

У  
СІДНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

АЛЬ-АВАР ІССАМ САЛІМ

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ  
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ  
РЕГУЛЮВАННЯМ СИСТЕМ ПАЛИВО- ТА ПОВІТР'ЯНОСТАЧАННЯ

Спеціальність 05.22.07 - Рухомий склад залізниць  
і тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Луганськ - 1997



629.4  
629.424

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрах "Двигуни внутрішнього згоряння" і "Локомотивобудування" Східноукраїнського державного університету.

Наукові керівники: Заслужений діяч науки і техніки України,  
доктор технічних наук,  
професор **О.Г. РИВАЛЬ'ЯНКО**

Науковий консультант: кандидат технічних наук  
доцент **В.А. СЛАЩОВ**

Офіційні опоненти: Доктор технічних наук,  
професор **А.П. КУДРЯШ**  
кандидат технічних наук,  
доцент **В.В. СТАВИЦЬКИЙ**

Провідна організація: Державна холдінгова  
компанія "Луганськстепловоз"

Захист відбудеться "12" березня 1997 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої ради Д 18.02.01 при Східноукраїнському державному університеті за адресою: 348034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, буд. 20а, корпус 1, конференц-зал музею СУДУ.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Східноукраїнського державного університету за адресою: 348034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, буд. 20а.

Автореферат розісланий "10" лютого 1997 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

**В. І. ОСЕНТІН**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ, АКТУАЛЬНОСТІ І СТУПЕНЯ ДОСЛІДЖЕНОСТІ ТЕМАТИКИ

Удосконалення економічних, екологічних і тягових характеристик силових установок рейкового транспорту нерозривно зв'язано з розвитком засобів автоматики. Особливу актуальність цей напрямок робіт набуває при експлуатації рухомого складу в порівняно швидко змінюючихся кліматичних умовах.

Як силові установки рухомого складу залізниць використовуються головним чином двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), що працюють як на важких, так і на легких фракціях нафти. Це є двигуни тепловозів та інших мобільних установок залізниць.

Серед напрямку покращення показників тепловозних двигунів найбільш ефективним слід признати комплексне застосування автоматичних систем регулювання рециркуляції відпрацьованих газів і максимальної паливоподачі в залежності від режимів роботи і конкретних кліматичних умов.

Рециркуляція відпрацьованих газів (ВГ) є ефективним засобом зниження викидів NOx. При експлуатації дизелів в умовах знижених температур впровадження рециркуляції пошвидшує прогрівання двигуна, надає можливості для зниження частоти обертів вала двигуна у режимі холостого ходу, що для тепловозних дизелів є завжди актуальним з позиції зниження середньоексплуатаційної витрати палива і підвищення ресурса силової установки. При цьому важливо вибрати для кожного режиму тепловозного дизеля свій оптимальний спупінь рециркуляції. Логічним пляхом вирішення цієї задачі є застосування системи автоматичного регулювання оптимального ступеню рециркуляції ВГ на кожному режимі роботи силової установки.

Необхідність обмеження циклової подчі палива при роботі тепловозних дизелів в умовах змінних тиску і температури навколишнього середовища викликана неприпустимим підвищенням температури, димлінням і перепалом палива з-за зниження густоти повітряного заряду у циліндрі і, як наслідок, зменшення значення коефіцієнта надміру повітря нижче граничного. В разі встановлення жорсткого обмеження максимальної паливоподачі буде мати місце зниження техніко-економічних показників дизеля з-за недовикористання пстужності. При використанні наддуву

відмічена закономірність має більш явно виражений характер і необхідність у гнучкому обмеженні циклової подачі палива зростає. Тому використання адаптивних до кліматичних умов коректорів максимальної подачі палива є актуальним. В цьому відношенні для двигунів, що використовують легке паливо, ефективним є розширення області економічних режимів роботи на побідненій суміші.

### МЕТА І ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є вдосконалення експлуатаційних показників двигунів тепловозів та інших транспортних установок шляхом автоматизації систем рециркуляції ВГ і регулювання максимальної паливоподачі в залежності від особливостей кліматичних умов експлуатації.

Основні задачі роботи слідуючі:

- обґрунтування необхідності регулювання паливо- і повітряпостачання дизелів тепловозів та інших транспортних установок у залежності від кліматичних і висотних умов експлуатації;
- розробка конструктивних схем коректорів максимальної паливоподачі в залежності від умов експлуатації і типу двигуна;
- дослідження динамічних якостей коректора під впливом зовнішніх забуджень;
- виконання експериментальних досліджень коректора максимальної паливоподачі на безмоторній установці;
- вибір закону змінення оптимального ступеню рециркуляції ВГ тепловозного дизеля в залежності від режимних параметрів і кліматичних умов;
- розробка принципової схеми та елементів системи автоматичного регулювання (САР) оптимального ступеню рециркуляції ВГ тепловозного двигуна адаптивною до параметрів навколишнього середовища;
- дослідження динамічних якостей тепловозного дизеля з САР ступеню рециркуляції ВГ;
- виконання експериментальних досліджень переходного процесу тепловозного дизеля з системою рециркуляції ВГ;
- для двигунів, що використовують легке паливо і набули

широке розповсюдження в країнах Влизького Сходу, вдосконалити конструкцію пневмовакумного регулятора у системі механічного впрыску бензину.

### ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГІЇ, МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТА І ОБ'ЄКТА

Основою даного випробування є концепція системного підходу до рішення проблеми комплексного вдосконалення показників двигунів установок рухомого складу залізничного транспорту при їх експлуатації в різних кліматичних умовах. Дослідження базуються на теорії двигунів внутрішнього згоряння і автоматичного регулювання систем ДВЗ. При виконанні роботи використані розрахункові й експериментальні методи дослідження. Розрахунки виконувались на ЕОМ. Експериментально досліджувались показники тепловозного дизеля, що оснащений системою рециркуляції ВГ і коректором максимальної циклової подачі палива. Достовірність і обґрунтування основних висновків дисертації підтверджується задовільною збіжністю розрахункових і експериментальних даних, використанням сучасних засобів вимірювання.

### ОБґРУНТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ І ПРАКТИЧНОЇ ЦІННОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЙОГО НАУКОВОЇ НОВИЗНИ

Теоретична цінність. Обґрунтована необхідність регулювання паливо- і повітряпостачання дизелів тепловозів та інших транспортних установок в залежності від кліматичних і висотних умов експлуатації, вироблені загальні принципи регулювання паливо- і повітряпостачання, а також принципи побудови схем відповідних пристроїв автоматики тепловозних двигунів.

Практична цінність. Розроблені перспективні системи автоматичного регулювання паливо- і повітряпостачання ДВЗ можуть стати основою заходів щодо зниження середньоексплуатаційної витрати палива тепловозами та іншими установками рейкового транспорту. Методика визначення параметрів САР рециркуляції ВГ і коректорів максимальної паливоподачі, а також результати досліджень, наведених у дисертації, можуть бути використани-

ми при розробці перспективних модифікацій тепловозних дизелів типу 6ЧНЗ1,8/33 та інших силових установок рухомого складу залізниць.

Наукова новизна. Виявлено оптимальний закон змінення ступеню рециркуляції ВГ тепловозних дизелів. Розроблена принципова схема та елементи САР оптимального ступеню рециркуляції ВГ тепловозного двигуна адаптивного до параметрів навколишнього середовища. Розрахунково-експериментальним засобом одержані коефіцієнти й виведені рівняння динаміки дизеля з автоматичною системою рециркуляції. Одержані нові результати дослідження динаміки елементів САР і в цілому тепловозного дизеля з системою автоматичного регулювання паливо- і повітряпостачання.

#### **РІВЕНЬ РЕАЛІЗАЦІЇ, ВПРОВАДЖЕННЯ НАУКОВИХ РОЗРОБОК**

Одержані у роботі результати досліджень використовуються на підприємствах м.Луганська: ДХК "Луганськтоплогова", АТП "Совтрансавто", а також в навчальному процесі кафедри в дисциплін "Системи ДВЗ" при підготовці завдань для курсового і дипломного проектування. Створені програми для ЕОМ реалізуються у навчальному процесі СУДУ при підготовці інженерів-механіків.

На основі результатів досліджень розроблені рекомендації щодо вдосконалення систем паливо- і повітряпостачання двигунів тепловозів і других мобільних установок залізничного транспорту.

#### **ІНФОРМАЦІЯ ПРО АПРОБАЦІЮ І ПУБЛІКАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ, СТРУКТУРУ ТА ОБСЯГ ДИСЕРТАЦІЇ**

Основні результати виконаної роботи докладені і схвалені на першому республіканському науково-технічному семінарі щодо покращення показників теплових двигунів і ресурсозберіганню (м.Мелітополь, 11-16 вересня 1995 р.), на V міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 35-річчю кафедри "Локомотивобудування" СУДУ (Крим, м.Алушта, 2-6 листопада 1995 р.), а також науково-технічних конференціях професорсько-викладаць-

кого складу Східноукраїнського університету (1994-1996 рр.), наукових семінарах і засіданнях кафедр ДВЗ та локомотивобудування Східноукраїнського державного університету.

За результатами виконаних досліджень опубліковано шість друкованих робіт, один науково-технічний звіт. Перелік опублікованих робіт наведений у кінці автореферату.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку літератури із 122 назв і додатку. Вміщує 145 сторінок машинописного тексту, 15 таблиць і 80 ілюстрацій.

### **ДЕКЛАРАЦІЯ КОНКРЕТНОГО ОСОБИСТОГО ВІВЕСКУ ДИСЕРТАНТА У РОЗРОБКУ НОВИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ, ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ЗАХИСТ**

У ході виконання роботи особисто автором одержані такі результати, що виносяться на захист:

Виявлений оптимальний закон змінення ступеню рециркуляції відпрацьованих газів тепловозних дизелів. Розроблена принципова схема й елементи системи автоматичного регулювання оптимального ступеню рециркуляції відпрацьованих газів тепловозного двигуна адаптивного до параметрів навколишнього середовища.

Виведені рівняння динаміки тепловозного дизеля з САР рециркуляції відпрацьованих газів, розрахунково-експериментальним шляхом одержані коефіцієнти рівнянь динаміки дизеля і автоматичної системи рециркуляції відпрацьованих газів.

Виконано розрахунково-теоретичне дослідження динаміки елементів адаптивних САР і тепловозного дизеля у цілому з розробленою САР.

Проведені експериментальні дослідження коректора максимальної подачі палива на безмоторній установці.

За участю автора виконані експериментальні дослідження переходного процесу дизеля маневрового тепловоза БЧЗі,8/33 з системою рециркуляції відпрацьованих газів.

Вдосконалена конструкція пневмовакумного регулятора для системи механічного вприску легкого палива.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показані актуальність і новизна теми, сформульовані мета і основні задачі дослідження, дана загальна характеристика роботи.

Перший розділ представляє із себе розгорнутий огляд стану проблеми у різних галузях транспортного двигунобудування в емпіричному, теоретичному і практичному аспектах.

Відмічено конкретний вклад в рішення даної проблеми таких вчених, як Л.М.Аврух, В.О.Звонов, Є.Є.Косов, М.Г.Круглов, В.І.Крутов, А.П.Кудряш, В.Д.Кузьмич, А.А.Куриц, І.В.Леонов, М.М.Луков, О.С.Орлін, О.Г.Рибальченко, В.Н.Семенов, А.Е.Симсон, В.І.Смайліс, В.М.Фомін, А.З.Хоміч, В.Я.Черняк та інші.

