

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРОАКТИВНОСТІ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ ІЗ ПРОДОВЖЕНИМ РОЗШИРЕННЯМ РОБОЧОГО ТІЛА

О. І. Яманін, В. А. Жуков

Обґрунтована необхідність оцінки віброактивності поршневих ДВС із продовженим розширенням робочого тіла, описана процедура розрахункової оцінки віброактивності. Методами чисельного моделювання визначені вібропереміщення, віброшвидкості та віброприскорення, побудовані амплітудно-частотні характеристики прискорень. Показано, що реалізація продовженого розширення робочого тіла в 4-циліндровому поршневому двигуні при ідентичних показниках робочого процесу не приводить до погіршення його вібродинамічних характеристик і не перешкоджає форсуванню двигуна.

NUMERICAL SIMULATION OF VIBRO-ACTIVITY OF THE PISTON ENGINES WITH PROLONGED EXPANSION OF WORKING MEDIUM

A. I. Yamanin, V. A. Zhukov

The necessity appraisal of vibration of piston internal combustion engine with prolonged expansion of working medium is grounded, procedure of numerical simulation is described. Transference, speed and acceleration of vibration were determined by methods of simulation. Amplitude-frequency characteristics for acceleration of vibration were received. It is given, that vibration of four-cylinder piston engine with prolonged expansion of working medium isn't greater than in four-cylinder engine without prolonged expansion and isn't prevent from rise of engine's power.

УДК 629.036.2

А. Ф. Головчук, Ю. І. Габрієль

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОННИЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Проведено безмоторні дослідження електронного регулятора тракторного дизеля. Розроблено функціональну схему електронно-керованої паливоподачі дизельних двигунів, які встановлюються на більшості тракторів виробництва країн СНД, без суттєвої зміни їх конструкції. Визначено перелік необхідних давачів та виконавчих механізмів, що в сукупності дозволяють добитися успішного функціонування запропонованої електронної системи паливоподачі та підвищити техніко-економічні показники дизелів та газодизелів. Завдяки повністю електронному управлінню існує можливість взаємодії даної системи з додатковим обладнанням транспортного засобу (бортовий комп'ютер, трансмісія тощо), запобігати різного роду перевантаженням, можливість дистанційного керування частотою обертання двигуна та моніторингу поточних параметрів роботи двигуна.

Актуальність теми дослідження. У тракторних дизелях виробництва країн СНД досить широко популярністю користується звичайна (класична) система паливоподачі із всережимним регулятором. Така система виправдовує себе низькою вартістю, надійністю та ремонтпридатністю. Серійні дизелі, які обладнані класичною системою паливоподачі мають ряд недоліків: невідповідність екологічним нормам, підвищена димність відпрацьованих газів, робота лише на всережимному регулюванні, низька паливна економічність, відсутність корекції паливоподачі по температурі двигуна та доквілля, димності відпрацьованих газів та якості пального, густині та температурі вхідного повітря та ін. Всі ці вимоги виконують електронні системи регулювання паливоподачі. Проте вартість таких систем є надзвичайно високою та чутливою до якості пального, а ремонт потребує наявності дорогого та складного обладнання і, відповідно, висококваліфікованого обслуговуючого персоналу. Тому існує проблема розробки електронного регу-

лятора, дизеля на базі конструкції стандартного паливного насосу.

Аналіз попередніх досліджень. Досить багато публікацій присвячено електронним регуляторам, які в якості виконавчого механізму використовують пропорційні електромагніти, сервоприводи із електродвигунами, а публікації, що стосуються використання крокового двигуна (КД) в якості виконавчого елемента без механічного регулятора авторам статті не зустрічались.

Виклад основного матеріалу дослідження. Метою роботи є розробка конструкції електронного регулятора паливного насосу високого тиску (ПНВТ) УТН-5[1]. Як виконавчий механізм для приводу паливоподаючої рейки використано кроковий двигун. Таке впровадження у конструкцію дозволяє відмовитись від присутності давача положення рейки, але потребує наявності системи зворотнього зв'язку та аварійного захисту в разі пропуску кроків виконавчого механізму. Для зворотнього зв'язку використовується широкосмуго-

вий лямбда-зонд Bosch LSU 4.9, який спеціально розроблений для дизелів [2]. Одночасно сигнал із цього давача використовується для обмеження димності, оскільки надлишок кисню та димність відпрацьованих газів взаємопов'язані між собою. Для аварійного захисту використовується електромагнітний клапан відсічки палива.

