

УДК 621.436:004.8

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА У СУКУПНОСТІ З ГЕНЕРАТОРНИМ УСТАТКУВАННЯМ: АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ

**О.Я. Ніконов, професор, д.т.н., Д.А. Глебова, студент,
Ю.В. Литвинова, студент ХНАДУ**

***Анотація.** Роботу присвячено удосконаленню двигуна дизельного електрогенератора з метою підвищення його надійності та енергоефективності за рахунок об'єднання синергетичного підходу і еволюційних методів навчання гібридних багат шарових нечітких штучних нейронних мереж інтелектуальних інформаційно-керуючих систем.*

***Ключові слова:** дизельний двигун, електрогенератор, інформаційно-керуючі технології, алгоритми керування, штучний інтелект*

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В СОВОКУПНОСТИ С ГЕНЕРАТОРНЫМИ ОБОРУДОВАНИЕМ: АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**О.Я. Никонов, профессор, д.т.н., Д.А. Глебова, студент,
Ю.В. Литвинова, студент ХНАДУ**

***Аннотация.** Работа посвящена совершенствованию двигателя дизельного электрогенератора с целью повышения его надежности и энергоэффективности за счет объединения синергетического подхода и эволюционных методов обучения гибридных многослойных нечетких искусственных нейронных сетей интеллектуальных информационно-управляющих систем.*

***Ключевые слова:** дизельный двигатель, электрогенератор, информационно-управляющие технологии, алгоритмы управления, искусственный интеллект*

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT INFORMATION-CONTROL TECHNOLOGIES FOR DIESEL ENGINES IN GENERAL GENERATOR EQUIPMENT: CONTROL ALGORITHMS

**O.Ya. Nikonov, professor, dr. eng. sc., D.A. Glebova, student,
Yu.V. Litvinova, student KhNAHU**

***Abstract.** The work is devoted to improving the engine of a diesel electric generator in order to increase its reliability and energy efficiency by combining a synergetic approach and evolutionary methods for training hybrid multi-layer fuzzy artificial neural networks of intelligent information-control systems.*

***Keywords:** diesel engine, power generator, information-control technologies, control algorithms, artificial intelligence*

Вступ

Роботу присвячено удосконаленню двигуна дизельного електрогенератора з метою підвищення його надійності та енергоефективності за рахунок об'єднання синергетичного

підходу і еволюційних методів навчання гібридних багат шарових нечітких штучних нейронних мереж (нейро-фаззі машин) інтелектуальних інформаційно-керуючих систем. Для економії пального, а також зменшення димності дизельного двигуна, пропонується

введення в контур управління електрогенератора електронної системи паливоподавання з метою зменшення коливальності рейки паливного насоса та кутової швидкості обертання колінчастого валу внаслідок випадкових коливань електричного навантаження, пов'язаних з технологічними особливостями роботи підключеного обладнання.

Аналіз досліджень та публікацій

Специфічні умови роботи транспортних дизелів привели до спеціальних розробок автоматичних регуляторів для них, в основному непрямой дії. Якщо раніше на транспортних двигунах застосовувалися однорежимні або двоережимні регулятори, то для транспортних двигунів з'явилася необхідність застосування всережимних регуляторів. Дослідженню і створенню таких регуляторів присвячені роботи фахівців Науково-дослідного дизельного інституту, заводу «Русский дизель», Коломенського тепловозобудівного заводу і ДП «Завод імені Малишева». Класична теорія автоматичного керування транспортним ДВЗ знайшла своє завершення у роботах професора В.І. Крутова і професора В.О. Петрова. Подальший розвиток систем керування транспортними дизелями пішов шляхом застосування сучасної теорії керування з використанням складних нелінійних законів і алгоритмів керування. Суттєвий вклад в розробку таких систем внесли співробітники НТУ «ХПІ» [1-5]; фахівці ХКБД; спеціалісти ХКБМ ім. О.О. Морозова [6] і спеціалісти ДП «Завод імені Малишева». На рис. 1 представлено дизельний двигун сімейства 6ТД, що використовується у вітчизняних дизель-генераторних установках. Це 2-х тактні, багатопаливні дизелі з наддувом і горизонтальним розташуванням циліндрів.

