

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
Міністерства освіти і науки України

Для службового користування
Прим. № _____

Александрова Тетяна Євгенівна

УДК 629.1.032

**ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ПАЛИВОПОДАВАННЯМ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ**

05.13.07 – автоматизація технологічних процесів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2003

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі системного аналізу і управління

Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор

Куценко Олександр Сергійович,

Національний технічний університет “Харківський
політехнічний інститут”,

завідувач кафедри системного аналізу і управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Воронін Альберт Миколайович,

Інститут космічних досліджень НАН України,
головний науковий співробітник;

доктор технічних наук, професор

Кузнєцов Борис Іванович,

Українська інженерно-педагогічна академія,
проректор з наукової роботи,
завідувач кафедри систем управління.

Провідна установа **Науково-виробнича корпорація “Київський інститут
автоматики”**, Міністерство промислової політики
України, м. Київ.

Захист відбудеться “ ___ ” _____ 2003 р. о 14 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої
ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”
за адресою 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ ___ ” _____ 2003 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради Д 64.050.07, кандидат технічних наук, професор

Голоскоков О.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна є однією з провідних танкобудівних держав світу. Українські танки Т-80УД і Т-84 успішно конкурують на міжнародних виставках озброєнь та військової техніки з танками таких високорозвинених у технічному відношенні держав, як Сполучені Штати Америки (танк “Абрамс”), Англія (танк “Челенджер”), Франція (танк “Леклерк”), Німеччина (танк “Леопард-2”), Росія (танк Т-90). Танковий дизель 6ТД за своїми масогабаритними показниками є ідеальним для застосування саме в танках. Моторно-трансмісійне відділення українських танків значно менше за розмірами у порівнянні із закордонними машинами. Ця обставина визначає особливості силуету українських танків, їх малу помітність і вагу (на 10–15 т нижче чим у танках країн Західної Європи і США). Знижена вага значно підвищує прохідність танків в умовах заболоченої місцевості та при подоланні водяних перешкод за допомогою понтонних переправ і стаціонарних мостів обмеженої вантажності.

Але численні демонстрації українських танків на міжнародних виставках і салонах озброєнь та військової техніки довели не лише позитивні властивості унікального танкового дизеля 6ТД. Оцінюючи українські танки Т-80УД і Т-84, закордонні спеціалісти звертають увагу на підвищену димність відпрацьованих газів в екстремальних умовах, а саме, на початку руху при рушанні з місця і при швидкому зростанні навантаження на колінчастому валу. Цей факт пояснюється застосуванням у дизелі 6ТД механічної системи паливоподавання з відцентровим чутливим елементом. Така система має значну ступінь нерівномірності, а також високу коливальність процесу паливоподавання, наслідком чого є невисока точність регулювання кутової швидкості обертання колінчастого валу і підвищена димність відпрацьованих газів.

В дійсний час фахівцями ХКБД і ХКБМ ім. О.О. Морозова разом із спеціалістами ЛРТНДІ та НТУ “ХПІ” ведуться широкомасштабні дослідження по створенню танкової інтегрованої цифрової системи керування (ТЩСК) для перспективного українського танку. Однією із задач ТЩСК є керування паливоподаванням танкового дизеля 6ТД. Для цього треба розробити алгоритми цифрової системи керування, а також вибрати значення параметрів або констант цих алгоритмів щоб забезпечити високу якість процесів паливоподавання. Отже, задача параметричного синтезу цифрової системи паливоподавання танкового дизеля 6ТД є актуальною і перспективною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась у відповідності з держбюджетною темою Міністерства освіти і науки України “Розробка електронного цифрового регулятора паливоподавання танкового дизеля 6ТД” шифр “Персей”, що входить до плану науково-дослідних робіт Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” на 2002–2004 р. за № М–2415, а також у відповідності з господарським

договором між Національним технічним університетом “Харківський політехнічний інститут” і Львівським радіотехнічним науково-дослідним інститутом за № 24135 від 31.10.2002 р. по розробці алгоритмів керування паливоподаванням танкового двигуна 6ТД в рамках теми “Кольє” (РК №0197V017576).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка цифрової електронної системи паливоподавання танкового дизеля 6ТД з покращеними експлуатаційними характеристиками та вибір на основі теоретичних та експериментальних досліджень параметрів системи, що дозволяють підвищити ефективність роботи дизеля.