Виконано аналіз сучасних досліджень щодо впливу атмосферних умов на показники транспортних двигунів, систем корекції максимальної паливopодачі, технічних рішень в галузі автоматизації систем рециркуляції ВГ. Аналіз робіт різних авторів показав, що рециркуляція ВГ дає змогу суттєво знизити викид NOx при часткових навантаженнях, тобто при найбільш ймовірних режимах роботи дизелів тепловозів. Ефективність цього методу в значній мірі визначається ступенем досконалості конструкції системи рециркуляції і визначенням оптимальних параметрів рециркулюючих газів. На підставі виконаного аналізу стану робіт з теми дисертації поставлені конкретні задачі дослідження, основні з яких наведені на початку автореферату.

Другий розділ присвячений питанням розробки пристроїв автоматизації для вдосконалення процесів паливо- і повітряпостачання двигунів транспортних установок різного призначення при їх експлуатації в змінних кліматичних і висотних умовах.

Обґрунтоване застосування і принципи побудови коректорів максимальної паливopодачі дизелів. Приведені розроблені конструктивні схеми коректорів максимальної паливopодачі від: тиску, температури і густоти атмосферного повітря; надмірного тиску і густоти наддувочного повітря для дизелів різного типу (двигунів з наддувом і без наддуву, з системами автоматичного регулювання частоти обертання колінчастого валу прямої і прямої дії). Розроблений коректор прямої дії має перестановочне зусилля на штоку від 50 до 400 Н. Розроблені

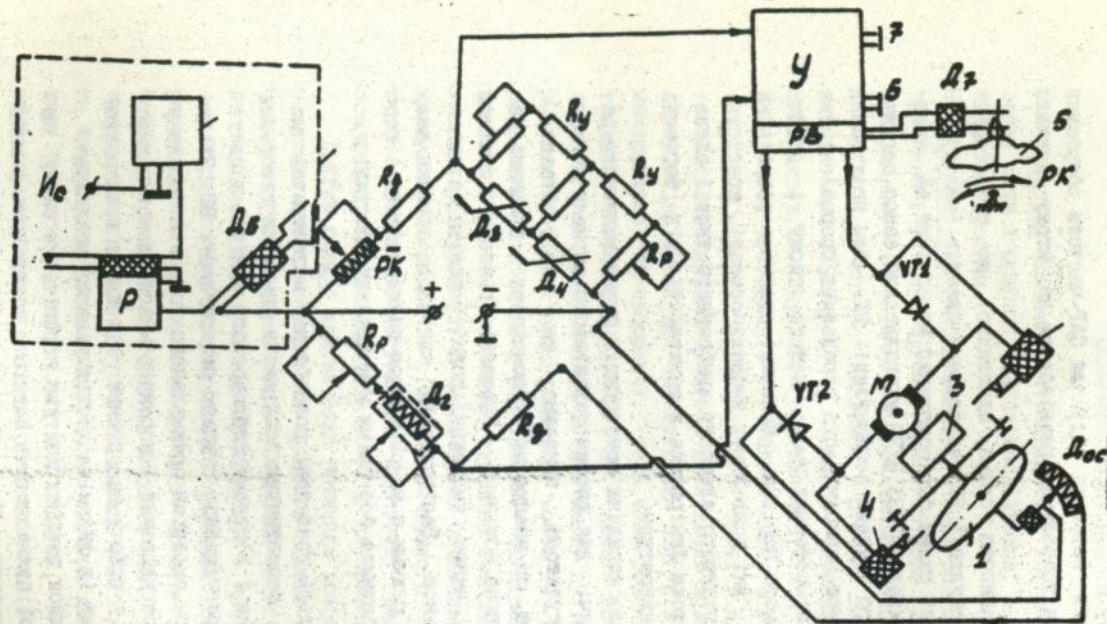
варіанти коректорів непрямої дії для САР частоти обертання тепловозного дизеля дозволяють реалізувати на штоку зусилля до 2000 Н.

Розроблена принципова схема адаптивної до атмосферних умов система рециркуляції ВГ тепловозних дизелів (мал.1). В основу розробки цієї схеми був покладений вироблений за наявними даними для дизеля 6ЧНЗ1,8/33 узагальнений закон регулювання найвигіднішого ступеню рециркуляції ВГ. Для врахування тиску і температури навколишнього середовища розроблені два варіанти датчиків атмосферних умов: датчик тиску і датчик густоти атмосферного повітря. Виконані статичні розрахунки названих датчиків, які дозволяють вибрати основні конструктивні параметри чутливого елемента мембранного типу і визначити переміщення штока вимірника в залежності від барометричного тиску і температури.

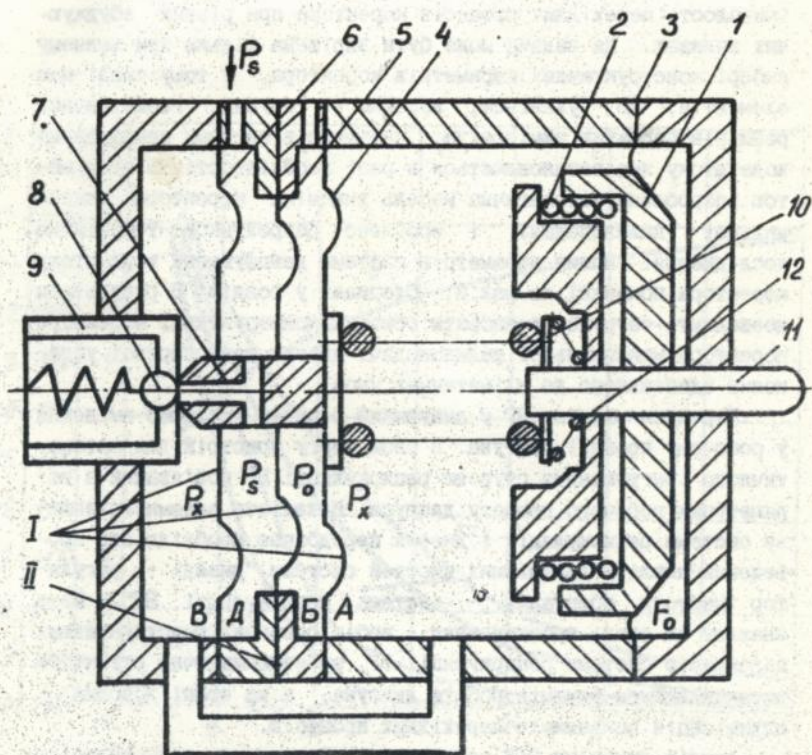
Розроблена удосконалена конструкція пневмовакумного регулятора паливopодачі для систем механічного вприску легкого палива. Схема регулятора показана на мал.2. Штатна циліндрична пружина, що працює на економайзерній ділянці характеристики, замінена конічною. Виведені рівняння статички дозволили одержати закон змінення подачі палива за навантажною характеристикою. Застосування конічної пружини дало можливість звузити режими з максимальною паливopодачею і перерозходом палива, залишив без зміни максимальну потужність двигуна.

