

— розробки типового переліку енергоощадних заходів із визначенням показників їх енергетичної та екологічної ефективності;

— встановлення економічно обґрунтованих індикативних норм енергоспоживання на певний період та на перспективу.

Успішному розв'язанню цих задач може сприяти впровадження на підприємстві служби еколого-енергетичного менеджменту. Підпорядковуючись керівництву підприємства, енергоменеджер буде мати можливість безпосереднього контролю за ефективністю енерговикористання, включаючи розв'язування екологічних питань.

1. Євтухов В.Я., Корчевой Ю.П., Костюк Г.В. Комплексні підходи щодо вирішення енерго-екологічних проблем промислового підприємства // Матеріали міжнародної конференції "Інвестиції та зміна клімату: можливості для України" 10—11 липня 2002 р. — Київ. 2. Клименко В.В., Снытин С.Ю., Федоров М.В. Энергетика и климат на рубеже веков: прогнозы и реальность // Теплоэнергетика. — 2001. — № 10. — С. 61—65. 3. Закиров Д.Г., Головин Б.Н., Старцев А.П. Концепция энерго-сбережения и экологизация промышленных предприятий // Теплоэнергетика. — 1997. — № 11. — С. 22—24. 4. Асланян Г.С., Молодцов С.Д., Соловьянов А.А. Энергосбережение как важнейший компонент природоохранной политики. — 1998. — № 1. — С. 76—80. 5. Скалкин Ф.В., Канаев А.А., Копп И.З. Энергетика и окружающая среда. — Л., 1981. 6. Бут О.А., Бандурян Б.Б., Євтухов В.Я. та ін. Тепловізійні обстеження промислових підприємств — важливий інструмент на шляху до раціонального енергоспоживання // Новина енергетики. — 2003. № 1—2. — С. 39—41.

УДК 629.4.083:621.014.24

Д. Жалкін

УкрДАЗТ

ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ТЕПЛОВИЗНИМИ ДВИГУНАМИ ПІД ЧАС СЕЗОННОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Жалкін Д., 2004

The considered technique of regulation of a corner of an advancing of submission of fuel locomotives diesel engines, which based on principles of fuzzy logic also allows to lower specific expenses of fuel during operation of diesel engines in different seasons of year.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Експлуатація тепловозних дизелів у різні сезони року супроводжується значними змінами показників робочого процесу. З кліматичних чинників на дизель найбільше впливають температура зовнішнього повітря і барометричний тиск. Атмосферні умови прямо або побічно впливають на такі параметри дизелів: ефективна та індикаторна потужність (N_e і N_i), максимальний тиск горіння P_z , температуру газів, що відпрацювали T_g , тиск повітря в ресивері (наддув) — P_s , питому витрату палива g_e . На ці самі показники робочого процесу значно впливає кут випередження подачі палива ϕ_r , значення якого впливають на економічність, потужність та динамічні показники роботи дизеля і оптимальне значення для кожного режиму роботи дизеля [1, 2]. Конструкція тепловозних дизелів не передбачає зміну кута випередження подачі палива, що призводить до нераціональних витрат палива під час експлуатації. Вищесказане дає змогу сформулювати науково-технічну проблему — підвищення економічності роботи тепловозних дизелів за допомогою розробки принципів управління витратами палива під час сезонної експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Програмою реструктуризації залізничного транспорту [3] передбачається модернізація тягового рухомого складу з метою зниження витрат на його експлуатацію. Одним з перспективних напрямків такої модернізації є застосування електронних регуляторів частоти обертів колінчастого вала дизеля сумісно з системами електронного керування процесами паливоподачі [4, 5]. Для складання програми роботи таких систем можливо застосу-

вання принципів нечіткої логіки та нечіткого керування складними динамічними системами, що з успіхом використовуються в інших галузях [6] — наприклад, при управлінні роботою автомобіля, діагностуванні технічного стану літаків, оптимізації систем ремонту [7, 8]. Робота тепловозного дизеля має свої особливості, чим пояснюється необхідність детальнішого вивчення цих питань та розробки спеціальних програм регулювання, які б ураховували зміни режимів потужності та сезонів експлуатації.

Формулювання цілей статті. Мета статті полягає в науковому обґрунтуванні та практичному застосуванні методів сезонного регулювання тепловозних дизелів.

Для досягнення цього необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити моделі зміни витрат палива тепловозними дизелями залежно від температури довкілля, кута випередження подачі палива та режиму роботи дизеля;
- розробити методику зміни кута випередження подачі палива залежно від зміни сезону експлуатації тепловозного дизеля.