Для досягнення поставленої мети треба вирішити такі задачі:

- розробити структурну схему цифрової системи паливоподавання дизеля 6ТД;
- розробити математичну модель збуреного руху замкненої системи паливоподавання;
- проаналізувати зовнішні збурення, що діють на об’єкт керування;
- провести ідентифікацію математичної моделі;
- розробити логічну схему алгоритму керування;
- визначити вимоги до системи керування і формалізувати їх;
- вирішити задачу вибору параметрів або констант алгоритму керування паливоподаванням дизеля 6ТД;
- зробити статистичну перевірку отриманого рішення;
- здійснити експериментальну перевірку працездатності розробленої системи;
- зробити порівняння розробленої електронної цифрової системи паливоподавання дизеля 6ТД з серійною механічною системою.

Об’єкт дослідження – процес паливоподавання танкового дизеля 6ТД, що визначає його експлуатаційні характеристики.

Предмет дослідження – електронна система паливоподавання танкового дизеля 6ТД.

Методи дослідження, що застосовані в роботі:

- методи математичного моделювання при розробці математичної моделі збуреного руху замкненої системи паливоподавання;
- методи імітаційного моделювання для генерації випадкової функції зовнішнього збурення на колінчастому валу дизеля;
- методи ідентифікації математичних моделей при визначенні параметрів моделі збуреного руху замкненої системи;
- методи теорії автоматичного керування при побудові областей стійкості замкненої системи паливоподавання в площині параметрів цифрового регулятора;

- методи теорії факторного експерименту для рішення задачі параметричної оптимізації замкненої системи паливоподавання;
- експериментальні методи досліджень динамічних процесів для експериментальної перевірки працездатності розробленої електронної цифрової системи паливоподавання дизеля 6ТД і порівняння її з серійною механічною системою.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає:

- в розробці математичної моделі збуреного руху замкненої системи паливоподавання танкового дизеля 6ТД з електронним аналоговим і цифровим все режимним регулятором паливоподавання (ВРП);
- в розробці метода стохастичної ідентифікації динамічних систем і застосуванні цього методу для ідентифікації параметрів математичної моделі замкненої системи паливоподавання дизеля 6ТД;
- в формалізації вимог до електронного ВРП і подання цих вимог у вигляді вимоги мінімуму адитивного інтегрального квадратичного функціоналу;
- в розробці методики вибору вагових коефіцієнтів адитивного функціоналу і застосування цієї методики до функціоналу, який у формалізованому вигляді визначає вимоги до електронного ВРП;
- в рішенні задачі параметричного синтезу електронного ВРП із застосуванням теорії факторного експерименту.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи знайшли використання в ХКБМ ім. О.О. Морозова, ХКБД та ЛРТНДІ в процесі розробки електронної цифрової системи паливоподавання танкового дизеля 6ТД, а також у навчальному процесі підготовки спеціалістів за спеціальністю 7.092201 – електричні системи і комплекси транспортних засобів.

Особистий внесок здобувача. Частина наукових праць здобувача здійснена у співавторстві. В роботі [1] автору належить ідея застосування методів імітаційного моделювання для оптимізації динамічних систем, що знаходяться під впливом випадкових зовнішніх збурень. Проф. Александров С.С. і д.т.н. Гриценко В.М. розробили структурну схему алгоритму оптимізації.

В публікаціях [2, 3] автору належить розробка методу стохастичної ідентифікації. Доцент Карпенко В.О. застосував цей метод для ідентифікації параметрів колісної машини, а доцент Рафалович О.Я. розробив програмний продукт, що реалізує запропонований автором метод.

В роботі [4] автору належить розробка математичних моделей збуреного руху систем, що досліджуються, а доценту Александровій І.Є. належить ідея генерації одиничного білого шуму за допомогою датчика випадкових чисел.

В роботі [6] автору належить ідея заміщення часового запізнення між переміщенням рейки паливного насосу і реалізацією відповідного моменту диференціальним рівнянням аперіодичної ланки другого порядку.

В роботі [9] автором розроблена методика вибору вагових коефіцієнтів адитивного функціоналу якості. Доц. Александровою І.Є. ця методика запропонована для рішення оптимізаційних задач економічної кібернетики.

В роботі [10] автором здійснений вибір параметрів електронного регулятора паливopодавання для детермінованого об'єкту, а доц. Ніконовим О.Я. зроблені розрахунки перехідних процесів у замкненій системі паливopодавання.

В роботі [14] автором запропоновано застосування принципу СЗС в електронному регуляторі паливopодавання.

Апробація результатів дисертації. Окремі наукові результати дисертаційної роботи були апробовані на конференціях:

- на IV і VI Міжнародних конгресах з двигунобудування (м. Рибаче, 1999, 2001);
- на Міжнародних конференціях “Інтегровані технології та енергозбереження” (м. Алушта, 2001, 2002);
- на 8-й Міжнародній науково-технічній конференції “Современные технологии, экономика и экология в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве” (м. Алушта, 2001);
- на 8-й Міжнародній науково-технічній конференції “Автоматика`2001” (м. Одеса, 2001);
- на Міжнародній науково-технічній конференції “Перспективные направления развития конструкции автомобилей” (м. Харків, 2001);
- на Міжнародній науково-технічній конференції “Мехатроника`2001” (м. Харків, 2001);

В повному об'ємі дисертаційна робота була апробована і схвалена на засіданні науково-технічної ради ХКБМ ім. О.О. Морозова і на засіданні науково-технічної ради ДП “Завод імені Малишева”.

