

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ДАЦУН Юрій Миколайович

УДК: 629.424.3:621.78.013.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ ТА
ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Міністерства транспорту та зв'язку України

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Грищенко Сергій Георгійович,
Державна адміністрація залізничного
транспорту України,
Головне управління локомотивного господарства,
головний інженер

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор
Кудряш Анатолій Петрович,
Інститут проблем машинобудування імені
А.М. Підгорного НАН України, відділ поршневих
енергоустановок, старший науковий співробітник

– кандидат технічних наук,
Носков Валентин Іванович,
Завод «Електроважмаш»,
головний конструктор

Провідна установа – Східноукраїнський національний
університет імені Володимира Даля,
кафедра “Залізничний транспорт”, Міністерство
науки і освіти України, м. Луганськ

Захист відбудеться « 24 » листопада 2005 р. о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.
З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий « 21 » жовтня 2005 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор

Бабанін О.Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. На сучасному етапі реформування економіки України проблема раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів набуває особливої важливості та актуальності у зв'язку із зростанням їх дефіциту. Залізничний транспорт є одним з найбільших споживачів дизельного палива в країні за рахунок використання його тепловозами та дизель-поїздами для виконання перевізної та маневрової роботи.

Одним з резервів економії енергоносіїв та зменшення вироблення загального ресурсу енергетичних установок тепловозів та дизель-поїздів полягає в скороченні непродуктивної роботи дизелів в режимі самопрогріву за рахунок удосконалення технології прогріву.

Актуальність теми. Суттєвий вплив на паливну економічність тепловозної тяги здійснюють параметри зовнішнього середовища. При зниженні температури повітря витрати палива підвищуються. Однією з основних причин цього є необхідність підтримувати тепловозну енергетичну установку в «гарячому резерві».

Режим холостого ходу дизеля характеризується збільшенням зносу партертя його механізмів та шкідливих викидів в атмосферу. Доля холостого ходу тепловозного дизеля складає більше 50 % всього часу його роботи, а в осінньо-зимовий період експлуатації вона зростає на 10...12 %.

В теперішній час існує значна кількість розробок для прогріву тепловозів. Жодна з них не знайшла широкого застосування на дизельному рухомому складі Укрзалізниці в теперішній час. Це визвано низькою ефективністю розроблених систем та методів прогріву, недосконалістю технології прогріву, непристосованістю до кліматичних умов України. Застосування оптимальних технологій прогріву актуально як при модернізації існуючого дизельного рухомого складу, так і при виробництві нового.

Згідно з основними напрямками стратегічного розвитку локомотивного господарства Укрзалізниці до 2010 р. планується виготовлення нового вітчизняного дизельного рухомого складу: пасажирського тепловоза з енергозабезпеченням пасажирських вагонів, маневрових тепловозів, дизель-поїздів. Різноманітність конструктивних рішень, технічних характеристик, роду робіт перспективних тепловозів та дизель-поїздів ускладнює вирішення задачі удосконалення технології прогріву енергетичних установок традиційними методами. Обладнання перспективного рухомого складу мікропроцесорними системами, застосування інформаційних технологій створює сприятливі умови

для впровадження нових технологій прогріву з відповідним математичним та програмним забезпеченням.

Актуальність теми також підтверджується програмою реструктуризації на залізничному транспорті України, положеннями «Національної енергетичної програми», Законом України «Про енергозбереження», Державною комплексною програмою з енергозбереження та іншими документами.

Таким чином представлена дисертаційна робота є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі «Експлуатація та ремонт рухомого складу» (ЕРРС) Української державної академії залізничного транспорту. Кафедра є співвиконавцем науково-технічної частини Державної програми «Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства». Робота виконана згідно держбюджетних науково-дослідних робіт «Вибір оптимальних параметрів перспективних типів магістральних, маневрових тепловозів та моторвагонного рухомого складу» (№ДР0104U003178) та «Експертиза нормативно-технічної документації по дизель-поїзду ДЕЛ-02 та участь у випробуваннях» (№ДР0103U007293).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів на основі методів нечіткої логіки.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких основних задач:

- визначення експлуатаційної доцільності широкого застосування систем прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів на залізницях України;
- проведення аналізу існуючих систем та технологій прогріву тепловозів та дизель-поїздів;
- оцінка впливу режимів прогріву на знос дизеля та його ресурс;
- дослідження впливу зовнішніх чинників на тепловий стан дизеля в режимах охолодження в кліматичних умовах України;
- розроблення оптимальної технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів та визначення способу її реалізації;
- обґрунтування економічної доцільності впровадження нової технології прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів на залізницях України.

Об'єкт дослідження: Процеси прогріву тепловозів та дизель-поїздів.

Предмет дослідження: Технологія прогріву тепловозів та дизель-поїздів.

Методи дослідження. При проведенні дисертаційних досліджень були використані: методи математичної статистики для визначення параметрів випадкової величини тривалості простоїв тепловозів в депо; методи нечіткого математичного програмування для визначення оптимальної технології прогріву; методи теорії нечітких множин та нечіткої логіки при розробці нечіткого контролера системи прогріву та визначення стадій обробки інформації в ньому.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна результатів роботи полягає в вирішенні наукової задачі – удосконалення технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів на основі методів нечіткої логіки, що дозволить зменшити витрати на прогрів, та підвищити його ефективність.

