

А.М. БОРИСЕНКО, Є.А. БОРИСЕНКО, С.І. КОНДРАШОВ, М.Є. СЕРГІЄНКО, Н.М. ПАВЛОВА, О.В. ТРИНЬОВ

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСТОТИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАКЛАДНОГО ДАТЧИКА ВПРИСКА ПАЛИВА

Інформація про параметри подачі палива необхідна для оцінки експлуатаційних та екологічних показників роботи та стану дизеля автомобіля та трактора. Для отримання такої інформації потрібен спеціальний датчик, що має високу чутливість і не вбудовується в систему живлення. У роботі виконано аналітичний опис процесів у накладному електромагнітному датчику упорскування палива дизеля. За обраною електромагнітною схемою представлена схема заміщення. Для аналізованого перетворювача прийнято обґрунтовані припущення. Подано аналітичні залежності електричних та магнітних показників нелінійного ланцюга датчика. Визначено умови отримання максимальної чутливості датчика. Наведено алгоритм розрахунку магнітного ланцюга. Для вибраних конструктивних параметрів та робочого струму визначено оптимальну частоту та величину напруги живлення.

Ключові слова: автомобіль, трактор, дизель, система живлення, датчик, тиск, параметри, струм, частота, напруга.

А.Н. БОРИСЕНКО, Е.А. БОРИСЕНКО, С.И. КОНДРАШОВ, Н.Е. СЕРГІЄНКО, Н.Н. ПАВЛОВА, А.В. ТРИНЁВ

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО НАКЛАДНОГО ДАТЧИКА ВПРЫСКА ТОПЛИВА

Информация о параметрах подачи топлива необходима для оценки эксплуатационных и экологических показателей работы и состояния дизеля автомобиля и трактора. Для получения такой информации требуется специальный датчик, обладающий высокой чувствительностью и не встраиваемый в систему питания. В работе выполнено аналитическое описание процессов в накладном электромагнитном датчике впрыска топлива дизеля. По выбранной электромагнитной схеме представлена схема замещения. Для рассматриваемого преобразователя приняты обоснованные допущения. Представлены аналитические зависимости электрических и магнитных показателей нелинейной цепи датчика. Определены условия получения максимальной чувствительности датчика. Представлен алгоритм расчета магнитной цепи. Для выбранных конструктивных параметров и рабочего тока определена оптимальная частота и величина напряжения питания.

Ключові слова: автомобиль, трактор, дизель, система питания, датчик, давление, параметры, ток, частота, напряжение.

A. BORYSENKO, Ye. BORISENKO, S. KONDRASHOV, N. SERGIENKO, N. PAVLOVA, A. TRYNOV

ANALYSIS OF PROCESSES AND OPTIMIZATION OF POWER FREQUENCY OF ELECTROMAGNETIC SUPPLY SENSOR OF FUEL INJECTION

Information about the parameters of the fuel supply is necessary to assess the operational and environmental performance and condition of the diesel engine of the car and tractor. To obtain such information, a special sensor is required, which is highly sensitive and is not built into the power system. The paper provides an analytical description of the processes in the overhead electromagnetic diesel fuel injection sensor. According to the selected electromagnetic circuit, an equivalent circuit is presented. Reasonable assumptions are made for the converter under consideration. Analytical dependences of electrical and magnetic parameters of a non-linear sensor circuit are presented. The conditions for obtaining the maximum sensitivity of the sensor are determined. An algorithm for calculating the magnetic circuit is presented. For the selected design parameters and operating current, the optimal frequency and supply voltage were determined.

Key words: car, tractor, diesel, power system, sensor, pressure, parameters, current, frequency, voltage.

Вступ. Інформація про параметри впорскування палива дуже важлива для оцінки технічного стану дизеля, автоматичного керування режимами його роботи та забезпечення високих екологічних та техніко-економічних показників автомобіля, трактора. Така

інформація може бути отримана при обробці сигналу спеціального датчика, характеристики якого впливають на якість згаданої інформації. У зв'язку з цим важливу роль відіграє, у тому числі, і правильний вибір робочої частоти датчика, коли його чутливість буде близька до максимальної можливої.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В даний час практично на всіх самохідних транспортних засобах встановлено датчики тиску, які використовуються в системах контролю, діагностики та управління як двигуна, так і трансмісії, систем управління, додаткового обладнання та ін. У статті [1] автором представлено огляд автомобільних датчиків тиску. Розглядаються різні за конструкцією та діапазонами вимірюваних тисків датчики, у тому числі фірми Bosch, які вимірюють високий тиск упорскування в дизелі до 100 МПа. На датчики тиску пред'являються високі вимоги до надійності та точності роботи, особливо якщо діапазон тиску збільшується.