Публікації. За темою дисертації автором опубліковані 23 наукові статті у виданнях, що входять до Переліку ВАК України як фахові, 2 доповіді на конференціях і 1 деклараційний патент України на винахід.

Структура і об'єм роботи. Робота містить вступ, 5 розділів, висновки і рекомендації, список літератури і 3 додатки. Об'єм роботи складає 151 сторінку машинописного тексту. Робота містить 31 рисунок, 8 таблиць. Список літератури налічує 139 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, визначається мета і задачі досліджень, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, дається загальна характеристика дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено огляд патентної і науково-технічної літератури за темою дисертації, запропонована структурна схема електронного ВРП танкового дизеля 6ТД з нерегулюємим наддувом, а також поставлена задача параметричного синтезу запропонованого ВРП.

Доведено, що найбільш доцільним для використання у танковому дизелі 6ТД з нерегульованим наддувом є електронний ВРП з датчиком димності відпрацьованих газів.

Огляд патентної і науково-технічної літератури дозволив зробити висновок, що значний вклад у розвиток систем паливоподавання транспортних дизелів внесли А.М. Кац, М.А. Айзерман, І.І. Кринецький, Є.С. Ковалевський, М.І. Левін, Н.Ф. Морозов, Н.Н. Настенко, Т.Б. Андронova, О.А. Грунауер, В.І. Крутов, А.М. Борисенко, Ю.М. Колибін, М.К. Рязанцев, І.Я. Кричевський, Л.Б. Синельникова, С.З. Ягудін, Ю.С. Бородін, О.С. Епштейн, В.М. Зайнчковський, Є.Г. Заславський. Але вибір параметрів цих систем майже завжди обмежувався побудовою областей стійкості в площині параметрів ВРП. Нелінійні і нестационарні математичні моделі в процесі рішення задач параметричного синтезу майже не застосовувалися внаслідок складності отримання рішення задачі синтезу в нелінійній постановці.

При участі автора запропонована структурна схема нелінійного електронного ВРП для транспортного дизеля з нерегулюємим наддувом [14], що представлена на рис. 1.

Коли димність відпрацьованих газів не перевищує норми електронний блок формує сигнал керування у вигляді

$$U_{e\delta}[nT_0] = k_{e\delta}^* \{k_{\omega} U_{\omega}[nT_0] + k_h U_h[nT_0] + k_{\alpha} U_{\alpha}[nT_0]\}, \quad (1)$$

де T_0 – період квантування цифрового електронного блоку 8; $U_{\omega}[nT_0]$, $U_h[nT_0]$, $U_{\alpha}[nT_0]$ – квантовані вихідні сигнали датчиків 5, 6, і 7.

Після перетворення решітчастої функції (1) у функцію часу $U_{e\delta}(t)$, остання подається до входу виконавчого органу 9, який переміщує РПН у відповідний стан.

Коли димність відпрацьованих газів перевищує норму контакт 13 розмикається, а контакт 14 замикається. При цьому електронний блок 8 формує сигнал керування

$$U_{e\delta}[nT_0] = k_{e\delta}^{**} \{k_{\omega} U_{\omega}[nT_0] + k_h U_h[nT_0] + k_{\alpha} U_{\alpha}[nT_0]\}. \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
I_{\Sigma} \frac{d\omega(t)}{dt} &= M_{\Delta}[\omega(t), h(t)] - M_H[\omega(t), t]; \\
L_y \frac{di_y(t)}{dt} + r_y i_y(t) &= U_{e\sigma}(t); \\
m \frac{d^2 z(t)}{dt} + f \frac{dz(t)}{dt} + cz(t) &= k_m i_y(t); \\
T_n \frac{dh(t)}{dt} + h(t) &= z(t).
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
U_{e\sigma}[nT_0] &= k_{e\sigma} \{k_{\omega}\omega[nT_0] + k_h h[nT_0] + k_{\alpha}\alpha[nT_0]\}; \\
k_{e\sigma} &= \begin{cases} k_{e\sigma}^* & \text{при нормальній димності;} \\ k_{e\sigma}^{**} & \text{при підвищеній димності.} \end{cases}
\end{aligned}$$