В дисертаційній роботі отримані наступні наукові результати.

Вперше:

- науково обгрунтована експлуатаційна доцільність впровадження систем прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів на залізницях України;
- розроблена лінгвістична модель управління процесом прогріву для реалізації оптимальної технології прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів;
- одержані аналітичні залежності темпів охолодження та нагрівання елементів енергетичної установки тепловоза для кліматичних умов України, від потужності нагрівального елемента та температури зовнішнього повітря;

Доопрацьовано:

- модель, що дозволяє визначати вплив на ресурс тепловозного дизеля режимів циклічного прогріву в режимі холостого ходу;
- залежність для визначення температури енергетичної установки в процесі прогріву.

Практичне значення одержаних результатів. Вирішена задача удосконалення технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів з використанням методів нечіткої логіки.

Основні результати і розроблені методики рекомендовані для впровадження Головним управлінням локомотивного господарства Державної адміністрації залізничного транспорту України та використані ХК «Луганськтепловоз» при проектуванні нового рухомого складу.

Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях. Основні положення і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У публікаціях у співавторстві автору належать:

- аналіз причин процесу зносу деталей тепловозних дизелів в різних умовах експлуатації, визначення передумови розрахунку деталей на міцність [1];
- передумови використання нових підходів в сфері визначення ресурсу тепловозних дизелів, проведено аналіз методів визначення ресурсу енергетичних агрегатів, що використовуються в різних галузях народного господарства [2];
- аналіз статистичних даних простоїв тепловозів в основних депо в режимі «гарячого резерву», визначення закону розподілу тривалості простою тепловоза та його параметри [4];
- визначення необхідності застосування нечіткої логіки для реалізації технології прогріву тепловозних дизелів [6].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались на:

- 64, 65, 66 міжнародних науково-технічних конференціях кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств, УкрДАЗТ (м. Харків 2002-2004 р.);
- XIV міжнародній, науково-технічній конференції «Проблеми розвитку рейкового транспорту» (Крим, 2004 р);
- Дисертація повністю доповідалась на розширеному засіданні кафедри ЕРРС Української державної академії залізничного транспорту в 2005 р. за участю членів спеціалізованої вченої ради.

Публікації. Основні результати дослідження опубліковані в 5 статтях у виданнях, що затверджені ВАК України як фахові (дві з них без співавторів), а також в 2 тезах науково-технічних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг роботи містить 163 сторінки, з них обсяг основного тексту 122 сторінки. Робота ілюстрована 38 рисунками, наведено 12 таблиць. Список використаних джерел складається з 121 найменувань на 11 сторінках та 7 додатків на 30 сторінках

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета і задачі досліджень, відображена наукова новизна, практичне значення отриманих результатів і особистий внесок автора, наведена інформація про апробації і публікації результатів досліджень.

У першому розділі виконано аналіз існуючої динаміки витрат енергоресурсів на прогрів тепловозів та дизель-поїздів на залізницях України, проведено класифікацію розроблених систем прогріву тепловозів, проаналізовано існуючі технології прогріву.

Доля холостого ходу тепловозного дизеля складає більше 50% всього часу його роботи, а в осінньо-зимовий період експлуатації вона збільшується за рахунок режимів прогріву дизеля ще на 10...12 %. Згідно проведеного аналізу визначено, що на режимах прогріву до 1997 р на залізницях України витрачалося майже 20 тис. т дизельного палива щороку. Впровадження прогріву за рахунок періодичної роботи дизелів дозволило зменшити загальні витрати палива на 40-50%. Однак збільшення кількості запусків дизелів, та їх періодична робота на неномінальних режимах викликає підвищений знос деталей та зниження загального ресурсу дизелів.

Задачам зменшення витрат енергоресурсів та зносів дизельних двигунів при прогріві присвячено велике число наукових робіт. Найбільший внесок в цьому напрямку зробили такі вчені та практики: Біленький А.Д., Боднар Б.Є., Верьовочкін Г.Є., Володін А.І., Грищенко С.Г., Дробаха В.І., Жалкін С.Г., Зайончковський В.М., Кудряш А.П., Кузьмич В.Д., Лахно В.А., Лебедев Ю.А., Мартишевський М.І., Маханько М.Г., Могила В.І., Овчинников В.М., Синенко П.Н., Смишляєв О.Є., Тартаковський Е.Д., Хоміч А.З., Черток Е.Б., Шумков Е.Б., та інші.

Ідея зменшення часу роботи дизеля на неномінальних режимах за рахунок впровадження системи прогріву спонукала розробку різних систем прогріву.

Розроблені в різний час системи прогріву запропоновано класифікувати за рядом критеріїв: місце монтажу, вид джерела теплоти, спосіб керування. Детальний аналіз розроблених систем, їх показників та характеристик показав, що найбільш пристосованими до експлуатації в умовах дизельного рухомого складу є системи, у яких нагрівання теплоносіїв здійснюється електричним нагрівачем.

