

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М.И.КАЛИНИНА

Инженер
ЛАПОТНИКОВ Юрий Иванович

62.9.424.3;
621.436

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ СРЕДСТВАМИ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

06.22.07 – Подвижной состав и тяга поездов
(Диссертация написана на русском языке)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1975

Министерство путей сообщения

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА имени М. И. Калинина

Инженер
ЛАПОТНИКОВ Юрий Иванович

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЗНЫХ
ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов
(Диссертация написана на русском языке)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1975

НАУЧНО-
Диссертационное
университетское

6895a

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Калинина и в локомотивном депо имени С.М.Кирова (Основа) Южной ордена Ленина железной дороги .

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Тверитин В.Н.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук, профессор Кузнецов Т.Ф.,
заведующий кафедрой "Локомотивы" Харьковского
института инженеров транспорта им. С.М. Кирова,
- начальник отдела Всесоюзного научно-исследовательского
тепловозного института (ВНИТИ), кандидат технических наук Возняк В.Н.

Ведущее предприятие - Служба Локомотивного хозяйства
Южной ордена Ленина железной дороги .

Автореферат разослан 25 апреля 1975 г.

Защита диссертации состоится "5" июня 1975 г.
в 14 часов на заседании Ученого Совета Днепропетровского
института инженеров железнодорожного транспорта имени
М.И.Калинина (Днепропетровск 10, Университетская ,2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

В.Н.Плахотник

В соответствии с Директивами XXIV съезда КПСС на текущее пятилетие железнодорожному транспорту установлено задание по снижению удельных затрат энергетических ресурсов в размерах 20 %. Учитывая, что в энергетическом балансе железных дорог расходы на дизельное топливо для тяги поездов составляют около 40 %, успешность решения поставленной задачи во многом зависит от эффективности использования тепловозной тяги.

Заметные резервы повышения энергетической эффективности тепловозов связаны с совершенствованием систем автоматического регулирования дизель-генераторных установок особенно при промежуточных (наноминальных) режимах их работы. Тепловозы серии ТЭЗ, являющиеся в эксплуатации пока основными дизельными локомотивами, из-за недостатков системы регулирования не обладают стабильной мощностью промежуточных режимов, на которых в целом ряде случаев они преимущественно работают. Выпускаемые промышленностью маневровые тепловозы с электрической передачей оборудованы регулятором мощности номинального режима, который в условиях эксплуатации почти не используется. Поставляемые на железные дороги магистральные тепловозы серии 2ТЭ10Д имеют более экономичный дизель и всережимный регулятор дизель-генераторной установки. Однако экономические преимущества новых тепловозов в значительной степени практически не реализуются из-за недостаточной параметрической надежности систем регулирования.

По опубликованным данным из-за недостатков систем регулирования дизель-генераторных установок более 50% действующих тепловозов не реализуют расчетной мощности, отклонения которой достигают на номинальном режиме 10-15 %, а на промежуточных режимах увеличиваются до 60-70 %. Более того, в ряде случаев на новых тепловозах при самом тщательном выполнении статических испытаний

настройка требуемой мощности промежуточных режимов дизель-генератора оказывается невозможной.

Вопросами автоматического регулирования тепловозных дизель-генераторов и повышения их экономической эффективности занимались доктора технических наук Б.Я. Гаккель, Т.Ф. Кузнецов, А.Д. Степанов, А.Э. Симсон, А.П. Третьяков, а также кандидаты технических наук Г.В. Гладилов, А.М. Костромин, М.А. Никулин, Е.В. Платонов, К.И. Рудая, В.В. Рафаловский, В.В. Стрекопытов, Г.Н. Строков, И.Л. Щегалов и другие.

Цель диссертации. Повышения энергетической эффективности тепловозных дизель-генераторов путем получения и необходимого использования информации о фактическом расходе топлива в их системах регулирования.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи использованы аналитические и экспериментальные методы.

При исследовании тепловозных систем автоматического регулирования применен метод функционального анализа, основанный на разделении систем на элементы с существующими между ними связями.

Исследование расходных характеристик топливных насосов дизелей производилось методами численного анализа. Расходные характеристики дизельных топливных комплектов определялись при расхождении испытаний дизель-генератора путем осциллографирования его параметров с последующей обработкой полученных данных методами корреляционного и регрессионного анализа.

Стандартные и эксплуатационные испытания дизель-генераторных установок тепловозов проводились с разработанным в результате исследований устройством для измерения текущего расхода топлива дизелем.

Новизна работы. Установлено влияние детерминированной многозначности расходных характеристик дизельных топливных комплектов на нестабильность тепловозных характеристик дизелей с унифицированным регулятором, что вызывает снижение энергетической эффективности промежуточных режимов работы дизель-генераторных установок тепловозов.

Разработано устройство для получения непрерывной информации о текущем расходе топлива дизелем, на которое Государственным Комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий выдано авторское свидетельство

Разработана функциональная схема регулирования энергетической эффективности дизель-генератора, которая опробована при стендовых и эксплуатационных условиях .

Научная ценность. Предложена классификация САР дизель-генераторных установок тепловозов по информационному признаку и определен теплотехнический критерий их совершенства. Установлена степень достаточности информационной базы систем регулирования дизель-генераторов. Предложена методика аппроксимации расходных характеристик дизельных топливных комплектов и их моделирования.

Практическое значение. Опытная схема регулирования дизель-генератора Д50 с корректирующей связью по фактическому расходу топлива обеспечивает повышение эффективности отдельных его режимов до 2 % . При эксплуатационном испытании тепловоза 2ТЭ10А с подобной схемой регулирования экономия топлива составила 4,5 %.