В системі (3) прийняті позначення: $\omega(t)$ – кутова швидкість обертання колінчастого валу; $h(t)$ – переміщення рейки паливного насосу; $\alpha(t)$ – переміщення педалі керування паливоподаванням; $U_{e\sigma}(t)$ – сигнал керування на виході електронного блоку; $M_{\Delta}[\omega(t), h(t)]$ – активний момент, що розвивається двигуном; $M_H[\omega(t), t]$ – момент навантаження на колінчастому валі двигуна; I_{Σ} – момент інерції, що приведений до колінчастого валу; L_y, r_y – індуктивність та активний опір навою електромагніту; m – приведена маса рухомих частин електромагніту; f – коефіцієнт демпфування електромагніту; c – коефіцієнт жорсткості пружного елементу електромагніту; T_h – постійна часу гідравлічного сервомотору; $k_{e\sigma}, k_{\omega}, k_h, k_{\alpha}$ – коефіцієнти посилення електронного блоку; k_m – коефіцієнт посилення електромагніту.

Аналіз спектральної щільності випадкової функції $M_H(t)$ дозволив зробити висновок, що генерація функції $M_H(t)$ може бути здійснена за допомогою формуючої динамічної ланки, яка являє собою послідовне з'єднання двох коливальних динамічних ланок і описується системою диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned}
T_{11}^2 \overset{\circ\circ}{y}(t) + T_{12} \overset{\circ}{y}(t) + y(t) &= k \xi(t); \\
T_{21}^2 \overset{\circ\circ}{M_H}(t) + T_{22} \overset{\circ}{M_H}(t) + M_H(t) &= y(t),
\end{aligned} \tag{4}$$

де $\xi(t)$ – “білий шум”. Отже математична модель збуреного руху замкненої системи паливоподавання дизеля 6ТД (3) з випадковою функцією зовнішнього збурення $M_H(t)$ на вході статистичного еквівалентна математичній моделі (3), (4) з одиничним “білим шумом” $\xi(t)$ на вході.

Математична модель (3), (4) має декілька невизначених параметрів, оцінка яких пов'язана з певними труднощами. Це, зокрема, момент інерції I_Σ , маса m , коефіцієнт демпфування f . Замкнена система паливopодавання є складною енергетичною системою, тобто характеризується складною системою взаємодій із зовнішнім середовищем і містить елемент випадковості. Тому застосування класичних методів ідентифікації математичних моделей для складних систем не є коректним. У зв'язку з цим автором запропонований метод стохастичної ідентифікації математичних моделей складних систем, суть якого полягає в тому, що часові або частотні характеристики реального об'єкту і математичної моделі оцінюються на багатьох реалізаціях "білого шуму" $\xi(t)$ шляхом статистичної обробки результатів цих реалізацій. Застосування методу стохастичної ідентифікації дозволяє з високою ймовірністю оцінити невизначені параметри математичної моделі.

У третьому розділі сформульовані вимоги до замкненої системи паливopодавання транспортних дизелів. Формалізація цих вимог еквівалентна вимогам мінімумів інтегральних квадратичних функціоналів

$$I_\omega = M_j \left[\int_0^T \Delta\omega^2(t) dt \right]; \quad I_h = M_j \left[\int_0^T \Delta h^2(t) dt \right], \quad (5)$$

які обчислюються на рішеннях замкненої системи (3), (4). У співвідношеннях (5) через M_j позначене математичне очікування по реалізаціям "білого шуму" $\xi(t)$, ($j = 1, 2, \dots, n$). У випадку стаціонарності випадкової функції $M_H(t)$ потреба в обчисленні математичного очікування відпадає і функціонали (5) приймають вигляд

$$I_\omega = \int_0^T \Delta\omega^2(t) dt; \quad I_h = \int_0^T \Delta h^2(t) dt. \quad (6)$$

де $\Delta\omega(t)$ і $\Delta h(t)$ – відхилення відповідних змінних від їх значень у стані сталої рівноваги; T – час аналізу процесів керування.

В роботі доведено, що вимоги до замкненої системи паливopодавання транспортного ДВЗ несуть в собі елементи протиріччя, тобто зменшення функціоналу I_ω приводить до зростання функціоналу I_h і навпаки. У зв'язку з цим якість системи паливopодавання пропонується оцінювати за допомогою адитивного функціоналу

$$I = \beta_1^2 I_\omega + \beta_2^2 I_h = \int_0^T [\beta_1^2 \Delta\omega^2(t) + \beta_2^2 \Delta h^2(t)] dt, \quad (7)$$

де β_1 і β_2 – вагові коефіцієнти, що підлягають вибору.