Кожна розроблена система здійснює прогрів згідно певної технології. Під технологією прогріву слід розуміти сукупність технологічних впливів на енергетичну установку для підтримання температури її теплоносіїв на необхідному рівні. Аналіз реалізованих технологій прогріву показав, що в більшості випадків використовується циклічний принцип прогріву. Тобто температури теплоносіїв коливаються в межах певного температурного

інтервалу завдяки вмиканням чи вимиканням нагрівального елемента в певні моменти часу, що призводить до значних теплових витрат в процесі прогріву.

В результаті виконаного в першому розділі аналізу був зроблений висновок про необхідність зменшення витрат енергоносіїв на прогрів. Зменшення витрат на прогрів усіх видів дизельного рухомого складу може бути виконано за рахунок впровадження електричних систем прогріву з відповідним універсальним програмним забезпеченням. Також були визначені цілі та задачі дослідження роботи.

У другому розділі розглянуто вплив режиму прогріву роботою дизеля на його ресурс, визначена експлуатаційна доцільність застосування систем прогріву на дизельному рухомому складі Укрзалізниці, намічені шляхи зменшення витрат енергоресурсів на прогрів.

Застосування прогріву енергетичних установок тепловозів та дизель-поїздів за рахунок роботи дизеля в режимі холостого ходу визначає необхідність оцінки впливу цього режиму на знос дизеля та його ресурс.

Робочий процес дизелів в режимах самопрогріву характеризується незадовільними показниками. Причиною цього є погіршення умов розпилювання палива, збільшення періоду затримки займання, що характерно для малих циклових подач палива. Протікання робочого процесу погіршується також з-за низького температурного стану дизеля. На режимах прогріву виникає інтенсивне закоксування поршневих кілець, нагароутворення на поверхнях випускного тракту, лопатках соплового апарата та турбіни турбокомпресора, що впливає на зниження паливної економічності дизеля. При прогріві збільшується інтенсивність розрідження масла дизельним паливом, що негативно впливає на надійність дизеля та підвищує витрати дизельного масла.

Впровадження прогріву тепловозів та дизель-поїздів за рахунок циклічної роботи дизеля в режимі холостого ходу дозволило суттєво зменшити витрати дизельного палива на прогрів, але виникнення пускових зносів негативно впливає на загальний ресурс дизеля.

Вплив режимів прогріву роботою на холостому ході дизеля на його ресурс можна представити залежністю

$$T_{\text{диз}} = \frac{A_{\text{доп}}}{I \cdot r \cdot n}, \quad (1)$$

де $A_{\text{доп}}$ - сумарний припустимий знос спряження енергетичного агрегату, мг;

I – швидкість зношування спряжень, мг/год;

g – коефіцієнт, що враховує збільшення інтенсивності зносу деталей під час пуску дизеля;

n – кількість запусків дизеля під час простою.

Швидкість зношування спряжень можна представити у виді суми кінцевого числа однозначних і безперервних функцій

$$I_{\text{СУМ}} = \sum_{i=1}^n f_i(P_e, n, K_T, K_3), \quad (2)$$

де P_e - середній ефективний тиск, мПа;

n - швидкість обертання колінчатого вала, хв⁻¹;

K_T, K_3 - коефіцієнти, що враховують вплив технологічних та зовнішніх чинників.

Дослідження залежності (1) показали, що застосування прогріву періодичною роботою дизеля зменшує загальний ресурс енергетичної установки на 8-10 %.

Отже застосування прогріву шляхом періодичної роботи дизеля в режимі холостого ходу має ряд недоліків:

- значні витрати дизельного палива та масла;
- погіршення загального технічного стану та підвищені зноси деталей дизеля, зниження його загального ресурсу;
- забруднення навколишнього середовища;
- необхідність в додатковому обслуговуючому персоналі.

Зважаючи на вказані недоліки існуючого методу прогріву постає питання застосування альтернативних систем прогріву.

Для визначення експлуатаційної доцільності широкого впровадження систем прогріву на залізницях України проводився аналіз зниження температур дизелів різних тепловозів в режимі вільного охолодження. При цьому визначаючими приймалися експериментальні дані, що були отримані за кліматичних умов, які відповідають середньостатистичним для території України. Наша країна розташована в макрокліматичному районі з помірним, переважно континентальним кліматом, де середні температури найхолоднішого місяця (січня) лежать в межах -7...-8°C.

Аналіз експериментальних даних дозволив визначити усереднене значення безпечного простою тепловоза з непрацюючим дизелем при вказаних температурах зовнішнього повітря, $\tau \leq 2$ год.

Для визначення середньої тривалості простоїв тепловозів в експлуатації, визначався закон розподілення випадкової величини тривалості простоїв та його параметри. Гіпотеза про відповідність емпіричних даних логарифмічно-нормальному закону розподілу була підтверджена за допомогою критерію узгодженості χ^2 Пірсона. Після знаходження генеральних середніх, з'ясувалось, що середня тривалість простоїв тепловозів вантажного руху в основному депо складає 6,38 год (з середньою частотою виникнення 29,8 простоїв на місяць), а тепловозів пасажирського руху 6,78 год (з середньою частотою виникнення 25 простоїв на місяць).