У електронний регулятор поступають такі сигнали: частота обертання двигуна; положення педалі акселератора; температура двигуна; тиск та температура у впускному колекторі; масова витрата повітря; присутність двох UART портів дає можливість під'єднатись як до динамічного витратоміра палива (електронні ваги), так і проводити відстежування усіх параметрів під час роботи електронної системи; шина даних CAN дозволяє присутність додаткових електронних систем (бортовий комп'ютер, блок управління трансмісією тощо) та їх взаємодію між собою; є можливість налаштувати блок керування для сприймання додаткових сигналів, що зручно при його використанні при моторних дослідженнях. Функціональна схема електронного регулятора дизеля зображена на рис. 1.

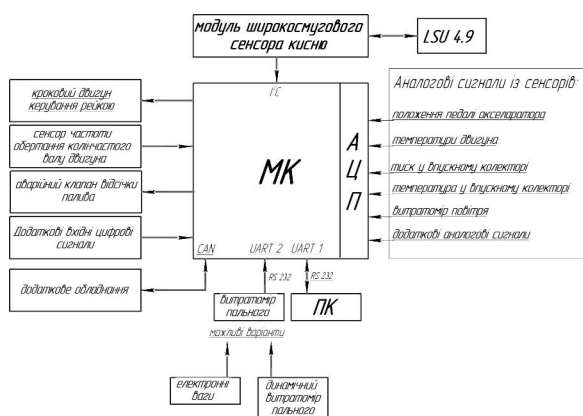


Рис. 1. Функціональна схема електронного регулятора дизеля

Даний електронний регулятор не потребує серйозної зміни конструкції паливного насоса, є гнучким у налаштуванні та пристосованості до різних типів ПНВТ. Для початкових налаштувань електронного регулятора під конкретний тип двигуна необхідно, спершу, провести безмоторні дослідження серійного регулятора та на основі отриманих результатів відповідно запрограмувати експериментальний регулятор.

Для проведення безмоторних досліджень серійного регулятора ПНВТ УТН-5 та експериментального регуляторів використовувався стенд Motorpal NC-104.

Оскільки відомо, що циклова подача палива залежить не лише від положення рейки, а й від частоти обертання, необхідно отримати таку залежність для початкових налаштувань електронного регулятора. Вона досліджувалась на експериментальному регуляторі, оскільки програмно це легко реалізується, а відлік положення рейки – пропорційний положенню крокового двигуна. Така залежність відтворена на рис. 2. Оскільки хід штока КД становить $10,4 \cdot 10^{-3}$ м при 255 кроках (при повнокроковому режимі керування КД), точність позиціонування складає $54,9 \cdot 10^{-6}$ м, швидкість переміщення штока складає 333 кроки/с, при чому розвивається зусилля 6 Н [4], що втричі перевищує зусилля для переміщення рейки дозаторів. Для інформування електронного блоку управління (ЕБУ) про частоту обертання ПНВТ, під час безмоторних досліджень, використовується давач типу Холла, що закріплений в корпусі регулятора та зчитує інформацію із диска із 8-ма виступами. Частота обертання визначається за допомогою 16-розрядного таймера мікроконтролера та усереднюється за один оберт ПНВТ. Точність визначення частоти обертання складає ± 1 об/хв. Ввівши в електронний регулятор дані стосовно положення виконавчого механізму в залежності від положення педалі акселератора та частоти обертання, отримуємо характеристику циклової подачі від положення педалі та частоти обертання для різних режимів регулювання.

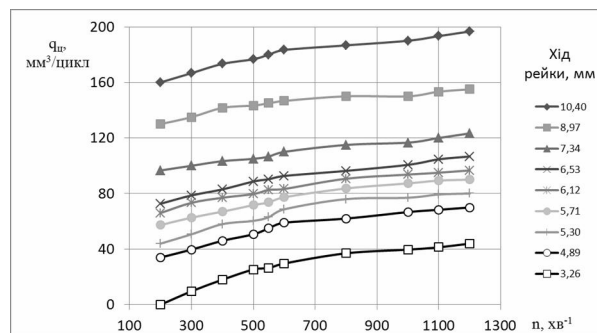


Рис. 2. Залежність циклової подачі ПНВТ УТН-5 від ходу рейки

Маючи дані серійного всережимного регулятора та залежність подачі палива від ходу рейки, можна відтворити даний режим на експериментальному регуляторі. У електронний блок управління вноситься залежність положення рейки від частоти у реперних точках (кількість точок можна змінювати). Проміжні значення положення рейки експериментального регулятора вираховуються методом лінійної інтерполяції, згідно таблично заданої фун-

кції. Оскільки положення КД лежить в межах 0..255 кроків, для одної точки достатньо лише комірки пам'яті 1 байт. Діапазон частот умовно можна поділити з повторюваністю 16 хв^{-1} . Оскільки максимальна частота обертання ПНВТ для дизеля Д-240 становить 1100 хв^{-1} , то отримаємо 69 реперних точок. При більших частотах обертання подача палива припиняється.