У третьому розділі приведені розроблені математичні моделі і результати теоретичних досліджень динаміки створених пристроїв автоматики і в цілому тепловозного двигуна в системі автоматичного регулювання ступеню рециркуляції ВГ. Згідно з виробленим законом змінення оптимального ступеню рециркуляції система її регулювання і коректор максимальної паливopодачі включаються у роботу на різних ділянках тепловозної характеристики, тому їх динаміка досліджувалась роздільно.

При встановившихся режимах двигуна переміщення штока коректора максимальної паливopодачі повністю описується рівняннями статичної рівноваги. Шток коректора одержує збуджуючі впливи з боку рейки паливного насоса високого тиску. Тут виникають як коливальні, так і аперіодичні рухи штока коректо-



Малюнок 1. Принципова схема САР адаптивної до атмосферних умов.  
 ..P - реле; ..Uc - напруга силового джерела живлення; ..D7 - підсилювач постійного струму; ..PK - позиції контролера; ..PK - відносні позиції контролера; ..D1 та ..D7 - датчики; ..M - електродвигун виконавчого механізму; ..PB - реле часу; ..PU - релейний підсилювач; 1 - заслінка, що керує кількістю рециркулюючих ВГ; 2, 4 - кінцеві вимикачі; 3 - редуктор; 5 - кулачок на осі рукоятки контролера; 6, 7 - кнопки керування; 9 - електрогідроклапан; 10 - термостат.



Малюнок 2. Схема вакуумного регулятора

1 - мембранний привод; 2 - відключаюча пружина; 3, 4, 5 і 6 - мембрана; 7 - сопло; 8 - кульковий клапан; 9 - седло; 10 - составна пружина зворотного зв'язку; 11 - шток; 12 - мембранний блок; II - мембрана котушки.

ра, які можуть негативно впливати на показники дизеля і при встановившихся, і при перехідних режимах. Тому важливою задачею розробки даного коректора є забезпечення малих амплітуд і тривалості перехідних процесів коректора при різних збуджуючих впливах. Ця задача може бути вирішена тільки при певному виборі конструктивних параметрів коректора, у тому числі мас елементів, що рухаються, жорсткості пружин, геометричних розмірів порожнин вимірювача, параметрів системи демпфування ходу штоку, яке встановлюється в разі необхідності. З цією метою розроблена математична модель динаміки коректора максимальної паливоподачі і зроблено розрахунково-теоретичне дослідження. Вплив параметрів системи демпфування ходу штоку коректора показано на мал.3. Одержані у розділі 3 результати дозволяють обгрунтовно вибрати основні конструктивні параметри коректора максимальної паливоподачі дизеля транспортної установки адаптивного до кліматичних умов.

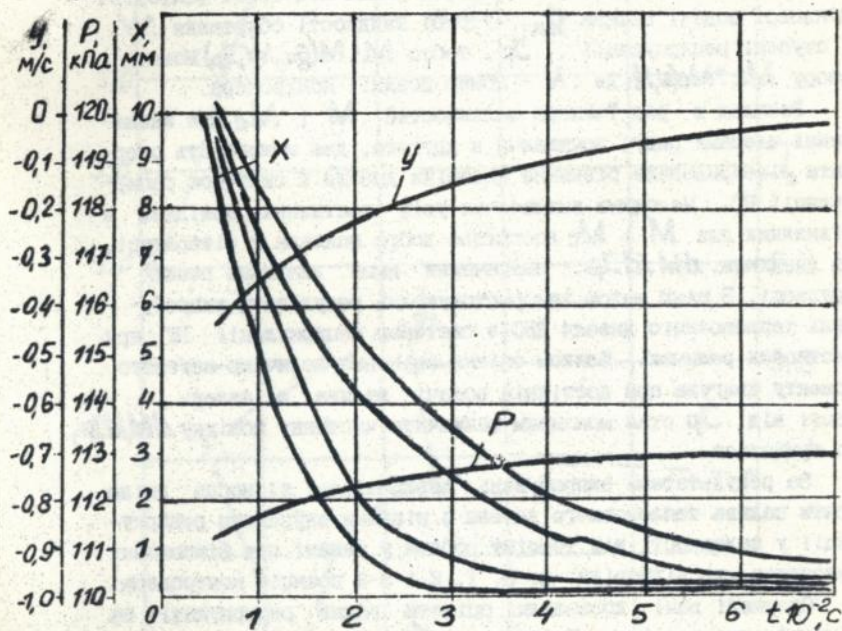
Перепуск частини ВГ у випускний ресивер викликає змінення у робочому процесі двигуна. В свою чергу пристрій для автоматичного регулювання ступеню рециркуляції ВГ пов'язаний з параметрами робочого процесу двигуна. Наявність взаємного впливу системи рециркуляції і дизеля передбачає необхідність проведення аналізу динамічних якостей системи "дизель - регулятор частоти обертання - система рециркуляції ВГ". Мета аналізу на етапі проектування - вибір основних конструктивних параметрів системи рециркуляції ВГ, забезпечуючих стійкість встановившихся режимів роботи двигуна, а на етапі доводки - оптимізація показників перехідних процесів.