При порівнянні одержаних значень з тривалістю безпечного простою тепловоза, можна зазначити, що простій з визначеною тривалістю не можливий без додаткового підводу теплоти до його енергетичної установки. Тобто теплоємність деталей водяної системи дизеля недостатня для підтримання температури води на протязі всього часу простою з непрацюючим дизелем. Що доводить доцільність впровадження систем прогріву на залізницях України

Більшість систем прогріву, що були розроблені в різний час, призначались для роботи на тепловозах в суворих умовах Півночі та Далекого Сходу. Внаслідок чого потужність їх джерела теплоти складала 45-160 кВт, що в сукупності з недосконалою технологією прогріву і обумовило їх низьку ефективність та непопулярність на залізницях України.

Отже при впровадженні систем прогріву на залізницях України, економії енерговитрат на прогрів можливо досягти завдяки удосконаленню технології прогріву та адаптації систем до кліматичних умов України.

В третьому розділі визначено оптимальну технологію прогріву, ідентифіковано теплові параметри дизеля при вільному охолодженні та нагріванні, визначено шлях реалізації отриманої технології прогріву.

Оптимальний режим прогріву тепловозів та дизель-поїздів в загальному виді повинен задовольняти умовам

$$\begin{aligned} T_{\text{в}} &> 20 \dots 45, \\ Q_{\text{підв}} &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (3)$$

де $T_{\text{в}}$ – середня температура води в системі дизеля, °С;

$Q_{\text{підв}}$ – кількість підведеного тепла до енергетичної установки системою прогріву, Дж/с.

Нечітка форма описання вихідних умов дозволяє вирішувати задачу оптимізації процесу прогріву як задачу нечіткого математичного програмування. Тобто задачу досягнення нечітко поставленої цілі при нечіткому обмеженні.

Нехай нечітка ціль T задана на множині результатів Y : $\mu_T \in F(Y)$, а нечітке обмеження Q задане на множині альтернатив X : $\mu_Q \in F(X)$. Приведені нечіткі підмножини знаходяться в різних просторах. Тому для вирішення поставленої задачі було використане поняття прообразу $\overline{\mu_T}$ нечіткої множини цілей μ_T при відображенні φ

$$\overline{\mu_T}(x) = \mu_T(kFx), \quad (4)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі від води до навколишнього середовища;

F – умовна площа огороження теплоносія, м^2 .

Тобто цілі та обмеження приводяться до одного простору $\forall x \in X$.

При цьому нечітке рішення визначається як нечітка підмножина D множини X , що виникає в результаті злиття (за рахунок пересічення) нечітких цілей та нечітких обмежень

$$\mu_D(x) = (\mu_T \wedge \mu_Q)(x) = \min\{\mu_T(x), \mu_Q(x)\}. \quad (5)$$

Функція належності нечіткої підмножини D , що була одержана в результаті пересічення буде наближуватись до одиниці при переміщенні функції належності $\mu_T(x)$ до нуля (рис. 1).

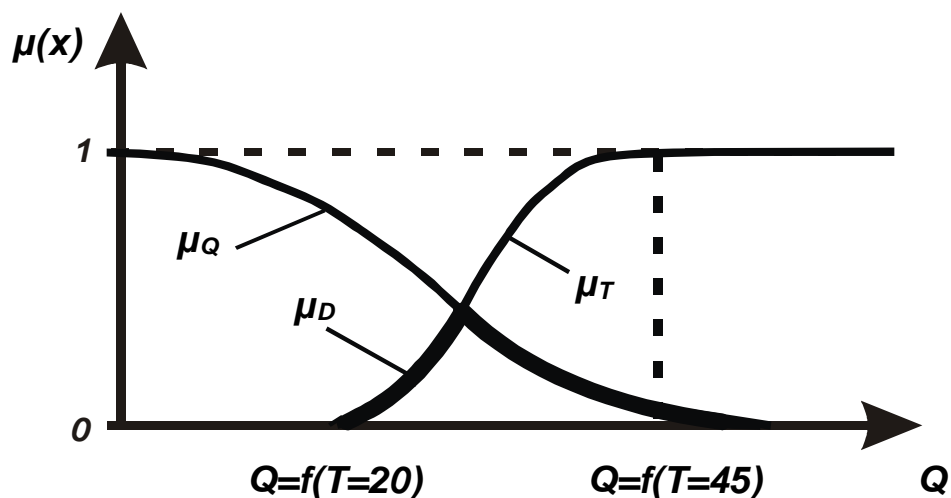


Рис. 1. Пересічення нечітких цілей та обмежень.

Тобто зменшення кількості необхідного при прогріві енергетичної установки тепла можна досягти шляхом постійного підтримання температури води на мінімально-допустимому рівні.

Для цього потужність нагрівального елементу системи повинна мати можливість змінюватись у відповідності до фактичних витрат тепла енергетичною установкою.

За результатами досліджень теплових витрат енергетичною установкою було визначено, що при температурі навколишнього середовища -10°C , в залежності від серії тепловоза, потужність нагрівального елементу, необхідна для підтримання середньої температури води в системі на рівні $+45^{\circ}\text{C}$ повинна складати 14-18 кВт, що суттєво різниться від потужності систем, що розроблялись раніше.