Регулювання кута випередження подачі палива залежно від сезону експлуатації тепловозного дизеля. Експеримент на дизелі доволі трудомісткий та тривалий. Тому при випробуваннях складають статистичну математичну модель, що адекватно описує досліджуваний процес.

Нині найпоширеніші так звані функціональні математичні моделі об'єкта дослідження, що імітують поведінку оригіналу у визначених умовах.

Функціональні математичні моделі дають змогу апроксимувати рівняння стану системи іншою функцією

$$\varphi(y_J, x_1, \dots, x_J, \dots, x_k, t, A_1, \dots, A_J, \dots, A_k) = 0, \quad (1)$$

де деякі параметри $A_1, \dots, A_J, \dots, A_k$ підбирають на основі експериментальних даних, отриманих під час визначених дослідів на об'єкті дослідження, так, щоб у всьому полі дослідження об'єкта відхилення функції Ψ було не більшим від припустимого значення для конкретних цілей дослідження. В результаті реалізується принцип відповідності або адекватності моделі. Для розв'язання більшості реальних прикладних техніко-економічних задач доцільно застосовувати поліноміальні моделі порядку m , що для k факторів записують як

$$y_J = A_0 + \sum_1^k A_J x_J + \sum_{i \neq e}^k A_{eJ} x_e x_J + \sum_1^k A_{JJ} x_J^2 + \dots$$

На підставі експериментальних результатів можна розрахувати тільки статистичні оцінки (a_0, a_{je}, \dots) справжніх коефіцієнтів поліноміальної моделі A_0, A_i, A_{ie} , і одержати стохастичну модель для розрахунку значень вихідної функції у полі досліджень

$$y_1 = a_0 + \sum_1^k a_J x_J + \sum_{i \neq e}^k a_{eJ} x_e x_J + \sum_1^k a_{JJ} x_J^2 + \dots + \varepsilon, \quad (2)$$

де ε — відображення впливу випадкових чинників (випадкова величина з математичним очікуванням, що дорівнює нулю).

Оптимізаційну задачу в плануванні багатофакторного експерименту розв'язують різними методами (градієнтний, симплекс-метод тощо). Найчастіше застосовується градієнтний метод чи метод крутого сходження. Використання градієнтного методу в цих умовах забезпечує розв'язання задачі оптимізації з найменшою кількістю дослідів [9].

Відповідно до розглянутої методики визначено коефіцієнти регресійної моделі питомих ефективних витрат палива та максимального тиску при згорянні палива для дизеля типу 1А — Д49 тепловозів 2ТЕ116.

Після виконання покрокової регресії одержано коефіцієнти моделей:

$$\begin{aligned}
 ge &= 438.835 + 4.184 \cdot 10^{-4} \cdot n + 1.531 \cdot 10^{-4} \cdot t_0 + 4.783 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{\varphi_r} - 1104.666 \cdot n \cdot \frac{1}{\varphi_r} \\
 &- 4,661 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{\varphi_r} \cdot t_0 + 1.572 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot t_0 + 9.107 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 + 217199310.624 \cdot \frac{1}{\varphi_r^2} + 5,699 \cdot 10^{-5} \cdot t_0^2; \\
 Pz &= 23.421 - 1.14 \cdot 10^{-5} \cdot n + 1.298 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\varphi_r} - 1,78 \cdot 10^{-6} \cdot t_0 - 1.542 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot \frac{1}{\varphi_r} + \\
 &+ 3,056 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1}{\varphi_r} \cdot t_0 - 1.111 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot t_0 + 1.57 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 3,539 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{\varphi_r^2} - 5,849 \cdot 10^{-6} \cdot t_0^2
 \end{aligned} \quad (3)$$

Коефіцієнт регресії для моделі ge $R=0,989$, для моделі Pz , $R=0,967$, що свідчить про щільність зв'язку між факторами, які введені до моделі, і функціями відгуку. Усі введені до моделі чинники значимі на рівні $p=0,05$.

Одержані регресійні значення зміни ge та Pz від змін n , t_0 та φ_r дають змогу знайти значення φ_r при зміні температури повітря t_0 та зміни частоти обертів колінчастого вала n . Для визначення значень φ_r , за яких забезпечується мінімальна витрата палива при роботі дизеля з відповідною n під час відповідній t_0 необхідно розв'язати нелінійне рівняння $ge = \int (t_0, n, \varphi_r)$ при обмеженні $Pz \leq P_{дон}$.

Одержані результати [10] свідчать, що при роботі дизеля необхідно забезпечити безперервне регулювання кута випередження подачі палива. При зниженому n кут подачі палива φ_r необхідно збільшувати від ВМТ, при зниженні t_0 при роботі дизеля на режимах, близьких до номінального, φ_r необхідно зменшувати для зниження Pz .