Реализация на производстве. Схема регулирования энергетической эффективности дизель-генераторных установок тепловозов рекомендована Техническим советом отдела тепловозов и дизель-поездов ЦТ МПС для внедрения. Использование устройства для измерения расхода топлива дизелем предусмотрено планом внедрения

новой техники на Одесско-Кишиневской железной дороге в 1975 году.

Содержание и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов и предложений, списка литературы и приложений.

В первой главе проведено исследование основных направлений развития тепловозных систем регулирования, рассмотрены методы их классификации и определены условия повышения эффективности действия дизель-генераторных установок тепловозов.

В результате функционального анализа серийных и опытных систем регулирования тепловозов, опробованных на отечественных железных дорогах за последние 25 лет, составлена логическая модель их развития, позволяющая представить разнообразие принципов построения систем в наиболее обобщаемой форме. Подобный логический анализ свидетельствует о том, что при регулировании дизель-генераторных установок тепловозов преобладает тенденция применения многомерных автоматических систем, отличающихся наличием нескольких регулирующих контуров

В связи с этим существующие методы их классификации недостаточно полно отражают разнообразие принципов регулирования и создают затруднения при анализе тепловозных автоматических систем. Более объективным в данном случае является информационный признак классификации, при котором разделение систем на группы производится в зависимости от распределения рабочей информации между регулируемыми контурами. В предложенной схеме классификации тепловозные системы регулирования разделяются по числу контуров на одномерные и многомерные. Одномерные системы называются многомерными при использовании в одном контуре нескольких источников информации. Класс многомерных систем разделяется на группы несвязанного и связанного регулирования в зависимости от нали-

чия внешних корректирующих связей между отдельными контурами.

Является примечательным, что начало широкого распространения тепловозной тяги на наших железных дорогах связано с применением многомерной системы регулирования дизель-генераторов. Правда, это регулирование было несвязанным и обладало недостатками, волею судьбы, чего вскоре появилось несколько конструкций одномерной многоосвязной системы, одна из которых использована на тепловозах серии ТЭЗ для номинального режима в сочетании с несвязанным регулированием промежуточных режимов. Тем не менее дальнейшего распространения одномерные системы не получили. На последующих тепловозах, в том числе серий 2ТЭ10Д и ТЭ11Б, применяется многомерная система связанного регулирования дизель-генератора, отличающаяся наличием корректирующей связи между контурами дизеля и генератора, осуществляемой с помощью электрогидравлического регулятора нагрузки.

Наряду с подобной эволюцией принципов произошла значительная модернизация и реконструкция технических средств тепловозной автоматики. Основная тенденция совершенствования последних сводится к применению бесконтактных магнито-полупроводниковых элементов, что значительно повышает быстродействие и безотказность автоматических систем. Однако техническая реконструкция тепловозной автоматики привела к увеличению количества взаимосвязанных аппаратов и цепей, условия работы которых в ряде случаев осложняются отсутствием на тепловозах совершенных источников энергообеспечения магнито-полупроводниковых устройств. В результате этого несколько уменьшилась параметрическая надежность автоматических систем, что по мере увеличения управляемых мощностей приводит к существенному снижению энергетической эффективности дизель-генераторов.

Экономические качества тепловозной силовой установки в основном определяются величиной коэффициента полезного действия

дизеля. Однако, как уже отмечалось исследованиями Г.В.Гладилова, к.п.д. дизеля не отражает в полной мере эффективности действия силовой установки в целом, так как часть эффективной мощности дизеля расходуется на собственные нужды и потери дизель-генераторной установки.

Преобразование известного уравнения баланса вращающих моментов или мощностей, приведенных к валу дизель-генератора, позволяет любое его установившееся состояние характеризовать соотношением

$$K_e = \eta_e \eta_p \eta_r = g_r \frac{P_r}{Q} \quad (I),$$

где K_e - коэффициент эффективности дизель-генератора
 η_e - эффективный к.п.д. дизеля;
 η_p - коэффициент реализации эффективной мощности дизеля,
 η_r - коэффициент полезного действия генератора;
 g_r - удельный теоретический расход топлива, $\frac{r}{\text{кВт, мин}}$
 P_r - эффективная мощность генератора, кВт;
 Q - минутный расход топлива дизелем, г/мин.

Таким образом, энергетическая эффективность каждого состояния дизель-генератора определяется соотношением мощности генератора и минутного расхода топлива дизелем, а реализуемый K_e может служить единым теплотехническим критерием совершенства конструкции и системы регулирования дизель-генератора. В связи с этим методически удобна трехразмерная характеристика вида $K_e = f(N_e, \bar{n})$, представляющая совокупность кривых, каждая из которых является геометрическим местом состояний дизель-генератора с постоянной величиной коэффициента K_e при различной эффективной мощности дизеля N_e и относительной угловой скорости его вала \bar{n} .

В условиях эксплуатации тепловозная силовая установка подвержена влиянию разнообразных возмущающих воздействий, изменяющих ее энергетическое состояние. И только система автоматического регулирования способна придать этим изменениям желаемую определенность. Реализация оптимального регулирования дизель-генераторной установки с целью повышения ее энергетической эффективности в значительной степени зависит от информационной базы автоматической системы. Вследствие того, что получаемая непосредственно измерительная информация не характеризует состояния дизель-генератора, нашли распространение косвенные методы получения дополнительных сведений о его состоянии. К ним относятся внесение в систему априорной информации извне, использование заменяющих регулируемых величин и применение функциональных преобразователей.