Аналіз динаміки САР тепловозного дизеля з рециркуляцією ВГ доцільно проводити як шляхом оцінки стійкості системи з існуючих критеріїв, так і шляхом побудови перехідних процесів елементів системи при зміні позицій контролера.

Проведення аналізу потребує математичного опису елементів системи: двигуна як об'єкта регулювання швидкості обертання колінчастого валу, регулятора частоти обертання і системи рециркуляції ВГ з автоматично регульованим ступенем рециркуляції.

Математична модель вміщує опис лінеаризованих диференціальних рівнянь слідуєчих об'єктів:

- дизеля з системою рециркуляції ВГ;



Малюнок 3. Вплив тертя на перехідний процес коректора

- центробіжного регулятора частоти обертання із всережимною пружиною, гравлічним сервомотором та ізодромним зворотним зв'язком;

- системи автоматичного регулювання ступеню рециркуляції.

Для виводу рівнянь динаміки ДВЗ з рециркуляцією ВГ крутний момент двигуна  $M$  поданий залежним від трьох факторів: циклової подачі палива  $g_u$ , кутової швидкості обертання  $W$  і ступені рециркуляції  $J_p$ , тобто  $M = M(g_u, W, J_p)$  Момент опору  $M_c = M_c(N)$  де  $N$  - номер позиції контролера.

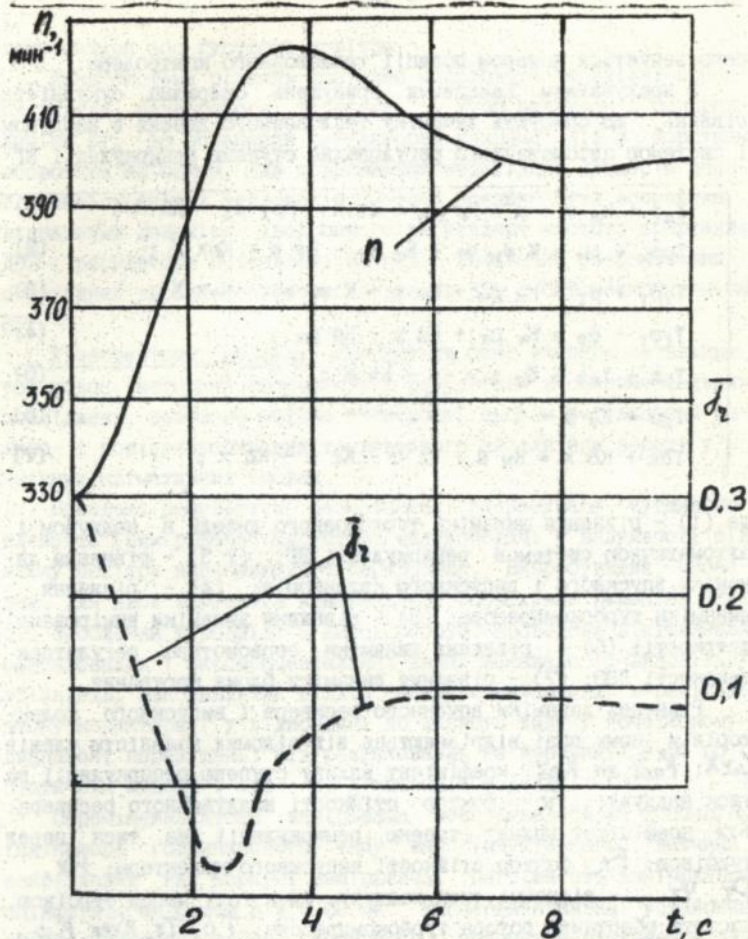
Розклад в ряд Тейлора залежностей  $M$  і  $M_c$  при зневаженні членами ряду, починаючи з другого, дає можливість одержати лінеаризоване рівняння динаміки дизеля з системою рециркуляції ВГ. Методика визначення усіх частинних похідних в рівняннях для  $M$  і  $M_c$  достатньо добре описана у літературі, за винятком  $dM/dJ_p$ , визначення якої викликає певні труднощі. З цією метою використовували результати випробувань тепловозного дизеля Д50 з системою рециркуляції ВГ при часткових режимах. Шляхом оцінки змінення величини крутного моменту двигуна при постійній подачі палива в залежності від  $J_p$  стає можливим визначити частинну похідну  $dM/dJ_p$ , що шукається.

За результатами випробувань визначалась відносна зміна трати палива тепловозного дизеля з різними ступенями рециркуляції і залежності від терміну роботи у режимі при фіксованих навантажах, що відповідні до 0, 1, 2 і 3-й позицій контролера.

Одержані дані дозволили оцінити вплив рециркуляції на крутний момент дизеля. Коефіцієнт  $K_{J_p}$ , що враховує вплив рециркуляції ВГ на крутний момент двигуна, є змінним. На мал.4 показана його залежність від позиції контролера. В результаті одержано рівняння динаміки дизеля із системою рециркуляції

$$T_d \ddot{\varphi} + K_d \dot{\varphi} = \mu + K_p P_k - K_{pT} P_T + K_X X - K_A N,$$

де  $\varphi, \mu, P_k, P_T, X$ ... - відповідно відносна частота обертання дизеля, переміщення рейки паливного насоса високого тиску (ПНВТ); тиск у впускному і випускному трубопроводах, переміщення органу управління рециркуляцією;  $T_d, K_d, K_p, K_{pT}, K_X$  - постійні коефіцієнти. Значення відносного навантаження тут



Малюнок 4. Розрахований перехідний процес тепловозного дизеля Д-50 при переході з III-ї до IV-ї позиції контролера з підключеною системою автоматичного регулювання ступеню рециркуляції ВГ

$n$  - частота обертів колінчастого валу;

$\bar{\delta}_2$  - відносна ступінь рециркуляції ВГ.