Існуюча система паливopодавання дизеля не може забезпечити потрібне регулювання φ_r , яке можливе тільки при застосуванні електронних систем регулювання. Найважливішим питанням є складання програми для мікропроцесора регулятора.

Повна математична модель дизеля занадто складна, і дотепер не створена. Через це більшість систем керування дизелів використовують табличну модель, отриману експериментально на випробуваннях і з урахуванням досвіду експертів [9]. Серйозний недолік такої моделі — складність створення багатовимірних таблиць і великий обсяг пам'яті, необхідний для їхнього запису. Сучасні табличні системи використовують переважно регулювання за двома параметрами і, відповідно, тривимірні таблиці, що описують поверхні. Пам'яті під таблицю потрібно від 64 Кбайт до 1 Мбайт (іноді і більше). Спроби знизити розрядність вхідних і вихідних перемінних і застосувати інтерполяцію не привели до успіху: обчислювальної потужності контролерів виявилось мало для забезпечення необхідного періоду регулювання (одиниці мілісекунд).

Нечітка логіка дає змогу замінити таблиці правилами (кілька сотень) і реалізувати керування за великою кількістю вхідних параметрів. Поняття нечіткої множини — це спроба математичної формалізації нечіткої інформації для побудови математичних моделей. В основі цього поняття лежить думка про те, що складові цієї множини елементи, що володіють загальною властивістю, можуть мати цю властивість у різному ступені і, отже належати до цієї множини з різним ступенем. При такому підході висловлення типу “такий-то елемент належить певній множині” утрачають сенс, оскільки необхідно вказати “наскільки сильно” чи з яким ступенем конкретний елемент задовольняє властивості множини.

Алгоритм фазікерування [11] складається з перетворення вхідних змінних фазірегулятора в його вихідні змінні за допомогою таких взаємозалежних процедур:

- перетворення нечітких вхідних фізичних змінних фазирегулятора, одержуваних від вимірювальних давачів з об'єкта керування, в безрозмірні відносні змінні;
- обробка логічних висловлень щодо безрозмірних вхідних і вихідних змінних фазирегулятора;
- перетворення вихідних безрозмірних відносних змінних фазирегулятора у фізичні керуючі змінні.

Побудову нечіткої системи регулювання дизеля розглянемо на прикладі підсистеми вибору значень кутів випередження подачі палива дизеля 1А-5Д49, значення яких дають змогу одержати мінімальні витрати g_e , при значеннях P_z , що не перевищують допустимих значень. Вибір значень φ_r проводимо при змінних температурах t_0 та частоті обертів колінчастого вала n .

Для вихідних змінних t_0 , n визначаємо такі нечіткі множини: min, нср, ср, вср, max — 5 рівнів; для φ_r : min, ср, max — 3 рівня. Для величин g_e та P_z також вибираємо нечіткі множини з 5 та 7 рівнів — Рис. 1.

Приймаємо трикутні функції належності, метод дефазіфікації “центр ваги”. У цьому разі поведінка g_e та P_z при зміні t_0 та φ_r при фіксованому n описується за допомогою 35 правил. Для $n=1000 \text{ хв}^{-1}$ приклад одержаної нечіткої бази наведено у табл. 1.

