертационной работе соотношениями, что является дополнительным подтверждением достоверности последних. Сравнение результатов экспериментальных исследований и теоретических результатов представлено на графиках (рис. 4.2).

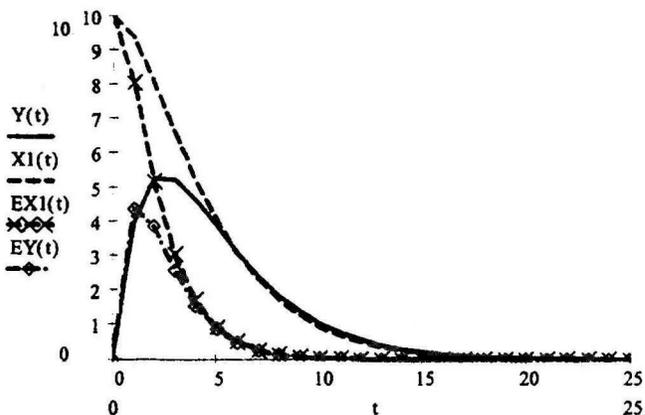


Рис. 4.2. Результаты моделирования и экспериментальных исследований

где $Y(t)$, $X1(t)$ - изменение выходных координат автомобиля и НЭ, полученные в ходе моделирования

$EY(t)$, $EX1(t)$ - изменение выходных координат автомобиля и НЭ, полученные в ходе экспериментальных исследований

Основой реализации предложенной схемы системы управления приводом транспортных средств является использование промежуточного накопления энергии и использование этой энергии для решения задачи улучшения эксплуатационных характеристик, при всех прочих равных возможностях. Накопитель энергии может располагаться как непосредственно в ЭУ, так и на других элементах конструкции.

Параметры НЭ для создания системы комбинированного привода транспортных средств, обеспечивающего эффективность использования энергии, зависят от необходимых динамических характеристик автомобиля и ограничений на массогабаритные показатели.

Произведена оценка эффективности использования НЭ в приводе на основе использования характеристики энергетической установки в координатах мощность N – эффективный расход топлива G .

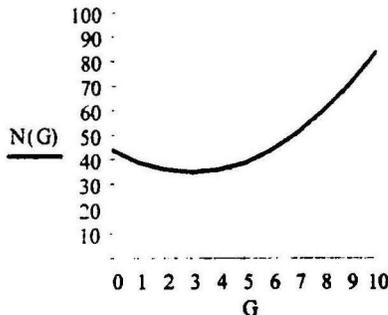


Рис. 4.3. Характеристика двигателя в координатах мощность – эффективный расход топлива

Где зависимость эффективного расхода от вырабатываемой эффективной мощности можно аппроксимировать в виде степенной функции:

$$G = kP^n \quad (4.1)$$

Общий расход топлива, затрачиваемый на движение автомобиля и заряд накопителя, можно выразить в виде

$$\langle G_{\text{зар}} \rangle = k(P_{\text{дв}} + P_{\text{зар}})^n \Delta t_{\text{зар}}$$

А расход топлива затраченного двигателем при развиваемой мощности равной $P_{\text{ком}} = P_{\text{дв}} + P_{\text{раз}}$ в виде:

$$\langle G_{\text{раз}} \rangle = k(P_{\text{дв}} + P_{\text{раз}})^n \Delta t_{\text{раз}}$$

Тогда расход топлива затраченное только на заряд накопителя будет равен:

$$\Delta \langle G_{\text{зар}} \rangle = k \left[(P_{\text{дв}} + P_{\text{зар}})^n - P_{\text{дв}}^n \right] \Delta t_{\text{зар}}$$

а количество топлива, сэкономленное в процессе разряда:

$$\Delta \langle G_{\text{раз}} \rangle = k \left[(P_{\text{дв}} + P_{\text{раз}})^n - P_{\text{дв}}^n \right] \Delta t_{\text{раз}}$$

Эффективность использования накопителя в приводе можно оценить по показателю:

$$\frac{\langle G_{raz} \rangle}{\langle G_{zar} \rangle} = \frac{\left(1 - \frac{P_{zar}}{P_{dv}}\right)^n - 1}{\left(1 - m \frac{P_{zar}}{P_{dv}}\right)^n - 1} m \quad (4.2)$$

Где $\frac{P_{raz}}{P_{zar}} = \frac{\Delta t_{zar}}{\Delta t_{raz}} = m = const$

Анализ формулы (4.2) показывает, что при $n \rightarrow \infty$, эффективность использования НЭ $\frac{\langle G_{raz} \rangle}{\langle G_{zar} \rangle} \rightarrow m$, то есть чем выше крутизна характеристики двигателя в координатах мощность – эффективный расход топлива и выше m , тем эффективнее используется накопитель.

Создание привода НЭ в системе дублирует в ряде случаев существующие системы привода транспортных средств, в связи с чем, должна быть рассмотрена возможность комплексирования различных имеющихся элементов с вновь создаваемой системой, в частности возможно использование элементов и устройств автоматических трансмиссий, широко распространенных в современных системах привода транспортных средств.