На серийных тепловозах с объединенным регулятором для получения дополнительной информации о состоянии дизель-генератора применяется селективный функциональный преобразователь изменений тока и напряжения генератора в сочетании с использованием перемещений топливорагулирующих органов дизеля в качестве корректирующей связи системы регулирования. Однако на этих тепловозах наблюдается неустойчивость тепловозной характеристики дизеля. После настройки номинального режима мощность генератора на промежуточных режимах оказывается в ряде случаев ниже расчетной. Рабочий диапазон регулятора нагрузки ограничен и является недостаточным для компенсации возмущающих воздействий дизель-генератора. Практически система не обеспечивает автоматического регулирования мощности ниже 10-го положения контроллера.

Подобные недостатки системы объединенного регулирования в значительной степени объясняются несовершенством ее информационной базы. Характер уравнения (I) свидетельствует о том, что для

определения состояния дизель-генератора и, следовательно, построения его системы регулирования следует считать необходимым сочетание трех координат - тока нагрузки генератора, минутного расхода топлива дизелем и угловой скорости вращения его вала или двух обобщающих координат - мощности генератора и минутного расхода топлива дизелем. Поэтому разработка способа получения информации о фактическом расходе топлива дизелем с целью ее использования в тепловозных системах регулирования является актуальной.

Во второй главе представлена методика аппроксимации расходной характеристики топливного комплекта тепловозного дизеля, изложены результаты исследования информационного содержания перемещений его регулирующих органов и произведена разработка способа получения рабочей информации о расходе топлива дизелем.

Вследствие того, что астатический регулятор дизеля реагирует на любые изменения нагрузки и возмущений силовой установки, перемещения его топливорегулирующих органов обладают информационным содержанием. Однако воздействие регулятора на работу дизеля происходит через топливные насосы, которые в зависимости от положения реек изменяют расход топлива и, следовательно, энергетическое состояние дизель-генератора.

Минутный расход топлива дизелем выражается зависимостью

$$q = \frac{2\pi}{\tau} \sum_{i=1}^z B_i \quad (2),$$

где π - число оборотов вала дизеля, об/мин ;

τ - его тактность ;

$\sum_{i=1}^z B_i$ - суммарная цикловая подача топлива, г/цикл ;

z - число топливных насосов дизеля .

При цикличности работы и централизованном приводе топливный комплект дизеля может рассматриваться в качестве эквивалентного

топливного насоса, расходная характеристика которого складывается из характеристик отдельных насосов.

Исследования д.т.н. Т.Ф.Кузнецова, В.Ф.Боброва, Н.Н.Пономарева и др. авторов показали, что характеристики тепловозных топливных насосов высокого давления при совместной работе с форсунками закрытого типа обладают закономерной гидродинамической многозначностью. Это явление приводит к тому, что при одном и том же положении рейки увеличения числа оборотов вала привода уменьшает большую цикловую подачу насоса и, наоборот, увеличивает малую. В результате расходная характеристика насоса представляется семейством пересекающихся линий, каждая из которых соответствует определенному числу оборотов вала. Исследованиями А.Н.Ильина выяснено, что изменение плотности плунжерной пары в установленных пределах практически не влияет на характеристику насоса. Вместе с этим по Р.К.Гизатуллин технологический разброс угла наклона отсечной кромки плунжера и различная длина нагнетательного трубопровода изменяют расходную характеристику насоса и она приобретает определенность при рассмотрении каждой топливной группы (насос, трубопровод, форсунка) в отдельности. На характеристику топливного комплекта также оказывает влияние существующая технология регулирования дизеля.

Исследование стендовых расходных характеристик топливных насосов типов Д50 и Д100 методами численного анализа показало, что в диапазоне цикловых подач, соответствующих работе дизеля под нагрузкой, любая из них с достаточной точностью аппроксимируется семейством пересекающихся в одной точке прямых линий, каждая из которых принадлежит определенному положению контроллера и выражается уравнением

$$B_x = a_x h + b_x \quad (3)$$

где B_x - цикловая подача насоса, г/цикл;
 h - координата положения рейки, мм;
 a_x - угловой коэффициент, г/цикл.мм;
 b_x - коэффициент смещения, г/цикл;
 x - положение контроллера управления

При этом мер коэффициентами уравнений и числом оборотов вала n_x существуют линейные зависимости вида

$$a_x = a_k + (a_1 - a_k) \frac{n_k - n_x}{n_k - n_1} \quad (4),$$

$$b_x = b_k - (b_k - b_1) \frac{n_k - n_x}{n_k - n_1} \quad (5)$$

где a_k, b_k - коэффициенты уравнения для верхнего граничного положения контроллера;

a_1, b_1 - то же для нижнего граничного положения контроллера;

n_k, n_1 - число оборотов вала соответственно для верхнего и нижнего граничных положений контроллера

Расходная характеристика дизельного топливного комплекта аппроксимируется аналогичным образом.

$$\sum_1^z B_i = A_k h + B_k \quad (6)$$

где

$$A_k = \sum_1^z a_i; \quad B_k = \sum_1^z b_i \quad \text{и} \quad z - \text{число топливных насосов дизеля.}$$

В преобразованном виде уравнение расходной характеристики топливного комплекта представляется

$$\sum_1^z B_i = A_k (h + H_k) \quad (7),$$

где A_k - угловой коэффициент характеристики, г/цикл.мин ;
 H_k - координата ее геометрического начала, мм .

Тогда, в соответствии с выражением (2), минутный расход топлива дизелем

$$q = \frac{\tau}{2} A_k (h + H_k) n_k \quad (8)$$

где связь коэффициента A_k с числом оборотов вала является отрицательной, а для координаты H_k такая связь положительна.