Удосконалення технології прогріву неможливе без детального дослідження процесів нагрівання та охолодження систем дизелів. Одним з параметрів, що обумовлюють тепловий стан дизеля під час прогріву є темпи охолодження ($m_{\text{охол}}$) та нагрівання ($m_{\text{нагр}}$) Визначення темпу охолодження було побудовано на дослідженні експериментальних даних щодо охолодження енергетичної установки тепловоза при різних температурах навколишнього середовища. Обробка експериментальних даних показала, що при зміні температури навколишнього середовища суттєво змінюється і темп охолодження дизеля. Тобто між цими величинами існує певна залежність. Після чого значення темпів охолодження були представлені в координатах $m_{\text{охол}}T_{\text{НС}}$ та апроксимовані методом найменших квадратів. При цьому була одержана залежність виду

$$m_{\text{охол}} = -0,0001 \ln(T_{\text{НС}} + 17) + 0,0004 \quad , \quad (6)$$

де $T_{\text{НС}}$ – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.

Аналіз експериментальних даних по роботі електричної системи прогріву дозволив визначити також залежність темпу нагріву енергетичної установки від температури навколишнього середовища та потужності нагрівального елементу

$$m_{\text{нагр}} = 7 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 + 6 \cdot 10^{-6} \cdot Q + 2 \cdot 10^{-5} \cdot T_{\text{НС}} \quad , \quad (7)$$

де Q – потужність нагрівального елементу системи прогріву, кВт.

Враховуючи одержані залежності темпів охолодження та нагрівання енергетичної установки, її тепловий стан під час прогріву буде описуватись залежностями

$$T_{\text{охол}} = (T_B^{\text{ПОЧ}} - T_{\text{НС}}) \cdot e^{-m_{\text{охол}} \cdot \tau} + T_{\text{НС}} \quad (8)$$

$$T_{\text{нагр}} = \frac{Q}{m_{\text{нагр}} \cdot C} + \left(T_B^{\text{ПОЧ}} - T_{\text{НС}} - \frac{Q}{m_{\text{нагр}} \cdot C} \right) \cdot e^{-m_{\text{нагр}} \cdot \tau} + T_{\text{НС}},$$

де: C – повна теплоємність енергетичної установки, Дж/°С;

$T_B^{\text{ПОЧ}}$ – початкове значення температури води в системі, °С;

τ – час охолодження чи нагрівання, с.

Аналітичне дослідження роботи системи прогріву тепловозу 2ТЕ116 згідно визначеної технології прогріву показало, що при температурі навколишнього середовища -10°C , температура води понизиться з $+90^\circ\text{C}$ до $+45^\circ\text{C}$ за 194,8 хв. (3,25 год.), за умови постійного прокачування води електричним насосом через системи енергетичної установки. При температурі води $+45^\circ\text{C}$ ввімкнеться нагрівальний елемент системи прогріву. Для підтримання постійного значення температури води теплопродуктивність нагрівального елемента буде відповідати тепловим витратам системи, які в цей момент становитимуть 14,62 кДж/с.

Складність в реалізації запропонованої технології прогріву полягає в тому, що на сьогоднішній день не існує автоматичних регулювальних пристроїв для систем прогріву, які могли б поступово змінювати потужність нагрівального елемента відповідно до зміни теплового стану енергетичної установки. Проведені дослідження процесів прогріву тепловозів та дизель поїздів вказують на неможливість їх повної формалізації. На процес прогріву в різній мірі впливає ряд факторів, що мають випадковий характер (рис. 2).

Одним з способів подолання труднощів при управлінні в умовах, що не підлягають повній формалізації, є використання нечітких понять та знань, проведення операцій з використанням нечітких логічних правил та одержання на їх основі нечітких логічних виводів.



Рис. 2. Класифікація факторів, що впливають на процес прогріву тепловозів та дизель-поїздів.

В четвертому розділі проведено визначення параметрів нечіткого контролера для керування системою прогріву. Визначені стадії обробки інформації в нечіткому контролері керування системою прогріву. Проведений числовий експеримент для визначення дієздатності розробленого нечіткого контролера системи прогріву. Визначена економічна ефективність від удосконалення технології прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів.

При визначенні вхідних змінних для пристрою, що буде реалізовувати технологію прогріву (нечіткий контролер) враховувалось, що основним критерієм при визначенні керуючого впливу повинна виступати температура води в критичній точці енергетичної установки « t ». Але для підвищення чутливості системи було прийняте рішення враховувати також зміну відхилення температури води « Δt ». В якості вихідної змінної була обрана потужність нагрівальної установки « w ».

Для побудови функцій належності застосовувався метод, оснований на використанні стандартного набору кривих функцій належності. Для відображення функцій належності була обрана крива Гауса.