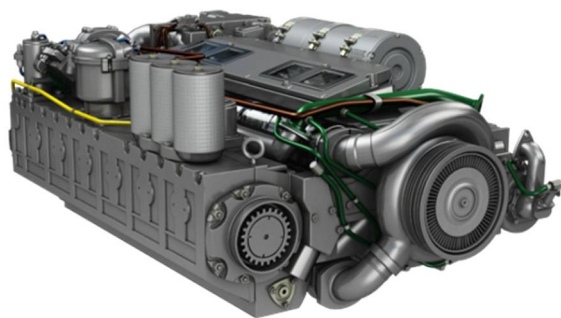


Рис. 1 – Дизельний двигун сімейства 6ТД

Шляхи вирішення поставленої проблеми ве-

дуть до розроблення методів і алгоритмів синтезу з використанням розвиненої математичної моделі об'єкту управління з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелектуальних систем управління, новітніх інформаційних технологій. Інтелектуалізації таких систем можна досягнути насамперед на основі багатошарових нейронних мереж і методів еволюційного моделювання, зокрема генетичних алгоритмів, а також нечіткої логіки і гібридних нейро-фаззі архітектур з глибокими алгоритмами навчання [7-12].

Мета та постановка задачі

Метою роботи є створення енергоефективних алгоритмів керування дизельної мініелектростанції, з позицій підвищення її надійності та економічності, на основі новітніх інтелектуальних інформаційно-управляючих технологій.

Розроблення алгоритмів керування

Розроблення алгоритмів керування базується на використанні гібридних багатошарових нечітких штучних нейронних мереж. Для інформаційно-керуючої системи (ІКС) транспортного дизеля була вибрана архітектура дискретного нейроконтролера (НК) – 3-10-1, тобто вхідний шар НК містить 3 нейрона, розмір схованого шару НК – 10, а вихідний шар НК містить один лінійний нейрон, що формує сигнал керування на k -му кроці $u_y(k)$.

Величина кроку дискретизації сигналу керування Δ_u залежить від динамічних властивостей самого об'єкта керування і від бажаного робочого діапазону частот вхідного впливу. У цьому випадку дискретність керування виберемо рівної $\Delta_u = 0.01$ с.

Метою навчання НК є побудова нелінійної слідкуючої системи керування (СК). Далі необхідно сформулювати тренувальний набір сигналів. Виберемо набір тренувальних сигналів розміром $M = 11$:

$$u_r^i(k) = A_i 1(k); t \in [0, T];$$

$$A_i = (-8 + 2i); i = \overline{1, 7},$$

де $1(k)$ – дискретний аналог одиничного східчастого сигналу:

$$1(k) = \begin{cases} 0, & k < 0; \\ 1, & k \geq 0. \end{cases}$$

Стрибокподібні вхідні сигнали в тренувальному наборі необхідні для забезпечення малої статичної помилки нейромережевої системи керування (НСК).

Тривалість тренувальних вхідних сигналів виберемо рівної $T = 10$ с. Якість роботи НСК будемо оцінювати по функціоналі виду

$$I(y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{k_T} \sum_{k=1}^{k_T} \left(E \cdot t_k + \gamma \frac{E}{t_k + \varepsilon} \right);$$

$$E = \left[\left(\omega_i(k) - u_r^i(k) \right)^2 \cdot t_k \right]^2, \quad t_{k+1} = t_k + \Delta_u,$$

де $\varepsilon = 0.01$ – малий параметр, що вводиться для забезпечення безперервності функціонала; γ – ваговий коефіцієнт, що визначається експериментально.

Результати чисельних експериментів дозволили достатньо точно оцінити область пошуку параметрів НК, тому в цьому випадку можна відмовитися від застосування параметра тангенціальної активаційної функції a і скоротити розмірність пошукового простору.

Для оцінки пристосованості особи по вищенаведеному функціоналу диференційні рівняння системи паливоподавання транспортного дизеля перетворюються у форму Коші [1-5]. Отримана система диференціальних рівнянь інтегрується методом Рунге-Кутта 4-го порядку з постійним кроком 0.001с.

Далі визначимо область пошуку для ШНМ 3-10-1

$$w_{i,j} \in [-1,1], \quad i = \overline{0,3}, \quad j = \overline{1,10};$$

$$w_i \in [-100,100], \quad i = \overline{0,10}.$$

Довжину кожної хромосоми виберемо рівної 16 біт, що дозволить більш точно визначити параметри НСК для генетичного алгоритму (ГА) пошуку.

Тому що НСК є дискретною вихід НК розраховується тільки кожні 0.01с і фіксується на період дискретизації. Фіксація виходу НК

повинна проводитися не тільки при моделюванні, але і при реальній роботі такої НСК. Проте, на базі НК можуть створюватися і імпульсні НСК, у яких амплітудно-модульований вихідний сигнал НК діє на вхід об'єкта керування обмежений час.

Для створення інваріантної до зовнішніх випадкових збурень НСК з дискретним НК, при навчанні НК будемо подавати на об'єкт збурюючий сигнал, що виникає під час руху автомобіля. Подавати на об'єкт збурюючий сигнал будемо один раз за дві епохи навчання. НК спочатку буде навчатися на навчальній вибірці без урахування збурень, а на наступному кроці на навчальній вибірці вже з урахуванням збурень.