Інформація про датчики, у тому числі виконані за найсучаснішими технологіями, представлена в роботах [2, 3].

Дизель, обладнаний сучасними системами упорскування палива в порівнянні з ранніми механічними системами паливоподачі, має вищі екологічні показники, тягово-швидкісні характеристики, високу економічність, плавність та малу шумність роботи. Тому акумуляторна паливоподаюча система (CommonRail) набула широкого поширення серед систем паливоподачі дизелів і є однією з найперспективніших на сьогоднішній день. Найважливішим компонентом системи упорскування палива є датчик тиску [4].

Досконалість такої дизельної паливної системи полягає в точності подачі палива, якості його розпилення. Поліпшення останніх дозволяє досягти найкращих екологічних та експлуатаційних показників автомобілів та тракторів. Якість подачі палива визначається, зокрема, і точністю компонентів вимірювальної системи [5, 6].

Удосконалення конструкцій датчиків, вимірювальної системи та систем живлення двигунів внутрішнього згоряння зумовило поступову відмову від механічних систем та перехід до систем з електронним та електричним керуванням. Причому завдання конструкції зводиться до максимального наближення дозуючого паливного пристрою до камери згоряння циліндра двигуна, для мінімізації небажаних хвильових процесів у паливі, що впливають на процес упорскування. Такий підхід, разом із можливостями сучасної електроніки, значно посилює вимоги до точності паливоподачі, наприклад, порівняно з механічною системою, що має гідравлічно керовану форсунку і досить довгі трубки високого тиску. Однак, при робочих тисках у сучасних системах упорскування понад 250 МПа, роль гідродинамічних процесів значно зростає [7].

Датчики з урахуванням мікроелектромеханічних систем [8] існують кілька десятиліть, досягнувши масового використання у багатьох галузях. Датчики тиску в цьому сегменті включають ті, що використовуються для керування двигуном. Вибір параметрів, що забезпечують необхідну чутливість їх на всіх режимах роботи двигуна є сьогодні актуальним.

Наприклад, у роботі [9] розглянуто однокристальний п'єзорезистивний датчик тиску з підсилювачем та каліброваним виходом для автомобільної техніки. Датчик поєднує чутливий елемент, перетворювач сигналу та забезпечує функцію вимірювання тиску, корекцію температури та лінійність на чіпі, необхідні для автомобільних систем. Спільно інтегроване виконання пристрою забезпечує високу швидкодію при роботі на різних режимах двигуна, малі розміри та вартість.

Сучасна методологія проектування та виробництва надійних датчиків для двигунів представлена у роботі [10]. Розглянуто принципи вибору властивостей матеріалів та проектування схем, вимоги до конструкції та характеристик датчиків. Проте недостатньо приділено уваги розвитку методик вибору робочих параметрів датчиків.

Автомобільні контрольно-вимірювальні прилади різноманітні за конструкцією та способами відображення інформації. Для фіксації тиску паливної системи дизельного двигуна

застосовуються накладні датчики, які недосконалі по конструктивному виконанню. Застосування запропонованої конструкції [11] дозволить знизити трудомісткість на встановлення та зняття пропонованого датчика. Однак у роботі вирішується лише завдання швидкого монтажу та демонтажу без впровадження у паливопровід.

Проте слід зазначити, що розробка квазіоптимальної системи управління двигуном [12] та алгоритму багатопараметрової системи його діагностики [13] досить складно без визначення раціональних параметрів датчиків, робочих струмів і напруг, частоти електромагнітного перетворювача.

Мета та постановка задачі.

Метою даної роботи є розробка методики визначення оптимальної робочої частоти та параметрів живлення датчика упорскування палива дизельного двигуна.

Процеси та оптимізація робочої частоти електромагнітного накладного датчика упорскування палива.

Як датчик упорскування палива можна вибрати, наприклад, електромагнітний перетворювач, який поміщається поблизу діагностованої форсунки таким чином, що невелика ділянка паливопроводу 1 розташовується в робочому зазорі магнітопроводу 2 (рис. 1). На обмотку 3 датчика подається змінна синусоїдальна напруга і вихідним сигналом датчика є діюче або амплітудне значення струму обмотки, що змінюється при зміні зазору δ , яке викликано деформаціями паливопроводу в процесі паливоподачі.