Аналитическое исследование расходных характеристик реальных топливных комплектов типов Д50 и Д100 показало, что при стабильном энергетическом состоянии дизеля с уменьшением числа оборотов вала удельная энергетическая значимость координаты регулирующего органа топливного комплекта $\frac{q}{h}$ нелинейно убывает, а сама координата h также нелинейно возрастает. Подобная детерминированная многозначность перемещений регулирующих органов дизеля вносит искажения в их информационное содержание, что при существующей конструкции регулятора нагрузки неблагоприятно сказывается на эффективности промежуточных режимов дизель-генераторов. Снижение энергетической значимости перемещений топливорегулирующих органов дизеля на промежуточных режимах воспринимается корректирующей связью системы как дополнительное увеличение нагрузки на дизель, вследствие чего мощность генератора снижается. Разнообразие расходных характеристик дизелей приводит к разной степени подосаженного снижения мощности, что вызывает значительную неустойчивость тепловосной характеристики и в ряде случаев невозможность ее настройки. Кроме того, детерминированная многозначность координаты регулирующих органов дизеля сокращает и без этого ограниченный диапазон действия корректирующей связи систем регулирования. В результате она не может в полной мере реагировать на возмущения

воздействия дизель-генератора, то-есть теряет информационное содержание.

Для устранения подобного явления представляется целесообразным изменение информационного содержания корректирующей связи систем объединенного регулирования путем функционального преобразования перемещений регулирующих органов дизеля в рабочую информацию о расходе топлива на основе непрерывного моделирования уравнения (8) при работе дизеля

Исследование и разработка способа получения информации о расходе топлива выполнены на действующей дизель-генераторной установке типа Д50. Мгновенный расход топлива дизелем при экспериментах определялся путем осциллографирования продолжительности опята и взвешивания израсходованного при этом топлива с помощью топливомера РИИЖТ"а, оборудованного электрическим сигнальным устройством. Для определения числа оборотов вала производилось параллельное осциллографирование сигналов индуктивного отметчика оборотов и отметчика времени типа ПЮ4. Перемещения топливорегулирующих органов дизеля измерялись специально изготовленным дифференциальным индуктивным датчиком, якорь которого через микрометрический разъем соединяется с рейкой одной из топливных секций. Измеренные величины регистрировались с помощью осциллографа типа Н700.

На первом этапе исследования расходная характеристика одного и того же топливного комплекта опытного дизеля получена аналитическим и экспериментальным методами.

Аналитический метод состоит в получении и математическом выражении стандартных характеристик каждого насоса, преобразовании оставленных уравнений после регулировки дизеля и последующего суммирования преобразованных уравнений. Экспериментальным путем эта же расходная характеристика получается непосредственно на

работающем дизеле. посредством осциллографирования определенных параметров установившихся режимов дизель-генератора и последующей обработки полученных данных методами корреляционного и регрессионного анализа.

В результате первого этапа достигнута довольно высокая сходимость значений коэффициентов A_K и соответственно B_K уравнений расчетной и экспериментальной характеристик одного и того же дизельного топливного комплекта, что свидетельствует о достоверности предложенного метода их аппроксимации.

На втором этапе исследования определен порядок моделирования зависимости (8), которая в тождественной форме выражается линейной регрессией с изменяемыми при каждом положении контроллера параметрами

$$q \equiv a_1 h + a_0 \quad (9),$$

где A_1 - угловой коэффициент регрессии, равный $A_K n$;
 A_0 - свободный член регрессии, равный $A_K h_K n$

Сущность способа получения информации о расходе топлива дизелем заключается в следующем. После установки и регулирования топливных насосов во время реостатного испытания дизель-генератора при каждом граничном положении контроллера (номинальном и минимальном) для двух различных по мощности установившихся режимов нагрузки определяется минутный расход топлива дизелем q измеряется число оборотов вала n и перемещение регулирующего органа (реек) от положения нулевой подачи h . Параметры регрессий расходной характеристики дизельного топливного комплекта при граничных положениях контроллера вычисляются по формулам

$$A_K = \frac{q_2 - q_1}{n(h_2 - h_1)} \quad (10),$$

$$H_K = \frac{q_1 h_2 - q_2 h_1}{q_2 - q_1} \quad (II),$$

где q_1 и h_1 - минутный расход топлива и координата регулирующего органа при меньшей нагрузке дизеля;

q_2 и h_2 - то же при большей нагрузке дизеля.

Для определения параметров регрессии при промежуточных положениях контроллера оказывается достаточным равномерное распределение разностей соответствующих параметров при граничных положениях.

Тогда при условии выполнения определенных корректировочных операций произведение измеренного числа оборотов вала дизеля и координаты его топливрегулирующих органов представляет однозначную информацию о расходе топлива дизелем в пределах всего скоростного диапазона. Корректировочные операции выполняются при каждом изменении положения контроллера и состоят в переносе начала отчета координат регулирующих органов дизеля на величину H_K с учетом ее знака и установке масштаба измерения этих координат в соответствии с величиной A_K

Практическая проверка на действующий дизель-генераторной установке показала, что полученная таким способом информация с достаточной степенью надежности связана положительной линейной зависимостью с минутным расходом топлива дизелем при различных режимах его нагрузки.

В третьей главе разработаны и экспериментально проверены функциональная схема регулирования эффективности тепловых дизель-генераторов и конструкция автоматической системы для получения непрерывной информации о расходе топлива дизелем, представлены результаты исследований и определен экономический эффект их реализации.