Чисельні дослідження, дозволяють зробити висновок про те, що введення до контуру керування НК дозволяє зменшити коливальність рейки паливного насоса та кутової швидкості обертання колінчастого валу до 35% (при цьому відносна вибіркова дисперсія не перевищила 5%), тобто дозволяє підвищити точність роботи і паливну економічність дизеля.

Результати проведених досліджень підтверджують ефективність стимульованого навчання НК з затримкою на базі ГА. Стрибокподібні тренувальні сигнали гарантують синтез НК з малою статичною помилкою, однак для забезпечення НК необхідних динамічних характеристик у тренувальні сигнали необхідно включати гармонічні складові. Завдяки універсальним апроксимаційним властивостям ШНМ, синтезовані СК змогли адаптуватися до об'єкта керування. Також доведено, що необхідний обсяг обчислень і структура НК залежать не стільки від ступеня нелінійності, скільки від порядку об'єкта керування.

Ефективність рішення, що отримано за допомогою запропонованої методики, багато в чому визначається видом функціоналу якості. Вибір функціоналу, що використовується для оцінки роботи синтезованої СК з НК, як і структури самого закону керування, є задачею, що вирішується дослідником залежно від складності та властивостей об'єкта керування.

Позитивною властивістю СК з НК є низька чутливість до відходу параметрів від заданих (номінальних, оптимальних), що значно

спрощує настроювання НК і підвищує стійкість роботи в умовах зовнішніх і внутрішніх збурень. Істотна розподільність (паралельність) обчислювального процесу в ШНМ забезпечує підвищену, у порівнянні із традиційними контролерами, надійність СК, тому що якість роботи СК з НК погіршується з ростом кількості пошкоджень поступово. Вихід нейронів НК із робочого стану або обрив зворотних зв'язків також не приводять до миттєвих руйнівних процесів на відміну від традиційних контролерів.

Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні результати дослідження стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля і ефективність використання штучного інтелекту і новітніх інформаційних технологій.

Висновки

Розроблено енергоефективні алгоритми керування дизельної мініелектростанції, з позицій підвищення її надійності та економічності, на основі новітніх інтелектуальних інформаційно-управляючих технологій.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф76/92-2017.

Література

1. Александров Е.Е. Автономная дизель-генераторная энергетическая установка на базе дизеля 5ТДФ / Е.Е.Александров, А. Отман // Механіка та машинобудування. – 1998. – №1. – С. 78-80.
2. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Александров Е.Е., Волонцевич Д.О., Туренко А.М. и др.]; под ред. А.Н. Туренко. – Харьков: ХГАДТУ. – 2001. – 642 с.
3. Александрова Т.Є. Ідентифікація параметрів системи паливоподавання транспортного дизеля 6ТД / Т.Є. Александрова // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2001. – Вып. 7-8. – С. 202-204.
4. Александрова Т.Є. Параметричний синтез електронного регулятора паливоподавання транспортного дизеля для стохастичного об'єкту керування /

Т.Є. Александрова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 3. – С. 76-80.

5. Ніконов О.Я. Синтез електронної системи паливоподавання дизеля на основі штучних нейронних мереж / О.Я. Ніконов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – №11. – С. 38-47.
6. Рязанцев Н.К. Улучшение топливной экономичности и эксплуатационных характеристик транспортных двигателей путем разработки электронных систем управления / Н.К. Рязанцев, Ю.С. Бородин, Л.Б. Синельникова // Вестник НТУ «ХПИ». – 2001. – Вып. 7. – С. 183-192.
7. Алексієв В.О. Мехатроніка, телематика, синергетика у транспортних додатках / В.О. Алексієв, О.П. Алексієв, О.Я. Ніконов. – Харків: ХНАДУ, 2012. – 212 с.
8. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем / В.П. Волков, Ю.В. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов. – Донецк: Издательство Ноулидж, 2013. – 398 с.
9. Интеллектуальные и телематические технологии на транспорте / Волков В.П., Мырхалыков Ж.У., Грицук И.В., Никонов О.Я. – Шымкент: Изд-во ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. – 504 с.
10. Голобородько О.О. Мехатронні системи автомобільного транспорту / О.О. Голобородько, О.О. Коробочка. – Х.: ТОВ «СМІТ», 2006. – 300с.
11. Goldberg D. E. Genetic Algorithms in Search Optimizations and Machine Learning / Goldberg D. E. – Addison-Wesley, 1989. – 412 p.
12. Syswerda G. Nonstationary function optimization using genetic algorithms with dominance and diploidy / G. Syswerda // Proc. of Second Int.Conf. on Genetic Algorithms and Their Applications. – Cambridge, MA: Lawrence Erlbaum. – 1987. – P. 59-68.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 30 листопада 2017 р.