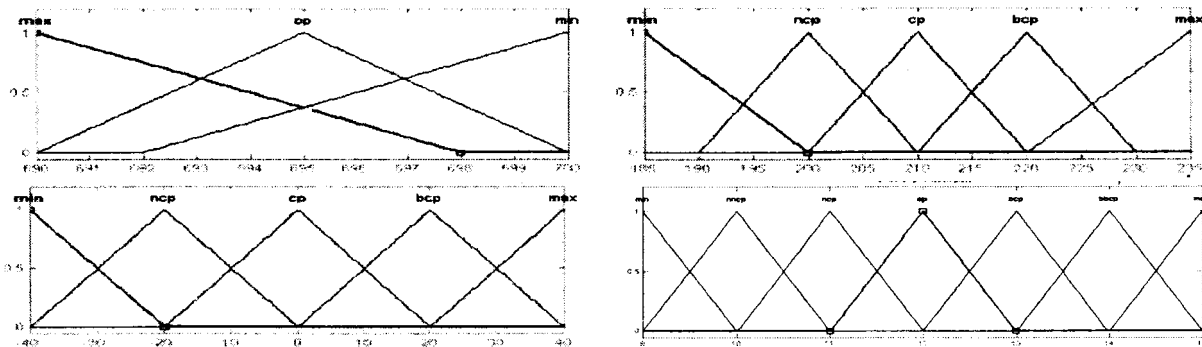


Рис. 1. Функції належності g_e , P_z , t_0 та φ_r

Таблиця 1

Нечітка база змін g_e та P_z

№	n	t_0	φ_r	g_e	P_z	№	n	t_0	φ_r	g_e	P_z
1	max	max	max	нср	вср	19	max	ср	нср	нср	нср
2	max	max	ввср	нср	ср	20	max	ср	ннср	ср	ннср
3	max	max	вср	нср	нср	21	max	ср	min	ввср	ннср
4	max	max	ср	нср	ннср	22	max	нср	max	min	ввср
5	max	max	нср	ср	ннср	23	max	нср	ввср	min	ввср
6	max	max	ннср	ср	min	24	max	нср	вср	ннср	вср
7	max	max	min	max	min	25	max	нср	ср	ннср	вср
8	max	вср	max	ннср	вср	26	max	нср	нср	ннср	ср
9	max	вср	ввср	нср	вср	27	max	нср	ннср	ннср	нср
10	max	вср	вср	нср	ср	28	max	нср	min	вср	нср
11	max	вср	ср	нср	ср	29	max	min	max	min	max
12	max	вср	нср	нср	ннср	30	max	min	ввср	min	ввср

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	max	вср	ннсп	сп	ннсп	31	max	min	вср	min	ввср
14	max	вср	min	ввср	min	32	max	min	сп	min	вср
15	max	сп	max	ннсп	вср	33	max	min	нсп	ннсп	вср
16	max	сп	ввср	нсп	вср	34	max	min	ннсп	ннсп	сп
17	max	сп	вср	нсп	сп	35	max	min	min	сп	нсп
18	max	сп	сп	нсп	нсп						

Залежності зміни g_e та P_z при зміні t_0 та φ_r наведено на рис. 2.

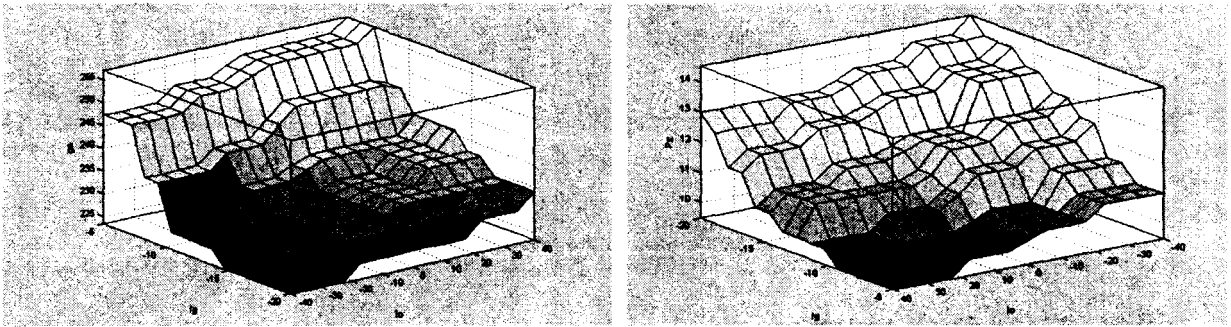


Рис. 2. Залежність питомої витрати палива та максимального тиску при згорянні від зміни температури та кута випередження подачі палива

Можна зробити висновок, що нечіткий апроксиматор добре описує складну нелінійну залежність між розглянутими показниками та дає змогу визначити значення кутів подачі палива, що забезпечують мінімум витрат палива.

Об'єднання правил регулювання для різних термів n дало змогу скоротити їх загальну кількість до 25.

Таблиця 2

Програма регулювання дизеля зміною кута подачі палива

№	n	t_0	φ_r	№	n	t_0	φ_r
1	max	max	вср	14	сп	нсп	max
2	max	вср	вср	15	сп	min	max
3	max	сп	вср	16	нсп	max	max
4	max	нсп	нсп	17	нсп	вср	max
5	max	min	min	18	нсп	сп	max
6	вср	max	вср	19	нсп	нсп	max
7	вср	вср	вср	20	нсп	min	max
8	вср	сп	вср	21	min	max	сп
9	вср	нсп	сп	22	min	вср	сп
10	вср	min	нсп	23	min	сп	сп
11	сп	max	max	24	min	нсп	сп
12	сп	вср	max	25	min	min	сп
13	сп	сп	max				

Розроблена програма регулювання дизеля забезпечує мінімально можливі значення витрат палива g_e при значеннях P_z , що не перевищують допустимих ($P_z \leq 12$ мПа) значень, та заданих за тепловозною характеристикою значеннях N_e — рис. 3.