68959

На рис. I приведена предложенная функциональная схема регулирования дизель-генераторов, основанная на использовании трех координат состояния - тока нагрузки генератора, минутного расхода топлива дизелем и числа оборотов его вала. В отличие от существующих схем регулирования корректирующая связь между контурами дизеля и генератора осуществляется не по координате топливорегулирующих органов дизеля, а по величине фактического минутного расхода топлива. Кроме того, контур генератора является разомкнутым, так как регулирование в нем производится только по току нагрузки. Изменение информационного содержания корректирующей связи полностью исключает неблагоприятное влияние на работу системы детерминированной многозначности перемещений регулирующих органов дизеля. Кроме того, все действия обеспечиваются стабилизацией отношения мощности генератора и минутного расхода топлива дизелем, которое в соответствии с уравнением (I) определяет энергетическую эффективность дизель-генераторной установки. Формирование тепловозной характеристики дизеля производится задающими устройствами системы.

Для реализации подобной функциональной схемы регулирования, на основе изложенного во второй главе способа, разработана конструкция автоматической системы для получения информации о расходе топлива дизелем, принципиальная схема которой приведена на рис. 2. Основным узлом схемы является блок диодных преобразователей БД, обеспечивающий моделирование расходной характеристики дизельного топливного комплекта. Он состоит из диода Д, подключенного через выпрямительный мост ВМ₁ к выходу индуктивного датчика перемещений регулирующих органов ИД, источника опорного напряжения П и двух групп сопротивлений, которые переключаются приводом от вала контроллера с помощью двухдиапазонного переключателя ИПП.

Индуктивный датчик перемещений ИД преобразует координату

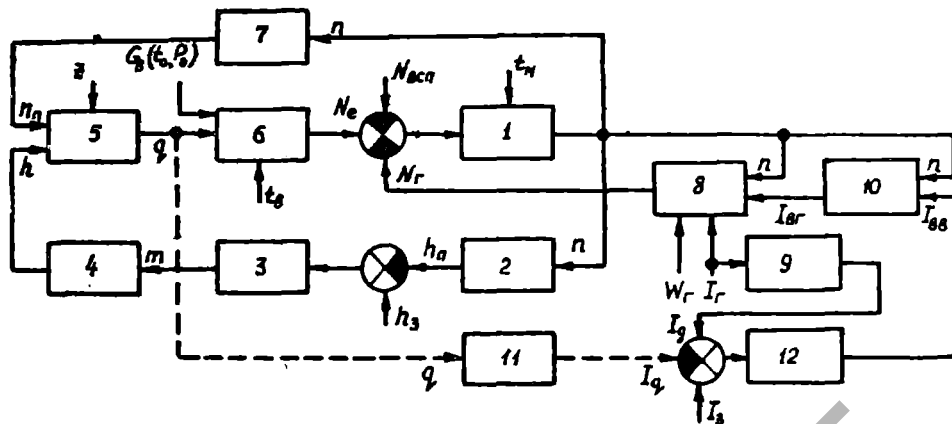


Рис.1 Функциональная схема регулирования эффективности тепловозных дизель-генераторов.

Элементы: 1-движущий механизм дизеля; 2-измерительный элемент регулятора; 3-исполнительный элемент регулятора с обратной связью; 4-механизм управления топливным комплектом; 5-топливный комплект дизеля; 6-рабочий механизм дизеля; 7-привод топливного комплекта; 8-генератор; 9-трансформатор постоянного тока; 10-возбудитель; 11-устройство корректирующей связи; 12-амплистат.

Связи: n -число оборотов вала; n_n -число оборотов вала привода; N_e -эффективная мощность дизеля; N_g -приведенная мощность генератора; h_n -перемещение плунжера; m -перемещение штока сервомотора; h_w -перемещение рейки топливного комплекта; q -минутный расход топлива дизелем; I_g -сигнал корректирующей связи; I_3 -сигнал тока нагрузки; I_{gg} -ток возбуждения возбудителя; I_g -ток возбуждения генератора

Внешние воздействия: $G_s(t, P)$ -весовой воздушный заряд цилиндров; N -приведенная мощность вспомогательных нагрузок; t_w -температура воды; t_n -температура масла; W_g -возмущения генератора; I_g -ток генератора; h_3 -задающее воздействие регулятора; I_3 -задающее воздействие системы