Після введення нечітких значень формувалась база словесних (лінгвістичних) правил. Для системи прогріву тепловоза чи дизель-поїзда розроблена база правил складається з десяти лінгвістичних правил

$$\{R_i\}_{i=1}^{10} = \left\{ \begin{array}{l} R_1: \text{якщо } t=VL, \text{ то } w=BGG; \\ \text{чи} \\ R_2: \text{якщо } t=LW, \text{ то } w=MDM; \\ \text{чи} \\ R_3: \text{якщо } t=NL, \text{ то } w=ZRO; \\ \text{чи} \\ R_4: \text{якщо } t=HG, \text{ то } w=ZRO; \\ \text{чи} \\ R_5: \text{якщо } t=LW, \text{ та } \Delta t=SM, \text{ то } w=MDM; \\ \text{чи} \\ R_6: \text{якщо } t=NL, \text{ та } \Delta t=SM, \text{ то } w=ZRO; \\ \text{чи} \\ R_7: \text{якщо } t=NL, \text{ та } \Delta t=MD, \text{ то } w=SML; \\ \text{чи} \\ R_8: \text{якщо } t=NL, \text{ та } \Delta t=BG, \text{ то } w=MDM; \\ \text{чи} \\ R_9: \text{якщо } t=LW, \text{ та } \Delta t=MD, \text{ то } w=BGG; \\ \text{чи} \\ R_{10}: \text{якщо } t=LW, \text{ та } \Delta t=BG, \text{ то } w=BGG, \end{array} \right. \quad (9)$$

де $t, \Delta t, w$ – вхідні та вихідні змінні;

$VL, LW, SM, MD, NL, HG, BG$ – терми вхідних лінгвістичних змінних;

BGG, MDM, SML, ZRO – терми вихідних лінгвістичних змінних.

Сформульована база правил пов'язує лінгвістичні змінні та описує стратегію керування. При визначенні параметрів функцій належності лінгвістичних змінних та формуванні бази продукційних правил використовувались результати моделювання процесу прогріву тепловоза.

Алгоритм функціонування нечіткого контролера передбачає ряд взаємопов'язаних процедур з оброблення інформації:

- композиція вхідної змінної та умовної частини правила;
- нечітка імплікація;
- агрегація;
- дефазифікація.

Результатом нечіткого виводу, що включає процедури композиції, імплікації та агрегації відносно бази правил (8) при певних значеннях вхідних змінних буде загальний висновок з бази правил, що характеризується функцією належності $\mu_B(w)$

$$\mu_B(w) = \max\{\mu_{BGG}(w), \min\{\mu_{MDD}(w), \min(\mu_{LW}(t), \mu_{SM}(\Delta t))\}, \min\{\mu_{BGG}(w), \min(\mu_{LW}(t), \mu_{MD}(\Delta t))\}, \min\{\mu_{ZRO}(w), \min(\mu_{NL}(t), \mu_{SM}(\Delta t))\}\}. \quad (10)$$

Заключною процедурою в нечіткому контролері є операція перетворення нечіткого загального виводу в фізичну змінну (дефазифікація). Аналіз методів дефазифікації показав, що для нечіткого контролера керування системою прогріву найбільш прийнятними є методи центру тяжіння та центру області

$$z(B) = \frac{\int z \mu_B(z) \cdot dz}{\int \mu_B(z) \cdot dz}. \quad (11)$$

Як видно зі структурної схеми (рис. 3) вихідний сигнал, що виникає в процесі функціонування нечіткого контролера, через тиристорний регулятор змінює потужність нагрівального елемента системи прогріву.

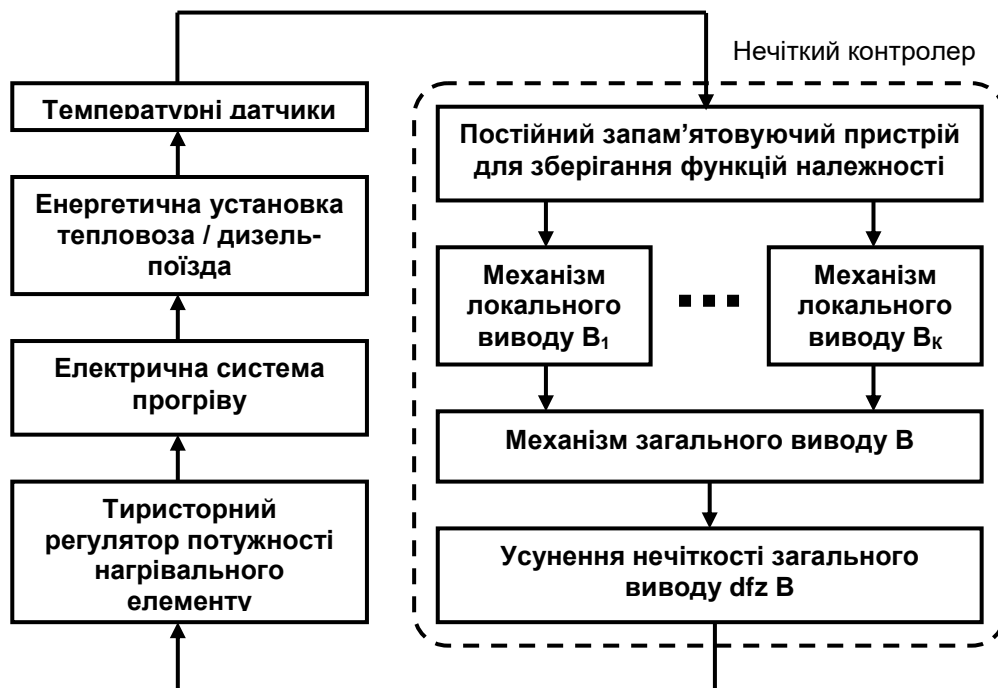


Рис. 3. Структурна схема електричної системи прогріву з нечітким керуванням

Числовий експеримент для визначення працездатності нечіткого контролера показав задовільний результат. При зміні температури навколишнього середовища з 0°C до -10°C, коливання температури води в системі охолодження тепловоза типу 2TE116 під час прогріву не перевищували 1°C. Споживана потужність системи прогріву при зовнішній температурі -10°C склала 17,5 кВт.