репрезентується номером позиції тепловозного контролера.

З врахуванням наведених припущень одержана сукупність рівнянь, що описують динаміку тепловозного дизеля з наддувом і системою автоматичного регулювання ступеню рециркуляції ВГ

$$T_d \dot{\varphi} + K_d \varphi = \mu + K_p \rho_k + K_x X - K_{pT} \rho_T - K_A N ; \quad (1)$$

$$T_p \dot{\rho}_k + \rho_k = K_{\varphi k} \varphi_T + K_T \rho_T - K_{\varphi} \varphi + K_{pX} X ; \quad (2)$$

$$T_T \dot{\rho}_T + \rho_T = K_k \rho_k + K_{\omega} \omega + K_{\varphi T} \varphi_T - K_{TX} X ; \quad (3)$$

$$T_T \dot{\varphi}_T + \varphi_T = K_T \rho_T + K_{\mu} \mu - K_p \rho_k ; \quad (4)$$

$$T_p \dot{n} + T_k \dot{n} + \delta_z n = -\varphi - K_n N ; \quad (5)$$

$$T_S \dot{\mu} + K_S \mu = n ; \quad (6)$$

$$T_{\delta} \dot{x} + K_{\delta} \dot{x} = K_N N + K_t t - K_e e - K_z z ; \quad (7)$$

де (1) - рівняння динаміки тепловозного дизеля з наддувом і автоматичною системою рециркуляції ВГ; (2,3) - рівняння динаміки впускного і випускного колекторів; (4) - рівняння динаміки турбокомпресора; (5) - рівняння динаміки вимірювача швидкості; (6) - рівняння динаміки сервомотора регулятора швидкості ДВЗ; (7) - рівняння динаміки блока керування.

Рівняння динаміки впускного ресивера і випускного колекторів у цьому разі відрізняються від відомих наявністю членів  $K_{pX} X$  і  $K_{Tn} X$ , де  $K_{pX}$  - коефіцієнт впливу ступеню рециркуляції на тиск наддуву;  $F_k$  - фактор стійкості наддувочного ресивера;  $K_{Tx}$  - коефіцієнт впливу ступеню рециркуляції на тиск перед турбіною;  $F_T$  - фактор стійкості випускного колектора;  $P_k, P_T, \varphi_T, \dots$  - відносні тиск наддуву, тиск газу перед турбіною, частота обертання ротора турбокомпресора;  $T_p, T_T, K_{\varphi k}, K_{\varphi}, K_T, K_k, K_{\varphi T}, K_{\omega}, \dots$  - постійні коефіцієнти.

Рівняння динаміки блока автоматичного регулювання ступеню рециркуляції одержано при слідуєчих припущеннях. Електричні процеси у вимірювальному мості та підсилювачі безінерційні, напруга сигналу у вимірювальній діагоналі моста лінійно залежить від величин розбалансу опорів реохордних датчиків тиску, температури, позиції контролера і датчика оборотного зв'язку регулюючого органу ..., що вмикається в відповідні плечі моста. Не враховуєм час запізнювання сигналів датчиків тиску.

температури або густоти повітря.

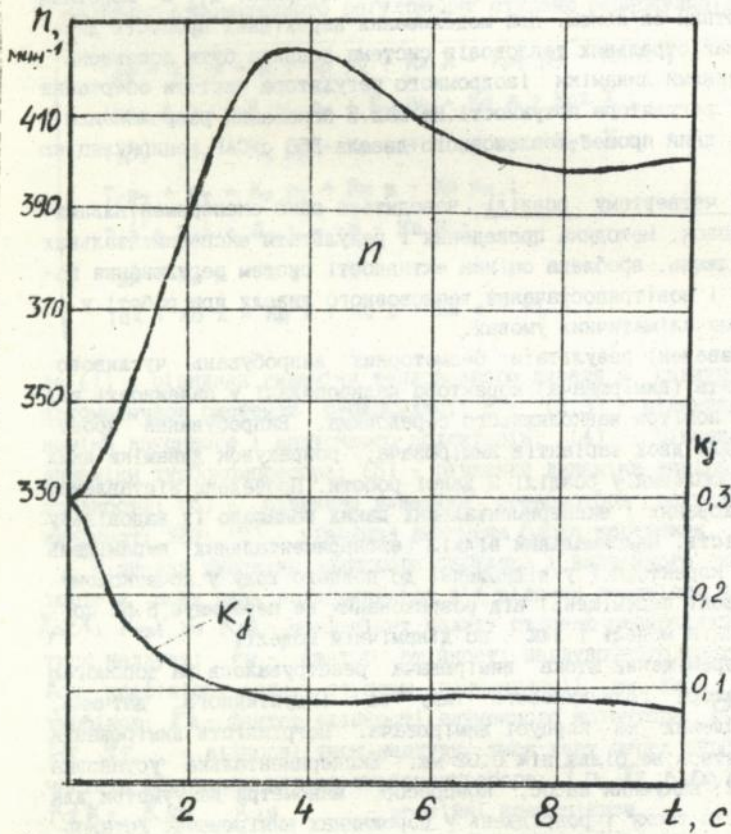
Дана система рівнянь дозволяє моделювати перехідні процеси дизеля маневрового тепловоза в турбонаддувом і рециркуляцією ВГ, що оснащений регулятором непрямої дії з жорстким оборотним зв'язком. Для моделювання перехідних процесів дизелів магістральних тепловозів система повинна бути доповнена рівняннями динаміки іздромного регулятора частоти обертання ДВЗ і регулятора потужності. На мал.5 показаний розрахований перехідний процес тепловозного дизеля Д50 з САР рециркуляцією ВГ.

У четвертому розділі наводиться опис експериментальних установок, методика проведення і результати експериментальних досліджень, зроблена оцінка ективності систем регулювання паливо- і повітряпостачання тепловозного дизеля при роботі у змінних кліматичних умовах.