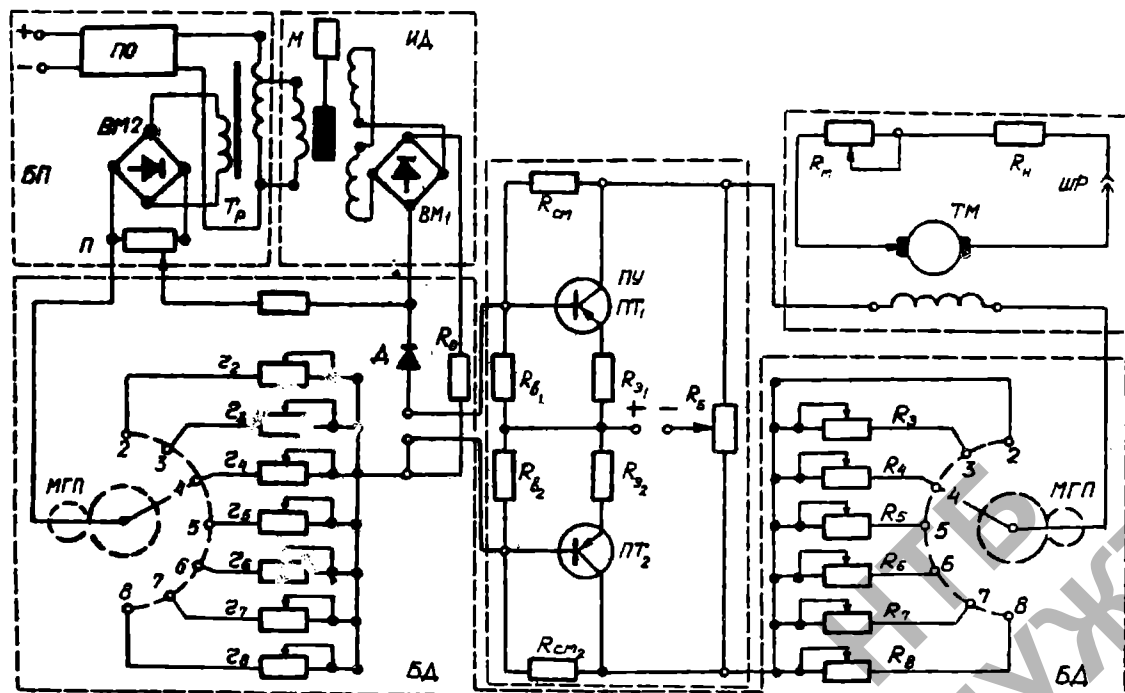


Рис.2 Принципиальная схема автоматической системы для получения информации о расходе топлива дизелем.

ИД-индуктивный датчик пер.мещений; БД-блок диодных преобразователей; ПУ-полупроводниковый усилитель; ТМ-тахометрическое множительное устройство; БП-блок питания.

регулирующих органов дизеля в электрическое напряжение, приложенное к диоду Д в проводящем направлении. Открытие диода зависит от величины включенного сопротивления Z (с индексом) и происходит при перемещении регулирующих органов на величину координаты начала расходной характеристики топливного комплекта H_K . Приведенное к новому началу координат напряжение индуктивного датчика через балансный каскад поступает в выходную цепь блока диодных преобразователей, где величиной сопротивления R (с индексом) обеспечивается подобие угловых коэффициентов вольтамперной характеристики блока и расходной характеристики топливного комплекта A_K . Пропорциональный ординатам этой характеристики ток создает возбуждение тахометрического устройства, выходным напряжением которого в соответствии с уравнением (8) моделируется величина минутного расхода топлива дизелем.

Настройка схемы производится по разработанной автором методике при реостатном испытании дизель-генераторной установки и заключается в установке необходимой величины сопротивлений Z и R , а также положения микрометрического разьема M' .

Испытание отдельно взятой информационной системы показало, что она обладает достаточной статической точностью и обеспечивает получение непрерывной однозначной информации о расходе топлива дизелем. Весьма благоприятными оказались также динамические качества устройства.

Для испытания устройства в качестве корректирующей связи на основе предложенной функциональной схемы (рис. I) первоначально была осуществлена опытная схема регулирования стандовой дизель-генераторной установки типа Д50. При этом регулирование генератора производилось через промежуточный возбудитель типа МВТ 25/9 при отключенной дифференциальной обмотке с помощью магнитного

усилителя типа УМІ-П .

Экспериментальное исследование подтвердило существенные преимущества подобного способа регулирования дизель-генераторной установки.

Опытная схема обеспечивает стабильность установленной тепловозной характеристики дизеля. Вследствие постоянства энергетической значимости сигнала корректирующей связи не наблюдается снижения установленной мощности генератора на промежуточных режимах, свойственное существующим системам объединенного регулирования. Регулирование мощности генератора по нагрузочной характеристике за счет действия корректирующей связи по расходу топлива также улучшается. В частности при серийной тепловозной характеристике дизеля Д50 корректирующая связь системы создает увеличение мощности генератора на всех положениях контроллера в диапазоне токов нагрузки менее 800 ампер до 4 % , что повышает коэффициент эффективности дизель-генераторной установки на 1-2 % . Замкнутый контур регулирования дизель-генераторной установки исключает понижение эффективности ее действия из-за нагревания обмоток и гистерезиса магнитной цепи генератора, а также при отключении вспомогательных нагрузок и влиянии других возмущающих воздействий. При этом диапазон регулирования, в отличие от серийной объединенной системы, является достаточным . Вместе с этим высокое быстродействие корректирующей связи при разомкнутом контуре регулирования генератора не вызывает ухудшения динамических качеств системы.

Предложенный способ регулирования энергетической эффективности дизель-генераторов испытан также на тепловозе серии 2ТЭ10Л в локомотивном депо им.С.М.Кирова (Основа) Южной железной дороги. Вместо электрогидравлического регулятора нагрузки в цепь регулировочной обмотки включены дополнительные устройства согласно

представленной на рис.3 исполнительной схемы. Индуктивный датчик ИД установлен на блоке дизеля, а его якорь при помощи поводка соединен с тягой управления топливными насосами. Пареклюатель МП закреплен на нижнем торце контроллера машиниста и получает привод от его вала с помощью зубчатой пары. При питании задающей обмотки амплистата от тахометрического блока БТ в качестве множительного устройства ТМ использован свободный тахогенератор агрегата А705А. С целью увеличения мощности выходного сигнала в составе блока БД применен промежуточный магнитный усилитель. Для снижения потребляемых ампервитков задающей обмотки амплистата в цепь регулировочной обмотки включено устройство отрицательной связи ОС, выполненное на полупроводниковом триоде в режиме регулируемого сопротивления. Кроме того, на сопротивление СОЗ, шунтируемое блокировкой РУ4, установлен регулировочный хомутик Р, который используется для настройки мощности генератора на 12-15 положениях контроллера. Для замыкания цепи регулировочной обмотки применено дополнительное реле РУ5. Работоспособность и поездажные испытания дизель-генераторной установки опытного тепловоза 2ТЭ10М № 878Б подтвердили работоспособность такой схемы регулирования. По результатам опытных поездок с графиковыми поездами экономия топлива на тепловозе составила 4,5 % от норм.