В роботі запропонована методика вибору вагових коефіцієнтів β_1 і β_2 , які пропонується обчислювати за формулами

$$\beta_1 = \frac{I_h^*}{I_\omega^* + I_h^*}; \quad \beta_2 = \frac{I_\omega^*}{I_\omega^* + I_h^*},$$

де I_ω^* і I_h^* - мінімальні значення функціоналів (6) отримані при мінімізації тільки одного з функціоналів I_ω або I_h .

Для рішення задачі параметричного синтезу нелінійного цифрового ВРП в роботі пропонується застосування методу факторного експерименту, де параметром оптимізації обирається функціонал (7) обчислений на рішеннях замкненої системи (3), (4), а варійованими факторами – константи k_ω і k_h .

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений рішенняю задачі параметричного синтезу електронного ВРП із змінною структурою за допомогою методу факторного експерименту. Система (3), (4) одинадцятого порядку доповнювалась дванадцятим диференціальним рівнянням

$$\dot{I}(t) = \beta_1^2 \Delta \omega^2(t) + \beta_2^2 \Delta h^2(t). \quad (8)$$

Система (3), (4), (8) інтегрується з нульовими початковими умовами на інтервалі часу $[0, T]$ при j -тій реалізації “білого шуму” ξ_j , ($j = \overline{1, n}$).

В результаті для математичного очікування параметру оптимізації маємо

$$y = M_j \{I_j(T)\}, \quad (j = \overline{1, n}).$$

Доведено, що для статистичної достовірності рішення з ймовірністю 0.95 необхідне число n покласти рівним $n = 6000$, тобто обчислювати математичне очікування по 6000 реалізаціям “білого шуму”. Функція регресії апроксимується поліномом

$$y = b_0 \bar{x}_0 + b_1 \bar{x}_1 + b_2 \bar{x}_2 + b_{12} \bar{x}_1 \bar{x}_2, \quad (9)$$

де \bar{x}_1 і \bar{x}_2 - кодовані варійовані фактори k_ω і k_h .

Коефіцієнти функції регресії (9) дорівнюють:

$$b_0 = 4.24 \cdot 10^{-7}; \quad b_1 = -0.35 \cdot 10^{-7}; \quad b_2 = 0.69 \cdot 10^{-7}; \quad b_{12} = -0.11 \cdot 10^{-7}.$$

Мінімум функції регресії (9) доставляють оптимальні кодовані значення варійованих факторів

$$\bar{x}_1^* = 6.27; \quad \bar{x}_2^* = -3.18,$$

яким відповідає мінімальне значення функції (9) $y^* = 2.33 \cdot 10^{-7}$.

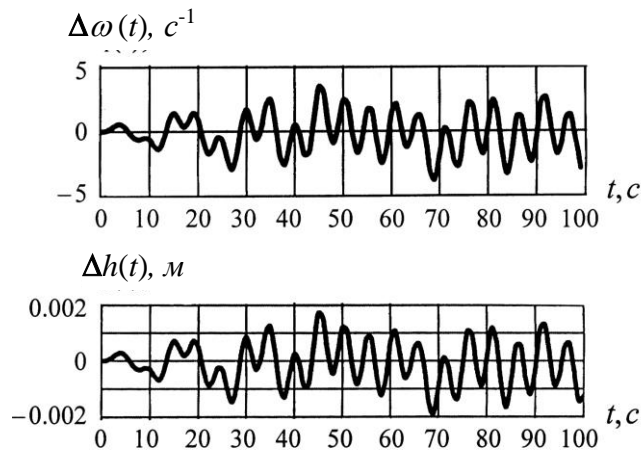
Кодованим факторам \bar{x}_1^* і \bar{x}_2^* відповідають оптимальні значення параметрів

$$k_\omega^* = 9.135; \quad k_h^* = -0.130.$$

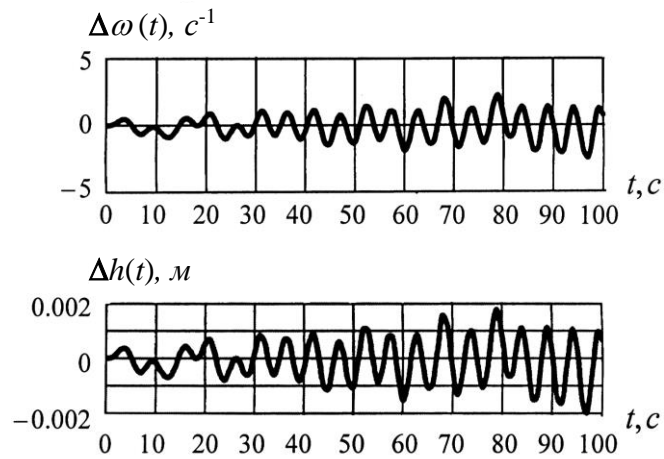
В п'ятому розділі здійснена експериментальна перевірка синтезованого електронного цифрового ВРП із змінною структурою на комплексному дослідницькому стенді МТВ з генерацією випадкових функцій навантажень на ведучих колесах танку. Випробування проводились для різних значень параметрів ВРП. Аналіз отриманих процесів, що приведені на рис. 2, дозволяє зробити висновки:

- при $k_\omega = 5; k_h = -0.1$ максимальні відхилення кутової швидкості колінчастого валу $\Delta\omega_{\max}$ і положення РПН Δh_{\max} від точки сталої рівноваги складають $\Delta\omega_{\max} = 4 \text{ c}^{-1}$; $\Delta h_{\max} = 0.002 \text{ м}$;
- при $k_\omega = 6.5; k_h = -0.025$ максимальні відхилення складають $\Delta\omega_{\max} = 2.5 \text{ c}^{-1}$; $\Delta h_{\max} = 0.002 \text{ м}$;
- при $k_\omega = 9.135; k_h = -0.130$ максимальні відхилення складають $\Delta\omega_{\max} = 2 \text{ c}^{-1}$; $\Delta h_{\max} = 0.0013 \text{ м}$.

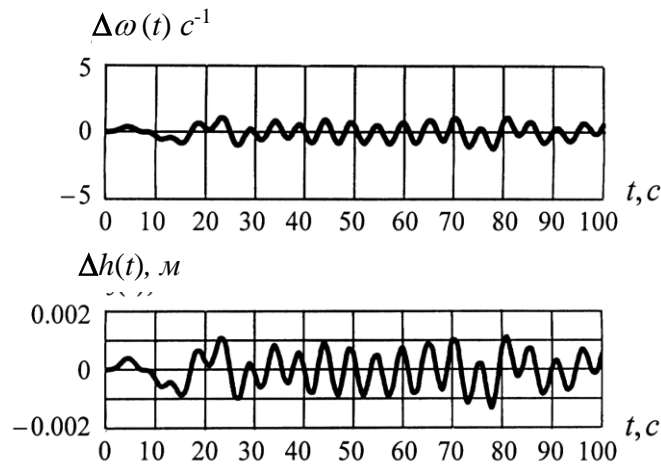
Отже вибір оптимальних значень варійованих констант алгоритму керування забезпечує найвищу точність роботи і паливну економічність електронного цифрового ВРП.



$$k_\omega = 5; k_h = -0.1.$$



$$k_{\omega} = 6,5; k_h = -0,025.$$



$$k_{\omega} = 9,135; k_h = -0,130.$$

Рисунок 2. Процеси керування паливоподаванням.

РЕЗУЛЬТАТИ, ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Запропонована структурна схема електронної САК паливоподаванням транспортного дизеля з нерегулюємим наддувом, яка є подальшим розвитком відомих схем, що містять датчик димності відпрацьованих газів, і відрізняється від них тим, що замість пропорційного закону регулювання використовується нелінійний релейний закон, який переводить САК до класу СЗС, що працює у ковзному режимі, підтримуючи максимально допустимий рівень димності відпрацьованих газів. Погіршення динамічних характеристик транспортного засобу при такому регулюванні димності відпрацьованих газів є мінімальним.
2. Збурений рух об'єкту керування описується системою нелінійних звичайних диференціальних рівнянь, порядок якої визначається структурою виконавчого органу

системи паливоподавання. Якщо виконавчий орган представляє собою електромагніт, якір якого безпосередньо з'єднаний з РПН, то збурений рух об'єкту описується системою диференційних рівнянь шостого порядку. Якщо виконавчий орган представляє собою послідовне з'єднання електромагніту і гідравлічного сервомотору, то збурений рух об'єкту описується системою диференційних рівнянь сьомого порядку.