Наведені результати безмоторних випробувань чутливого елемента (вимірювача) коректора паливоподачі у залежності від тиску повітря навколишнього середовища. Випробування проведені для двох варіантів вимірювача, розрахунок динаміки яких був зроблений у розділі 3 даної роботи. Проведене зіставлення розрахованих і експериментальних даних показало їх задовільну збіжність. Максимальний відхил експериментальних переміщень штоку коректора ( у відношенні до повного ходу у початковому діапазоні переміщень) від розрахованих не перевищує 6,5% по статичній моделі і 14% - по динамічній моделі.

Переміщення штока вимірювача реєструвалось за допомогою індикатора годинникового типу та індуктивного датчика, закріплених на корпусі вимірювача. Погрішність вимірювання оцінюється не більш ніж 0.02 мм. Експериментальна установка вміщує вакуумний насос, компресор, манометри-вакууметри для контролю тиску і розріджень у порожнинах вимірювача. Установка збиралась у двох варіантах. Основний варіант вміщує вакуумну камеру, в якій розташований вимірювач. Показники індикатора, пропорційні переміщенню штока вимірювача, реєструвались через прозору верхню кришку вакуумної камери. Другий варіант експериментальної установки призначений для проведення випробувань вимірювача при різних температурах корпусу.

Експериментальне дослідження перехідних процесів дизеля



Малюнок 5. Розрахований перехідний процес тепловозного дизеля Д-50 в підключеною САР рециркуляцією ВГ

бЧНЗ1,8/33 з системою рециркуляції ВГ проводилось з метою оцінки впливу рециркуляції на показники перехідних процесів дизеля, вибору момента відключення системи рециркуляції, перевірки адекватності розробленої моделі.

Методика випробувань дизеля при перехідних режимах була розроблена у відповідності до можливостей керування режимами дизеля на випробувальному стенді і полягала у наступному. Встановлювався режим номінальної потужності, після стабілізації параметрів двигуна, встановлювався режим холостого ходу на 30 с ( до момента стабілізації частоти обертання колінчастого валу шляхом відключення генератора від навантажного пристрою і переведення контролера у положення 0). Потім включалась протяжка стрічки осцилографа, що реєструє параметри перехідного процесу. При цьому здійснювався запис початкового режиму на стрічку осцилографа. Через 1 с з початку руху стрічки контролер різко переводився на 8-му позицію і одночасно електромагнітний пускач з'єднував клемми генератора з навантажним пристроєм, що був налаштований на режим номінальної потужності. Після стабілізації частоти обертання осцилографування перехідного процесу припинялось. Кожний з 3-х варіантів перехідних процесів повторювався два рази. При перехідних режимах на стрічці осцилографа реєструвались такі параметри: тиск у впускному колекторі, частота обертання двигуна, струм і напруга в електричному колі навантаження, лінії нульових відзначень, відзначення часу.

Одержані експериментальні дані дозволяють стверджувати наступне. При розгоні до часткових швидкісних і навантажних режимів кращі показники перехідного процесу досягаються для дизеля з циркуляцією ВГ. Це явище пов'язане, головним чином, з особливостями повітряпостачання дизеля при включеній і виключеній системі рециркуляції, а також з тепловим станом двигуна. При перехідних процесах розгону тепловозного дизеля з рециркуляцією, останню необхідно відключити, якщо режим після розгону визначається 5 - 8-ю позиціями контролера і залишити включеною при розгоні на 0 - 3 позиціях. Одержано задовільний збіг розрахункових і експериментальних даних: з тривалості перехідного процесу погрішність не перевищувала 0,4 с, з закиду частоти обертання - не більш ніж 25 хв-1.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИВОДИ

1. Виконаний аналіз сучасного стану проблем, що досліджуються, і умов експлуатації рейкового транспорту дозволив виділити їх основні особливості, вибрати напрямки і засоби для вирішення поставлених у даній роботі задач. Показано, що прогресивним є використання засобів автоматики для регулювання паливо- і повітряпостачання силових установок рухомого складу залізниць. Застосування досягнутих результатів дозволяє одержати економію палива, покращити екологічні показники магістральних і маневрових тепловозів, підвищити ресурс і надійність їх силових установок.

2. Існуюча різноманітність типів двигунів, що використовуються як силові установки мобільного транспорту залізниць, викликала комплексний підхід до рішення поставлених задач з двох позицій: автоматична корекція максимальної паливоподачі, як легкого, так і важкого палива у залежності від кліматичних умов і автоматичне регулювання оптимального ступеню рециркуляції відпрацьованих газів дизелів тепловозів. Виконано обґрунтування прийнятих рішень.

3. У відношенні двигунів, що використовують легке паливо, застосування запропонованого рішення щодо вдосконаленню конструкції пневматичного регулятора паливоподачі дозволяє досягнути економії палива за рахунок звуження робочих режимів з перебагаченою сумішшю при збереженні заданої максимальної потужності двигуна. При цьому покращується також запуск двигуна, оскільки збільшується (у середньому на 3,5%) пускова подача палива без надмірного перебагачення суміші на економмайзерних режимах роботи двигуна. Це неминуче мало б місце для штатного регулятора при спробі підвищити пускову подачу палива за рахунок змінення нахилу економмайзерної дільниці характеристики.

4. Теоретичні дослідження коректора максимальної подачі палива у залежності від параметрів навколишнього середовища дозволили розробити методику вибору його основних параметрів. При цьому враховуються динамічні властивості коректора і збурюючі впливи.

5. Розроблена математична модель тепловозного дизеля з

автоматичною системою регулювання оптимального ступеня рециркуляції випрацьованих газів, а також проведені за допомогою названої моделі дослідження дозволили вибрати такі конструктивні параметри запропонованих пристроїв, при яких у системі автоматичного регулювання частоти обертання не виникають перехідні процеси з неприпустимими показниками.