Таким образом, функциональная схема регулирования дизель-генераторов, основанная на изменении информационного содержания корректирующей связи системы повышает энергетическую эффективность силовых установок тепловозов. В работе показано, что предложенный способ получения и использования информации о расходе топлива является универсальным и применим для различных типов дизель-генераторов. Реализация предложенного способа предусматривает возможность использования существующих тепловозных агрегатов и узлов. В частности,

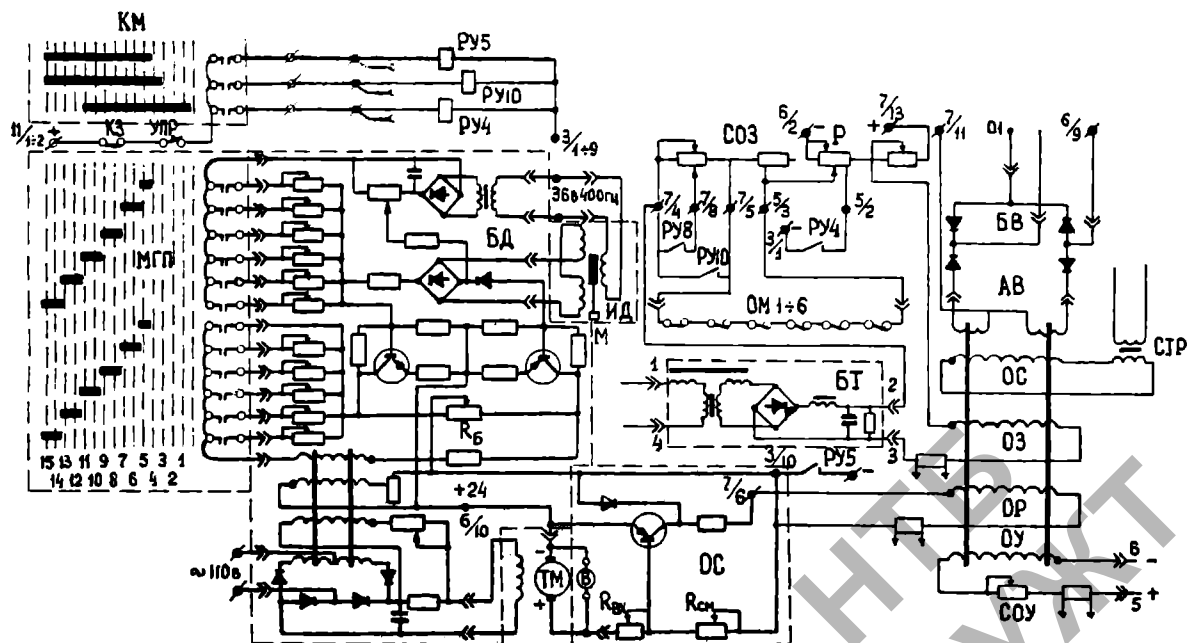


Рис.3. Схема питания обмоток амплистата при регулировании энергетической эффективности дизель-генераторной установки тепловоза 2ТЭ10Л.

ИД-индуктивный датчик перемещений; БД-блок преобразования; МГП-двухдиапазонный переключатель; ТМ-тахометрическое множительное устройство; ОУ-устройство отрицательной обратной связи.

при его практическом осуществлении на тепловозах 2ТЭ10М используются машины и аппараты цепей возбуждения серийной электрической схемы .

Экономический эффект от реализации результатов настоящей работы предопределяется сущностью предлагаемого способа регулирования тепловозных дизель-генераторов, который

а) учитывает индивидуальность расходных характеристик каждого дизеля ;

б) обладает мобильностью при настройке тепловозных характеристик различных дизелей ;

в) повышает параметрическую надежность регулирования дизель-генераторов ;

г) обеспечивает стабилизацию энергетической эффективности каждого их режима.

Расчитанный по методу сравнения удельных расходов топлива при серийной и опытной схеме регулирования дизель-генератора типа Д50 экономический эффект составляет 440 тно.руб. на 1000 тепловозов серии ТЭМ1 .

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Основным направлением современного развития автоматического регулирования тепловозных дизель-генераторов наряду с широким использованием бесконтактных магнито-полупроводниковых технических средств является применение многомерных систем связанного регулирования, повышающих эффективность использования тепловой тяги .

2. Логика построения и основные свойства систем регулирования дизель-генераторных установок тепловозов наиболее полно и объективно отражаются классификацией САР по информационному признаку, при котором разделение их на группы производится с учетом характера распределения рабочей информации между регулирующими контурами

3. Энергетическая эффективность дизель-генераторных установок тепловозов определяется фактическим соотношением мощности генератора и минутного расхода топлива дизелем по тепловозной характеристике, а реализуемый при этом коэффициент эффективности может служить единым теплотехническим критерием совершенства конструкции и системы регулирования дизель-генератора.

4. Одной из причин понижения энергетической эффективности промежуточных режимов тепловозных силовых установок является недостаточность информационной базы систем регулирования дизель-генераторов. Степень ее главной достаточности определяется сочетанием трех координат состояния - тока нагрузки генератора, минутного расхода топлива дизелем и угловой скорости вращения вала или двух обобщенных координат - мощности генератора и минутного расхода топлива дизелем.