Економічний ефект від впровадження удосконаленої технології прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів на основі методів нечіткої логіки склав 8,48 тис. грн. на рік на секцію тепловоза вантажного руху, 6,6 тис. грн. на рік на секцію тепловоза пасажирського руху, та 4,59 тис. грн. на рік на дизель-поїзд.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження присвячені вирішенню актуальної науково-технічної задачі – удосконаленню технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів на основі методів нечіткої логіки. За результатами проведеної роботи можна зробити висновки:

- завдяки доопрацьованій математичній моделі, що характеризує вплив режимів циклічного самопрогріву на загальний ресурс дизеля визначено, що застосування прогріву періодичною роботою дизеля зменшує загальний ресурс енергетичної установки на 8-10 %;
- статистичний аналіз простоїв тепловозів в умовах експлуатації дозволив визначити середні тривалості та частоту простоїв тепловозів в експлуатації, які становлять для тепловозів вантажного руху - 6,38 год. та 29,8 простоїв на місяць, а для тепловозів пасажирського руху - 6,78 год. та 25 простоїв на місяць. Визначена для залізниць України тривалість безпечного простою тепловозів з непрацюючим дизелем $\tau \leq 2$ годин та їх частота підтверджує експлуатаційну доцільність впровадження систем прогріву;
- аналіз існуючих систем прогріву дозволив визначити електричні системи прогріву, як найбільш прості, ефективні та пристосовані до експлуатації на дизельному рухомому складі в умовах локомотивного господарства залізниць України, а також встановити, що технології прогріву енергетичних установок, побудовані на циклічному принципі приводять до значних непродуктивних витрат енергоносіїв на прогрів;
- дослідження режимів прогріву енергетичних установок тепловозів в кліматичних умовах України дозволили виявити характер залежностей

- темрів їх охолодження та нагрівання від температур навколишнього середовища та потужності нагрівального елемента системи прогріву;
- на основі методів нечіткого математичного програмування визначений загальний принцип оптимальної технології прогріву, який базується на підтриманні постійних значень температури теплоносіїв на протязі всього часу прогріву завдяки регулюванню потужності нагрівального елемента у відповідності до теплових витрат енергетичної установки тепловозу;
 - для реалізації оптимальної технології прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів розроблена лінгвістична модель управління процесом їх прогріву;
 - економічний ефект від впровадження удосконаленої технології прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів на основі методів нечіткої логіки склав 8,48 тис. грн. на рік на секцію тепловоза вантажного руху, 6,6 тис. грн. на рік на секцію тепловоза пасажирського руху, та 4,59 тис. грн. на рік на дизель-поїзд;
 - запропонована технологія прогріву енергетичних установок перспективних тепловозів та дизель-поїздів рекомендована для впровадження Головним управлінням локомотивного господарства Державної адміністрації залізничного транспорту України та використовується при розробленні нового дизельного рухомого складу ВАТ «Холдингова компанія «Луганськтепловоз».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Прогнозування ресурсу локомотивів. Тартаковський Е.Д., Зайцев В.О., Бабанін О.Б., Дацун Ю.М. // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 49. – С. 12-19.
2. Устенко О.В., Дацун Ю.М. Визначення ресурсу тепловозних дизелів // Зб. наук. праць – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 53. – С. 107 – 114.
3. Дацун Ю.М. Визначення динаміки охолодження елементів водяної системи тепловоза // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 57. – С. 41 – 46.
4. Грищенко С.Г., Дацун Ю.М. Визначення тривалості гарячого простою для впровадження системи обігріву тепловозного дизеля // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 12 – 18.

5. Дацун Ю.М. Удосконалення керування процесом прогріву тепловозних дизелів з використанням методів нечіткої логіки // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 68. – С. 232 – 238.

Додатково матеріали дисертаційної роботи викладені в працях

6. Дацун Ю.М. Методики оцінки ресурсу тепловозних дизелів. // Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов: Программа и тезисы докладов XXXI научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства. – Харьков: 2002. – С. 8.

7. Грищенко С.Г., Дацун Ю.М. Теоретичні основи розробки автоматизованих систем прогріву тепловозних дизелів // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, технологія, економіка і управління: Тези доп. другої наук.-практ. конф. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 28.

АНОТАЦІЯ

Дацун Ю.М. Удосконалення технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів на основі методів нечіткої логіки. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2005 р.

Дисертація присвячена вирішенню наукової задачі удосконалення технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів на основі методів нечіткої логіки.