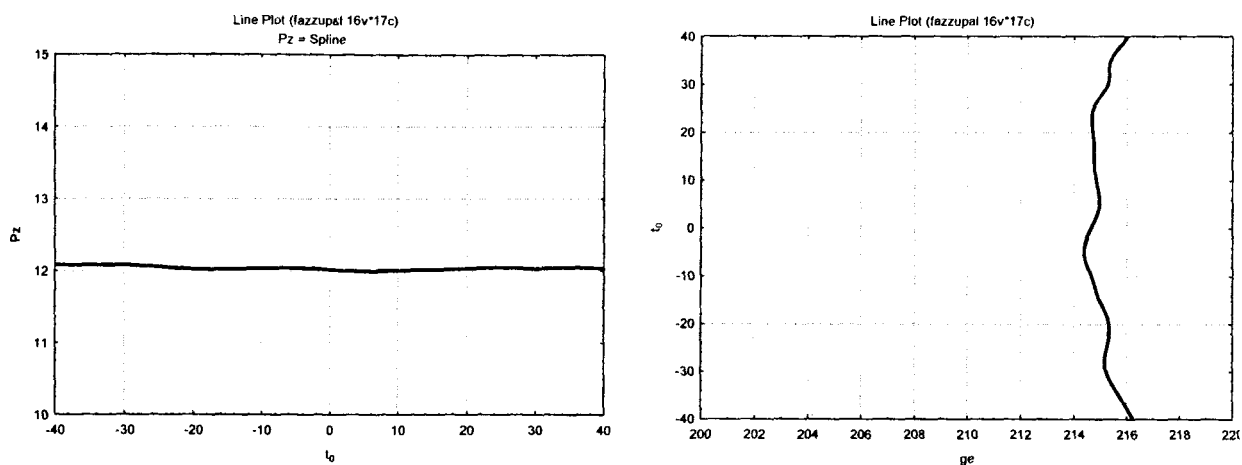


Рис. 3. Зміни P_z та g_e при зміні t_0 та безперервному регулюванні Φ_r

Висновки та перспективи

1. Одержані залежності зміни питомих витрат палива тепловозними дизелями від умов експлуатації дають змогу розробити програму безперервного регулювання кута випередження подачі палива, що дає змогу зменшити витрати палива у різні сезони року.

2. Розроблена програма регулювання кута випередження подачі палива, що основана на нечіткій логіці дає змогу знизити середньоексплуатаційну витрату палива дизелями на 5—7 %.

3. Одержані результати можуть бути використані при модернізації тепловозних дизелів встановленням електронних регуляторів та розробкою систем електронного впорскування палива для вітчизняних дизелів типу Д80.

1. Симсон А.Э., Хомич А.З., Куриц А.А. и др. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания. М., 1987. 2. Вплив сезонних факторів на техніко-експлуатаційні показники тепловозних дизелів типу Д-80 / Звіт про НДР № ДР 0199U003100, ХарДАЗТ. — Харків, 2001. — 103 с. 3. Програма та концепція реструктуризації на залізничному транспорті України. — К.: Укрзалізниця, 1998. — 145 с. 4. Азаренко В.А., Аникиев И.П. и др. Электронный регулятор дизеля тепловоза ЧМЭЗ // Локомотив — 2002. — № 3 — С. 24—28. 5. Коссов Е.Е., Нестрахов А.С. и др. Микропроцессорная система для регулирования дизель-генератора // Локомотив -2002. — № 12 — С. 24—26. 6. Мітюшкін Ю.І. Синтез і настройка баз нечітких знань для моделювання багатовимірних залежностей: Автореф. дис... канд. техн. наук: 01.05.02 — Вінниц. держ. техн. ун-т. — Вінниця, 2002. — 19 с. 7. Тамаргазін О.А. Розробка методів оцінки ефективності і вдосконалення керування системою технічного обслуговування пасажирських літаків: Автореф. дис... д-ра тех. наук: 05.22.20 — Нац. авіаційний ун-т. — К., 2001. — 40 с. 8. Касьян О.В. Принятие решений в условиях неопределенности при диагностировании авиационного оборудования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2002. — № 1. — С. 10—15. 9. Крутов В.И. Сборник задач по автоматическому регулированию двигателей внутреннего сгорания. — М., 1990. 10. Підвищення паливної економічності і надійності дизелів в умовах сезонної експлуатації / Жалкін Д.С., Крашенінін О.С. та інші. / Звіт про науково-дослідну роботу № ДР 01954U13341, ХарДАЗТ. — Харків, 1995. — 156 с. 11. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. Учебное пособие — М., 2001.