Создание системы комбинированного привода транспортных средств должно рассматриваться с учетом взаимодействия с существующими системами привода, а также с учетом параметров не только НЭ, но связанных с ним элементов – первичной ЭУ, исполнительных механизмов, преобразователей.

На основе анализа существующих систем привода транспортных средств, для детального рассмотрения были выделены следующие:

- системы привода общественных транспортных средств (автобусы, троллейбусы, трамваи и т.п.);
- транспортные средства с гибридными приводами, – такие как автомобили «Toyota Prius» фирмы «Toyota», Япония и «Audi Duo» фирмы «Audi», Германия, с параллельным приводом от ДВС и электромотора.

Предложены различные схемно-конструктивные варианты реализации подобных систем на основе полученных теоретических и экспериментальных результатов.

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертационной работе, показывающие, что в диссертационной работе решены задачи, заключающиеся в разработке методов и средств анализа функционирования системы управления приводом транспортных средств на основе стабилизации рабочих режимов энергетической установки.

Приложения содержат акты об использовании результатов диссертационной работы, подтверждающие их практическую значимость.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Исследованы вопросы улучшения эксплуатационных показателей транспортных средств, показано, что повышение эксплуатационных показателей возможно на основе достижения инвариантности совокупности выходных координат первичной энергетической установки по отношению к произвольному по времени изменению нагрузки, за счет искусственного внешнего воздействия, а в качестве источника подобного воздействия возможно использование промежуточного накопителя энергии, позволяющего стабилизировать рабочие режимы энергетической установки в области оптимальных эксплуатационных характеристик.
2. Предложена модель системы накопитель энергии - нагрузка на основе эквивалентных электрических аналогов и проведен анализ их взаимодействия, показано, что взаимодействие координат в этих системах подчиняется законам обратной связи и нагрузка проявляется как естественная отрицательная обратная связь, а нелинейность взаимодействия обусловлена наличием аддитивно – параметрического звена замыкания.
3. Предложена схема построения системы управления комбинированным приводом на основе компенсации изменения нагрузки, за счет компенсирующего элемента системы управления в виде промежуточного накопителя энергии, создающего относительно инвариантной координаты противоположное воздействие. Показано, что при этом ошибка воспроизведения входного воздействия основным энергетическим каналом является эквивалентной входной величиной компенсирующего канала, а компенсирующий канал должен иметь собственный вход и доступные измерению внутренние координаты в силовой части. Что позволяет обеспечить выполнение условий инвариантности.
4. Исследованы динамические характеристики комбинированной системы, показано, что переходные процессы в системе определяются компенсирующим каналом и установлено, что при уменьшении инерционности компенсирующего канала происходит компенсация запаздывания основного канала.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. *Урецкий Я. С., Каюмов Э.Ф.* «Импульсный метод передачи (отбора) мощности». / Сборник научных трудов 2-Международного симпозиума “Энергетика, Экология, Экономика”, Казань 1998, Т II, стр. 178-180.
2. *Урецкий Я. С., Каюмов Э.Ф.* «Использование энергии торможения для улучшения экологии и повышения экономичности транспортных средств». / Сборник научных трудов 2-Международного симпозиума “Энергетика, Экология, Экономика”, Казань 1998, Т II, стр. 240-241.
3. *Каюмов Э.Ф.* «Оптимизация преобразования и передачи энергии в системе: двигатель – трансмиссия, за счет применения промежуточных накопителей энергии». / Труды I Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера», Казань, 1999, стр 64 – 68.

4. Урецкий Я. С., Каюмов Э.Ф. «Использование энергии торможения для улучшения экономичности и экологичности транспортных средств в условиях больших городов». / Труды I Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера», Казань, 1999, стр. 129 – 130.
5. Урецкий Я. С., Каюмов Э.Ф. «Использование энергии торможения для улучшения экологичности транспортных средств в условиях больших городов»/ Труды 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности», Санкт-Петербург, 1999, с. 504-505.
6. Y. S. Uretsky, E. F. Kaumov. "Pulsed method of issue (selection) powers". / Proceedings of the 2 – nd International Symposium on Energy, Environment & Economics, Kazan, Russia, 1998, P. 222 – 224.
7. Y. S. Uretsky, E. F. Kaumov. "Use of energy of braking for improving an ecology an increase of profitability of means of transport". / Proceedings of the 2 – nd International Symposium on Energy, Environment & Economics; Kazan, Russia, 1998, P. 334 – 335.
8. E. F. Kajumov. "Optimization of transformation and transfer of energy in a system a drive - transmission, at the expense of application of intermediate accumulators of energy". / Proceedings of the first International conference "Automobile & Technosphere", Kazan, Russia, 1999, P. 39 – 40.

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Бумага газетная. Печать офсетная.
Печ. л. 1,0. Усл. печ. л. 0,93. Усл. кр.-отт. 0,93. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100. Заказ А 65.

Типография Издательства
Казанского государственного технического университета
420111, Казань, ул. К. Маркса, 10

8-00