У роботі проведений аналіз витрат дизельного палива на прогрів тепловозів та дизель-поїздів на залізницях України. Проаналізовані існуючі системи та технології прогріву тепловозів та дизель-поїздів, запропонована їх класифікація. Для зменшення витрат енергоносіїв на прогрів та підвищення надійності енергетичної установки визначена нова технологія прогріву, яка базується на принципі підтримання постійних значень температури води, завдяки регулюванню потужності нагрівального елемента системи прогріву.

Для реалізації оптимальної технології прогріву перспективних тепловозів та дизель-поїздів розроблена лінгвістична модель управління процесом їх прогріву.

Ключові слова: аналіз, витрати, система, прогрів тепловозів та дизель-поїздів, температура, технологія, нечіткий контролер.

АННОТАЦИЯ

Дацун Ю.Н. Совершенствование технологии прогрева тепловозов и дизель-поездов на основе методов нечеткой логики. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2005 г.

Диссертация посвящена решению научной задачи совершенствования технологии прогрева тепловозов и дизель-поездов на основе методов нечеткой логики.

В работе проведен анализ расхода дизельного топлива на прогрев тепловозов и дизель-поездов на железных дорогах Украины.

Благодаря использованию эмпирически определяемого коэффициента была доработана модель, которая позволяет определять влияние на ресурс тепловозного дизеля режимов циклического самопрогрева.

Путем статистического анализа данных простоев тепловозов в эксплуатации были определены средние значения длительности простоев, а также частота их возникновения. Сопоставляя эти данные с допустимыми значениями безопасных простоев тепловозов с неработающим дизелем при внешней температуре, соответствующей средней самого холодного месяца Украины была определена эксплуатационная целесообразность внедрения систем прогрева на железных дорогах Украины.

В работе проанализированы существующие системы и технологии прогрева тепловозов и дизель-поездов, предложена их классификация. Анализ существующих систем, а также реализованных ими технологий прогрева позволил определить их общий недостаток – применение циклического принципа прогрева, который негативно влияет на экономичность процесса.

Для определения оптимальной технологии прогрева цель – требуемая температура теплоносителей в системе и ограничение – минимальное количество подведенного тепла были представлены в общем виде. Что позволило судить о них как о нечетких множествах, а значит решать задачу оптимизации как задачу нечеткого математического программирования. Решением поставленной задачи стало определение оптимальной технологии прогрева, при которой температуры теплоносителей должны поддерживаться на необходимом минимально-допустимом уровне постоянно.

Исследования процессов прогрева тепловозов и дизель-поездов показало невозможность их полной формализации и зависимость от ряда факторов, имеющих случайный характер. Вследствие этого, для управления мощностью нагревательного элемента системы прогрева было предложено применение нечетких понятий и знаний, проведение операций с использованием нечетких логических правил и получения на их основе нечетких логических выводов.

В процессе разработки нечеткого контроллера системы прогрева (определение функций принадлежности входных и выходных переменных, формирование базы продукционных правил) были использованы данные моделирования процессов прогрева и свободного остывания энергетической установки тепловоза.

Числовой эксперимент работы электрической системы прогрева, управляемой нечетким контролером показал удовлетворительные результаты.

Экономический эффект от внедрения новой технологии прогрева перспективных тепловозов и дизель-поездов составил 8,48 тыс. грн. в год на секцию тепловоза грузового движения, 6,6 тыс. грн. в год на секцию тепловоза пассажирского движения, и 4,59 тыс. грн. в год на дизель-поезд.

Ключевые слова: анализ, расход, система, прогрев тепловозов та дизель-поездов, температура, технология, нечеткий контроллер.

ANNOTATION

Datsun Y. N. Improving the technology of locomotives and diesel-trains warm up on the basis of the fuzzy logic methods. - Manuscript.

Thesis for the Candidate's Degree in Technical Sciences in specialty 05.22.07 – rolling stock of the railways and traction of the trains; Ukrainian State Academy of a Railway Transport; Kharkov, 2005.

The thesis covers the topics of improving the technology of locomotives and diesel-trains warm up on the basis of the fuzzy logic methods.

The work gives analysis of the diesel fuel consumption for warming up the locomotives and diesel-trains at the Railways of Ukraine. The existing systems and technologies of warming up locomotives and diesel-trains have been analyzed. Their classification has been offered. For decreasing the fuel consumption for warming up and for improving the operational reliability of the power-plant, the optimum technology of warming up has been determined, which is based on the principle of maintaining the constant water temperature by regulating the power of the warming up element.

For realization of the optimum technology of locomotives and diesel-trains warming-up a linguistic model has been worked out for managing the process of their warming up.

Key words: analysis, consumption, system, warming up locomotives and diesel-trains, temperature, technology, fuzzy controller.

Дацун Юрій Миколайович

УДК: 629.424.3:621.78.013.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГРІВУ ТЕПЛОВОЗІВ ТА
ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

асистент Крамчанін І.Г.

Підписано до друку « 18 » жовтня 2005 р. формат паперу А5

Папір для тиражувальних апаратів, друк на різнографі

Умовн.-друк. арк. 0,9, обл.-вид. арк. 1,1

Замовлення № , тираж 100

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000 р.

Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м.Харків, майдан Фейєрбаха, 7.