5. Расходные характеристики дизельных топливных комплектов плунжерного типа с золотниковым управлением обладают гидродинамической многозначностью, отличаются разнообразием и в преобладающем диапазоне цикловых подач любая из них с достаточной точностью аппроксимируется совокупностью линейных однопараметрических регрессий, соответствующих отдельным положениям контроллера

6. Информационное содержание перемещений топливорегулирующих органов дизеля в значительной мере искажается их детерминированной многозначностью, которая выражается в уменьшении удельной энерге-

тической значимости перемещений при снижении угловой скорости вала. Вследствие этого на тепловозах с объединенным регулятором наблюдается неустойчивость тепловозных характеристик отдельных дизелей и пониженная энергетическая эффективность промежуточных режимов работы дизель-генераторных установок

7. Разработан метод функционального преобразования перемещений регулирующих органов дизеля и угловой скорости вала в рабочую информацию о минутном расходе топлива, основанный на аппроксимация реальной расходной характеристики дизельного топливного комплекта и ее моделировании.

8. Разработано аналоговое автоматическое устройство для получения непрерывной информации о величине фактического минутного расхода топлива тепловозным дизелем, на которое Государственным Комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий выдано авторское свидетельство

9. Разработана функциональная схема регулирования энергетической эффективности дизель-генератора, отличающаяся устройством корректирующей связи между контурами дизеля и генератора по величине фактического минутного расхода топлива, применением разомкнутого контура регулирования генератора и использованием отдельного блока задания для получения тепловозной характеристики дизеля.

10. Экспериментальная проверка практических рекомендаций работы, произведенная на стандовой дизель-генераторной установке типа Д50, а также на тепловозе 2ТЭ10Л в эксплуатационных условиях показала, что предложенный способ регулирования дизель-генераторов с использованием корректирующей связи системы по расходу топлива обладает существенными преимуществами, повышающими энергетическую эффективность силовой установки тепловоза, а именно

а) постоянство удельной энергетической значимости связи гарантирует стабильность установленной тепловозной характеристики дизеля ;

б) расширение диапазона ее действия обеспечивает гиперболический характер внешней характеристики генератора на всех режимах работы и создает компенсацию возмущающих воздействий дизель-генераторной установки ;

в) достаточное быстродействие корректирующей связи уменьшает снижение энергетической эффективности дизель-генератора при переходных режимах, не вызывая их неблагоприятного характера .

В частности, опытная схема регулирования дизель-генератора типа Д50 при серийной тепловозной характеристике за счет действия корректирующей связи по расходу топлива создает увеличение мощности отдельных режимов генератора в диапазоне токов нагрузки менее 600 ампер до 4 %, что повышает коэффициент эффективности дизель-генераторной установки до 2 % . По результатам опытных поездок с поездами на тепловозе 2ТЭ10Л № 678Б, оборудованном предложенной схемой, экономия топлива составила 4.5 % .

II. Показана универсальность исследований и целесообразность применения предложенного способа регулирования дизель-генераторов на тепловозах различных серий.

12. Экономический эффект от реализации результатов исследований только на маневровых тепловозах составляет в течение года 440 тыс.руб. на 1000 тепловозов ТЭМ1.

Диссертация содержит 147 стр. основного текста и таблиц, 70 стр. рисунков и 68 стр. приложений. Перечень использованной литературы содержит 77 наименований

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ АВТОРА, ОТРАЖАЮЩИХ СОДЕРЖАНИЕ
ДИССЕРТАЦИИ**

1. Условия повышения эффективности использования тепловозов с электромашинным возбуждением. Труды ДИИТа, вып.121 «Повышение эффективности работы тепловозов», Днепропетровск, 1971

2. Связь перемещений исполнительного органа регулятора дизеля и отдельных параметров силовой установки тепловоза. Труды ДИИТа, вып.137 «Вопросы эксплуатации и ремонта локомотивов». Днепропетровск, 1971

3. О классификации систем регулирования мощности тепловозных дизель-генераторов. Труды ДИИТа, вып.141 «Повышение эффективности работы тепловоза». Днепропетровск, 1972.

4. Метод теплотехнической оценки эффективности тепловозных дизель-генераторов. Тезисы докладов на Всесоюзной сетевой школе по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на железнодорожном транспорте в г.Волгограде. ЦНТО, ЦТ МПС Москва, 1973 .

5. Условия повышения эффективности тепловозных дизель-генераторов. Труды ДИИТа, вып.156, Днепропетровск, 1974

6. Устройство для измерения расхода топлива дизелем. Авторское свидетельство на изобретение № 459676. Официальный бюллетень Государственного Комитета Совета Министров СССР по делам изобретений № 5, 1975 .

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ДОКЛАДЫВАЛИСЬ НА

1. Всесоюзной сетевой школе по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на железнодорожном транспорте. Волгоград, 1973

2. Техническом Совете отдела тепловозов и дизель-поездов ЦТ

МПС, Москва, 1973 .

3. Научно-технических конференциях ДНУТА с участием инженерно-технических работников Приднестровской ж.д. (апрель 1970 г., декабрь 1972 г., февраль 1974 г.) .

БТ 20109. Подписано к печати 17.IV.75г.

Объем 1,3 уч.-изд.л. Заказ № 238. Тираж 150 экз. ДНУТ, ротационт.
320629 ГСП, г.Днепропетровск, 10, ул.Университетская, 2.