3. Проаналізовані зовнішні збурення, що діють на колінчастий вал ДВЗ, і доведено, що випадкова функція моменту навантаження може бути отримана за допомогою формуючої динамічної ланки, що представляє собою послідовне з'єднання двох коливальних динамічних ланок, до входу якого подається “білий шум”, а на виході має місце випадкова функція зовнішнього збурення.
4. За допомогою запропонованого методу стохастичної ідентифікації оцінені невизначені параметри математичної моделі збуреного руху замкненої системи паливоподавання дизеля БТД, а саме, приведений до колінчастого валу момент інерції рухомих частин дизеля I_x , приведена до РПН маса рухомих частин системи паливо подавання m і коефіцієнт демпфування f .
5. Вимоги до системи паливоподавання транспортного дизеля формалізовані і подані у вигляді вимоги мінімуму адитивного інтегрального квадратичного функціоналу з невідомими заздалегідь ваговими коефіцієнтами. Запропонована методика вибору вагових коефіцієнтів адитивного функціоналу.
6. Доведено, що найбільш доцільним для рішення задачі параметричного синтезу електронного ВРП із змінною структурою являється використання теорії факторного експерименту, причому областю варіювання факторів доцільно вибрати область стійкості замкненої системи паливоподавання в площині варійованих параметрів ВРП.
7. Використання системи паливоподавання із змінною структурою дещо зменшує швидкодію системи, але дозволяє утримувати димність відпрацьованих газів у межах норми і значно зменшити коливальність динамічних процесів, що приводить до зменшення витрат палива.
8. Рішення задачі параметричного синтезу електронного цифрового ВРП за допомогою методу факторного експерименту привело до оптимальних значень варійованих параметрів ВРП: $k_\omega^* = 9,135$; $k_h^* = -0.130$. Експериментальні дослідження ВРП у складі комплексного дослідницького стенду підтвердили теоретичні результати рішення задачі параметричного синтезу.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Александров Е.Е., Александрова Т.Е., Гриценко В.Н. и др. Новый подход к проблеме параметрического синтеза динамических систем // Механіка та машинобудування. – Харків: ХДПУ. –1998. –№1. –С. 32–35.
2. Александрова Т.Е., Карпенко В.А., Рафалович О.Я. Стохастический синтез регулятора топливоподачи транспортного дизеля 6ТД // Механіка та машинобудування. – Харків: ХДПУ. –1999. –№2. –С. 18–23.
3. Александрова Т.Е., Карпенко В.А., Рафалович О.Я. и др. Стохастическая оптимизация системы топливоподачи транспортного дизеля //Авиационно–космическая техника и технология. – Харьков: ХАИ. –1999. –Вып. 9. –С. 129–133.
4. Александрова Т.Е., Александрова И.Е. К вопросу идентификации параметров динамических систем // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. –Харків: ХДПУ. –2000. –Вып. 101. –С, 10–13.
5. Александрова Т.Є. Електронний регулятор паливоподавання транспортного дизеля з нерегульованим турбонаддувом // Труды Одесского государственного политехнического университета. – Одеса: ОдДПУ. –2001. –Вып. 5. –С. 192–195.
6. Александрова Т.Е., Карпенко В.А. Нелинейная математическая модель замкнутой системы топливоподачи дизеля 6ТД // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ». –2001. –№2. –С. 42–45.
7. Александрова Т.Є. Ідентифікація параметрів системи паливоподавання транспортного дизеля 6ТД // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов Харьковского национального автомобильно–дорожного университета. –Харків: ХНАДУ. –2001. –Вып. 7–8. –С. 202–204.
8. Александрова Т.Е. К задаче параметрического синтеза динамических систем // Автоматизация виробничих процесів. – К: НВК “КІА”. –2001. –№2. –С. 139–140.
9. Александрова И.Е., Александрова Т.Е. О выборе весовых коэффициентов оптимизируемого функционала в теории аналитического конструирования оптимальных регуляторов // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – Запоріжжя: ЗНТУ. –2001. –№1. –С. 135–137.
10. Александрова Т.Е., Никонов О.Я. Параметрический синтез электронного всережимного регулятора дизеля 6ТД для детерминированного объекта // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». –2001. –№1,2. –С. 184–189 .
11. Александрова Т.Є. Параметричний синтез електронного регулятора паливоподачі транспортного дизеля для стохастичного об'єкту керування // Інформаційно–керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: ХарДАЗТ. –2001. –№3. –С. 76–80.

12. Александрова Т.Е. Исследовательский стенд для натуральных испытаний элементов моторно–трансмиссионного отделения гусеничных машин специального назначения // Вестник Харьковского государственного автомобильно–дорожного технического университета. – Харків: ХНАДУ. –2001. –Вып. 15–16. –С. 180–182.
13. Куценко О.С., Александрова Т.Є. Експериментальні дослідження електронного цифрового регулятора паливоподавання дизеля 6ТД // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ». –2002. –№ . –С. 99–103 .
14. Деклараційний патент України на винахід. Електронний регулятор паливоподачі транспортного дизеля. Авт. Александрова Т.Є., Куценко О.С., Перерва П.Я. Заявка №2001075363 від 26.07.2001. F02D 19/02, F02D 41/10.

АНОТАЦІЇ

Александрова Т.Є. Параметричний синтез електронної системи керування паливоподаванням транспортної енергетичної установки. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2003.