6. Проведені експериментальні дослідження коректорів максимальної паливободачі і перехідних процесів дизеля Д-50 з системою рециркуляції відпрацьованих газів виявили наступне. При перехідних режимах розгону під номінальним навантаженням систему рециркуляції дизеля типу 6ЧНЗ1,8/33 необхідно відключати безпосередньо перед початком перехідного режиму на позиціях контролера вище 5-ї, наявність рециркуляції відпрацьованих газів на початковому встановленому режимі, що попередній перехідному процесу, не змінює динамічні якості прогрітого двигуна. Включення і виключення системи рециркуляції відпрацьованих газів не веде до порушення стійкості системи автоматичного регулювання швидкості обертання колінчастого валу. При перехідних процесах розгону до часткових швидкісних навантажувальних режимів кращі показники перехідного процесу досягаються для дизеля з рециркуляцією відпрацьованих газів.

Названі явища пов'язані, головним чином, з особливостями повітряпостачання дизеля при включеній і виключеній системі рециркуляції, що змінює коефіцієнт надміру повітря у циліндрі, а також з тепловим становищем двигуна. При перехідних процесах розгону теплового дизеля з рециркуляцією, останню необхідно відключити, якщо режим роботи після розгону визначається 5 - 8-ю позиціями контролера і залишити включеною при розгоні на 0 - 3-й позиціях.

7. Зроблена оцінка ефективності застосування автоматичних систем регулювання паливо- і повітряпостачання показала, що її впровадження дає поліпшення екологічних показників установок рейкового транспорту, зниження середньоексплуатаційної витрати палива тепловим двигелем не менш, ніж як на 2,5%, підвищення надійності і ресурса силової установки.

**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ, ЯКО ВІДОБРАЖАЮТЬ  
ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Аль-Авар И.С. Автоматическое регулирование номинальной мощности транспортного дизеля при работе в различных высотных условиях // Вестник Восточн. украин. гос. ун-та / Изд-во ВУГУ. - Сер. - Транспорт. - 1996. - С. 24-31.

2. Аль-Авар И.С., Тырловой С.И., Рыбальченко А.Г. Усовершенствование регулятора для системы впрыска легкого топлива // Транспортное машиностроение: - Республ. межведомств. науч.-тех. сб. - К: 1995. - Вып. 25. - С. 256-254.

3. Аль-Авар И.С., Саад А.Х., Тырловой С.И., Рыбальченко А.Г. Математическая модель неустановившихся режимов работы тепловозного дизеля с системой рециркуляции отработавших газов / Восточноукр. гос. ун-т.- Луганск: 1995. - 11 с., ил. - Рус.- Деп. в ГНТБ Украины No 76-УК96.

4. Тырловой С.И., Саад А.Х., Аль-Авар И.С., Сторчеус Ю.В. Экспериментальное исследование способов восстановления характеристик топливной аппаратуры дизелей при эксплуатации. / Восточноукр. гос. ун-т.- Луганск: 1996. - 10 с., ил. - Рус.- Деп. в ГНТБ Украины No 78-УК96.

5. Аль-Авар И.С., Тырловой С.И., Рыбальченко А.Г. Оценка динамических качеств тепловозного дизеля с автоматической системой рециркуляции отработавших газов / Тез. докл. первого респ. науч.-технич. семинара по улучшению показателей тепловых двигателей и ресурсосбережению.- Мелитополь: ТГАТА, 1995. - С. 5-6.

6. Аль-Авар И.С. Совершенствование пневмовакуумного регулятора системы впрыска бензина для улучшения экономических и экологических показателей ДВС // Проблемы развития локомотивостроения: Тез. докл. V международной конференции "Проблемы развития локомотивостроения", Луганск: ВУГУ, 1995 - С. 25-27.

**ABSTRACT**

AL-AWAR I.S. Improvement of operational parameters internal combustion of engines of the rolling-stock of iron ways governors's of systems fuel- and air charging.

Dissertation on the competation of the candidate of the technical sciences for speciality 05.22.07 - rolling stock of the railways and the train traction, Eastukrainian State University, Lugansk, 1997.

Is protected 6 scientific work, containing theoretical Substantiation, results of theoretical and experimental Researches ways perfection of systems fuel- and air charging of power installations of the rail transport. Analytical models adaptive to climatic condition are constructed regulator of maximum fuel-feed and with mechanical injection of lighth fuel. Are offered The block diagram and elements of system optimum governors's degree of a exhaust gases recirculation lokomotive diesel engine. Efficiency of offered development is appreciated.

**АБСТРАКТ**

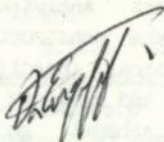
Аль-Авар И.С. Улучшение эксплуатационных показателей тепловых двигателей подвижного состава железных дорог регулированием систем топливо- и воздухоснабжения.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Восточноукраинский Государственный университет. Луганск. 1997.

Защищается 6 научных работ, содержащих теоретическое обоснование, результаты теоретических и экспериментальных исследований способов совершенствования систем топливо- и воздухоснабжения силовых установок рельсового транспорта. Построены аналитические модели адаптивных к климатическим условиям корректоров максимальной подачи топлива дизелей и двигателей с механическим впрыском легкого топлива. Предложены структурная схема и элементы системы оптимального регулирования степени рециркуляции отработавших газов тепловозного ди-

зеля. Оценена ефективність пропонуємих розробок.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Тепловоз, установка силовая, корректор подачи топлива, рециркуляция отработавших газов, система автоматического регулирования, климатические условия, рельсовый транспорт.



**АЛЬ-АВАР ИССАМ САЛИМ**

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ  
РЕГУЛИРОВАНИЕМ СИСТЕМ ТОПЛИВО- И ВОЗДУХАСНАБЖЕНИЯ**

05.22.07 - "Подвижной состав железных дорог  
и тяга поездов"

Подписано к печати 31.01.97. Формат 60x84. 1/16, 1 п.л.  
Заказ 41. Тираж 100 экз. Бесплатно.

---

Ротапринт ВУГУ. 348034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а.