Для визначення значення положення рейки ПНВТ при часткових характеристиках використовуємо таку формулу (розмірності не враховуємо, ці формули та умови рахуються програмою регулятора під час його роботи):

$$h_{p1} = ((n_{ном} - n_{хх}) + aps \times \frac{n_{ном} - n_{хх}}{255}) \times \delta, \quad (1)$$

якщо $h_p > h_{p1}$, то $h_p = h_{p1}$;

якщо $h_p < 0$, то $h_p = 0$, (2)

де $n_{ном}$ – частота обертів, що відповідає номінальному режиму роботи; $n_{хх}$ – частота обертів холостого ходу; δ – коефіцієнт, який відповідає за «зсув» ЗШХ по осі абсцис згідно положення педалі акселератора; aps – положення педалі акселератора в цифровому значенні [0..255]; h_{p1} – допоміжна змінна.

Для отримання дворежимного регулювання в дослідному регуляторі використовуються такі формули:

якщо $n_n > n_{ном}$, тоді :

$$h_{p1} = h_{ном} - (255 - aps) \times k_{acs} - (n_n - n_{ном}) \times k_3; \quad (3)$$

якщо $n_n \geq n_{мажкр}$, тоді:

$$h_{p1} = h_{ном} - (255 - aps) \times k_{acs} - (n_{ном} - n_n) \times k_2; \quad (4);$$

якщо $n_n \geq n_{хх}$, тоді

$$h_{p1} = h_{ном} - (255 - aps) \times k_{acs} + h_z + (n_{ном} - n_{мажкр}) \times k_1, \quad (5)$$

де n_n – частота обертання ПНВТ; $n_{мажкр}$ – частота обертів, що відповідає максимальному крутному моменту; k_{acs} – коефіцієнт для перерахунку по положенню педалі акселератора; k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, що відповідають за нахил ліній паливоподачі у діапазоні обертів від $n_{хх}$ до $n_{мажкр}$, від $n_{мажкр}$ до $n_{ном}$ та від $n_{ном}$ і вище, відповідно; $h_{ном}$ – положення рейки при $n_{ном}$; h_z – врахована величина зсуву положення рейки між точками холостого ходу та номінальними обертами; 255 – максимальне оцифроване значення положення педалі акселератора.

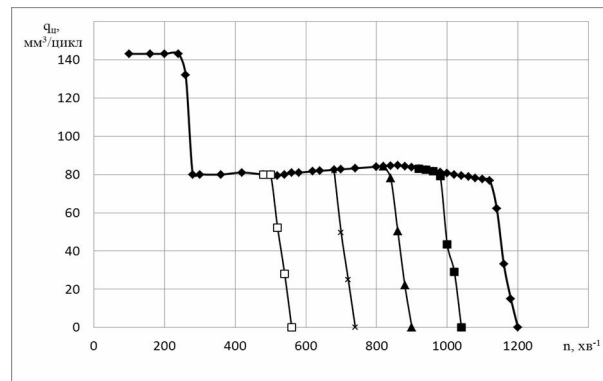


Рис. 3. Зовнішня та часткові характеристики ПНВТ УТН-5 з дослідним електронним регулятором при всережимному регулюванні

На рис. 3 зображено експериментальну швидкісну характеристику дослідного електронного регулятора ПНВТ УТН-5 при всережимному регулюванні.

До 60% часу роботи сільськогосподарські трактори використовуються на транспортних роботах. При цьому реалізується всього від 20 до 60% номінальної потужності двигуна машинно-тракторного агрегату (МТА)[3]. При транспортних роботах МТА досить частий вплив тракториста на орган керування паливоподачі призводить до «закидів» рейки ПНВТ при всережимному регулюванні. Кількість виходів рейки на режим максимальної подачі при ВР більше у 4,3 рази у порівнянні з ДР. Завдяки цьому витрата пального збільшується на 5-10% в порівнянні із дворежимним регулятором [3]. Тому до методики лабораторних досліджень нами включена задача щодо моделювання універсального регулятора, який забезпечить переведення електронного регулятора на дворежимне регулювання для мобільних енергетичних засобів. Для колісних тракторів, які виконують транспортні перевезення більш ефективними є дворежимні або однорежимні регулятори. Для переведення електронного регулятора на дворежимне регулювання подачі палива необхідно скоректувати дані, що містяться в пам'яті мікроконтролера стосовно часткових швидкісних характеристик, оскільки зовнішня швидкісна характеристика залишається незмінною. Експериментальна швидкісна характеристика електронного регулятора дворежимного регулювання показана на рис. 4.

Окрім всережимного, одно- та дворежимного регулювання дослідний електронний регулятор забезпечує астатичний режим регулювання.