Дисертація присвячена питанням підвищення точності та паливної економічності системи паливоподавання танкового дизеля 6ТД шляхом розробки та запровадження електронного всережимного регулятора паливоподавання із змінною структурою. Розроблена математична модель збуреного руху замкненої системи паливоподавання. Запропонована методика стохастичної ідентифікації, за допомогою якої оцінені невизначені параметри математичної моделі. Вимоги до системи паливоподавання формалізовані і подані у вигляді вимоги мінімуму адитивного інтегрального квадратичного функціоналу, для обчислення вагових коефіцієнтів якого розроблений спеціальний метод. Для рішення задачі параметричного синтезу електронного регулятору паливоподавання застосований метод факторного експерименту, де параметром оптимізації є адитивний функціонал, а варійованими факторами – константи алгоритму керування системою паливоподавання. Здійснена експериментальна перевірка синтезованого електронного цифрового регулятора паливоподавання на комплексному дослідницькому стенді з імітацією реальних умов роботи танкового дизеля 6ТД.

Ключові слова: танковий дизель, система паливоподавання, математична модель, ідентифікація, електронний цифровий всережимний регулятор, адитивний функціонал, випадкова функція, факторний експеримент.

Alexandrova T.Ye. Parametric synthesis of an electronic control system by fuel feed of transport energy setting. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. on a speciality 05.13.07 – automation of technological processes. – National technical university «Kharkov polytechnical institute», Kharkov, 2003.

The dissertation is devoted to problems of increase of accuracy and a fuel efficiency of the tank diesel 6TD fuel feed system by development and introduction of the fuel feed electronic fully-variable regulator with variable structure. The mathematical model of a disturbed motion of the fuel feed closed-loop system is developed. The technique of stochastic identification with which help uncertain parameters of mathematical model are estimated is offered. Requirements to the fuel feed system are formalized and presented as the requirement of a minimum of the additive integral quadratic functional, for evaluation of functional weighting coefficients a developed special method. For the solution of a problem of parametric synthesis of the fuel feed electronic regulator the method of a factorial experiment where the parameter of optimization is the additive functional, and by varied factors – constants of the control algorithm the fuel feed system is used. Experimental verification of the synthesized electronic digital fuel feed regulator on the complex research stand imitation of real operating conditions of the tank diesel 6TD is realized.

Key words: tank diesel, fuel feed system, mathematical model, identification, electronic digital fully-variable regulator, additive functional, random function, factorial experiment.

Александрова Т.Е. Параметрический синтез электронной системы управления топливоподачей транспортной энергетической установки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2003.

Диссертация посвящена вопросам повышения точности и топливной экономичности системы топливоподачи танкового дизеля 6ТД путем разработки и внедрения электронного всережимного регулятора топливоподачи с переменной структурой. Разработана структурная схема такого регулятора, на которую получен декларационный патент Украины.

Разработана математическая модель возмущенного движения замкнутой системы топливоподачи с электронным всережимным регулятором. Проанализированы внешние возмущения, действующие на коленчатый вал дизеля и построена спектральная плотность внешних возмущений. Доказано, что случайная функция внешнего возмущения может быть получена с помощью формирующего динамического звена, представляющего собой последовательное соединение двух колебательных динамических звеньев, на вход которого подается «белый шум», а на выходе имеет место случайная функция внешнего возмущения. В

связи с тем, что математическая модель содержит неопределенные параметры, численная оценка которых затруднительна, был предложен метод стохастической идентификации, основанный на сравнении кривых спектральных плотностей математической модели и реального объекта, полученных путем многократных повторений численного и натурального экспериментов и статистической обработки результатов экспериментов.

Требования к системе топливоподачи формализованы и представлены в виде требования минимума аддитивного интегрального квадратичного функционала. Предложена методика отыскания весовых коэффициентов аддитивного функционала. Показано, что для решения задачи параметрического синтеза электронного всережимного регулятора с переменной структурой, наиболее целесообразно использовать метод факторного эксперимента, причем в качестве параметра оптимизации использовать аддитивный интегральный квадратичный функционал, а в качестве варьируемых факторов – коэффициенты усиления или константы алгоритма управления электронного всережимного регулятора. В результате решения задачи параметрического синтеза получены численные значения констант алгоритма управления, обеспечивающие повышенную точность и топливную экономичность системы топливоподачи, а также дымность отработанных газов, находящуюся в пределах нормы.

Осуществлена экспериментальная проверка синтезированного электронного всережимного регулятора на комплексном исследовательском стенде, включающем моторно-трансмиссионное отделение танка с дизелем 6ТД, оснащенный экспериментальным образцом электронного всережимного регулятора с переменной структурой, а также нагрузочное устройство с электромагнитным тормозом, позволяющее имитировать реальные условия движения танка по пересеченной местности, т. е. реальные условия работы танкового дизеля 6ТД.

Ключевые слова: танковый дизель, система топливоподачи, математическая модель, идентификация, электронный цифровой всережимный регулятор, аддитивный функционал, случайная функция, факторный эксперимент.