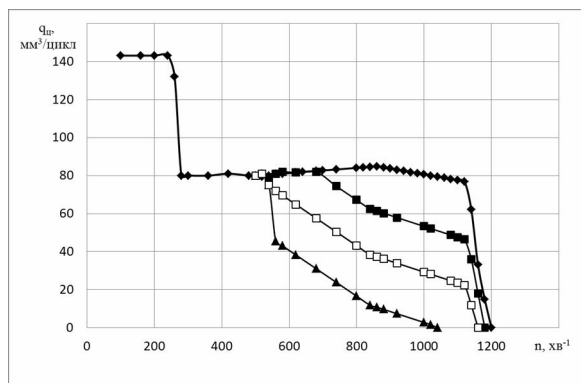


Рис. 4. Швидкісна характеристика ПНВТ УТН-5 з дослідним електронним регулятором з дворежимним регулюванням

Висновки. Авторами статті розроблено, виготовлено та проведено теоретичні та лабораторні дослідження електронного універсального (всережимне, дворежимне та астатичне регулювання) регулятора паливоподачі на базі ПНВТ УТН-5 для автотракторного дизеля Д-240. Експериментальні дані підтвердили працездатність електронного регулятора при різних режимах регулювання.

Головчук Андрій Федорович – доктор техн. наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: andriy@golovchuk.com.ua.

Габріель Юрій Ігорович – здобувач каф. тракторів і автомобілів, Львівський національний аграрний університет, Львів, Україна, e-mail: yuriygabriel@gmail.com

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

А. Ф. Головчук, Ю. И. Габриель

Проведены безмоторные исследования электронного регулятора тракторного дизеля. Разработана функциональная схема электронно-управляемой топливоподачи дизельных двигателей, которые устанавливаются на большинстве тракторов производства стран СНГ, без существенного изменения их конструкции. Определен перечень необходимых датчиков и исполнительных механизмов, что в совокупности позволяют добиться успешного функционирования предложенной электронной системы топливоподачи и повысить технико-экономические показатели дизелей и газодизелей. Благодаря полностью электронному управлению существует возможность взаимодействия данной системы с дополнительным оборудованием транспортного средства (бортовой компьютер, трансмиссия и тому подобное), предотвращать разного рода перегрузки, возможность дистанционного управления частотой вращения двигателя и мониторинга текущих параметров работы двигателя.

UNIVERSAL ELECTRONIC GOVERNOR FOR TRACTOR'S DIESEL

A. F. Golovchuk, Y. I. Gabriel

Engineless researches of electronic regulator of tractor diesel are conducted. The structural chart of electronic-guided fuel supply of diesel engines which are set on most tractors of production of countries of the CIS is worked out, without the substantial change of their construction. The list of necessary sensors and executive mechanisms is certain, that in an aggregate allow to obtain the successful functioning of the offered electronic system of fuel supply and promote the technical and economical indexes of diesels and gasodisels. Due to fully electronic management there is possibility of co-operation of this system with the additional equipment of transport vehicle (side computer, transmission and others like that), to prevent different family by an overload, possibility of remote-control of rotation of engine and monitoring of current parameters of thruster-on frequency.

Список літератури:

1. А. Ф. Головчук. Електронна система паливоподачі тракторного дизеля [Текст]// А. Ф. Головчук, Ю. І. Габріель/ Вісник НТУ. – 2012 №25 – с. 72.
2. Ubershrift - LSU49.pdf [Електронний ресурс]// Режим доступу: <http://www.bosch-motorsport.de/pdf/sensors/lambda/lsu49.pdf>
3. А. Ф. Головчук. Улучшение топливной экономичности и снижение дымности тракторных дизелей путем совершенствования системы автоматического регулирования: монография [Текст]// А. Ф. Головчук. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 472 с.
4. Артемов Денис. РХХ, принцип работы, диагностика и тестирование [Електронний ресурс]// Режим доступу: <http://www.agson.net/forum/index.php?act=Attach&type=post&id=35>

Bibliography (transliterated):

1. A. F. Golovchuk. Elektronna sistema palyvopodachi traktornogo dizelya [Tekst]// A. F. Golovchuk, Y. I. Gabriel / Visnyk NTU – 2012 №25 – s. 72. Ubershrift - LSU49.pdf [Elektronnyj resurs]// Rezhym dostupa: <http://www.bosch-motorsport.de/pdf/sensors/lambda/lsu49.pdf>
3. A. F. Golovchuk. Uluchsheniye toplivnoy ekonomichnosti i snizheniye dymnosti traktornykh dizeley putiom sovershenstvovaniya sistemy avtomaticheskoho regulirovaniya: manografiya [Tekst]//A. F. Golovchuk. – Kharkov: KhNADU, 2011. – 472 s.
4. Artemov Denis. RHH, prinzip raboty, diagnostika i testirovaniye [Elektronnyj resurs] //Rezhym dostupa: <http://www.agson.net/forum/index.php?act=Attach&type=post&id=35>.

Поступила в редакцию 03.07.2014