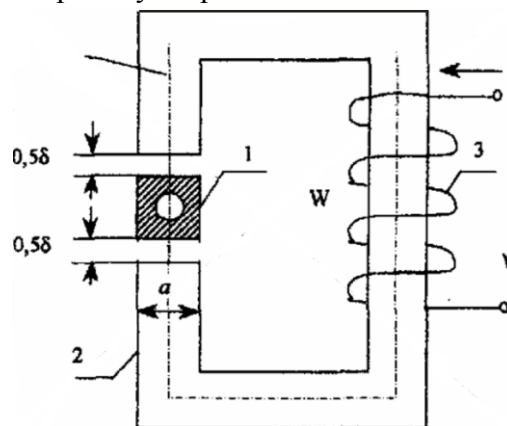


Рис. 1 – Схема електромагнітного датчика паливоподачі

Схему заміщення електромагнітного перетворювача згідно [14] можна подати у вигляді послідовного ланцюга опору та індуктивності, що показано на рис. 2.

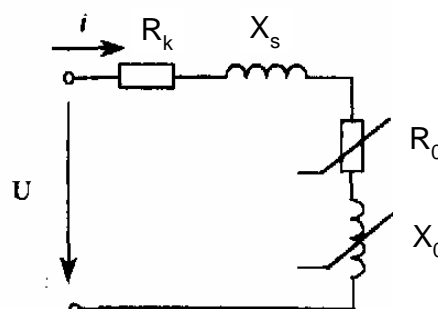


Рис. 2 – Послідовна еквівалентна схема датчика паливоподачі

Ланцюг нелінійний і його ретельний аналіз вкрай складний, у зв'язку з чим користуватимемося наближеними графоаналітичними методами.

Крім того, для спрощення завдання приймаємо такі припущення: 1) струм в обмотці датчика синусоїдальний; 2) температура датчика стала; 3) магнітні потоки витріщення в повітряних зазорах відсутні; 4) магнітні властивості матеріалу паливопроводу не мають

істотного впливу на характеристики магнітного ланцюга власне перетворювача; 5) паливопровід розташований посередині робочого зазору датчика; 6) обмотка виконана так, що реактивні опори розсіювання набагато менше реактивного опору намагнічування, $X_s \ll X_0$

Дійсне значення струму в обмотці перетворювача, згідно із законом Ома, визначається:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_k + R_0)^2 + X_0^2}}, \quad (1)$$

де R_k – активний опір обмотки; R_0 – активний опір, що відповідає втратам у магнітопроводі на гістерезис та вихрові струми;

$$X_0 = \omega L_0,$$

L_0 – індуктивність намагнічування, ω – кругова частота напруги живлення датчика.

Величину L_0 згідно [14] висловимо так:

$$L_0 = \frac{W^2}{R_{\text{магн}}} = \mu_0 S W^2 \left(\frac{\ell_{\text{ср}}}{\mu} + \delta \right), \quad (2)$$

де W – число витків обмотки датчика; $R_{\text{магн}}$ – магнітний опір ланцюга; S – поперечний переріз магнітопроводу; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнітна постійна вакуум; $\ell_{\text{ср}}$ – довжина середньої магнітної силової лінії магнітопроводу; μ – відносна магнітна проникність матеріалу магнітопроводу; δ – величина повітряного зазору між паливопроводом та магнітопроводом.

З урахуванням (2) вираз (1) можна привести до вигляду:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{\omega K_2}{K_1 + \delta} \right)^2}}, \quad (3)$$

де $R = R_k + R_0$; $K_1 = \frac{\ell_{\text{ср}}}{\mu}$; $K_2 = W^2 \mu_0 S$.

Прирошення діючого значення струму, викликані змінами повітряного зазору, запишемо так:

$$\Delta I = \frac{dI}{d\delta} \Delta \delta = A \Delta \delta,$$

де A – чутливість датчика, яка отримується після диференціювання співвідношення (3) по змінній δ

$$A = \frac{U \omega K_2}{(K_1 + \delta)^3 \left[R^2 + \left(\frac{\omega K_2}{K_1 + \delta} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}. \quad (4)$$

З останньої формули видно, що чутливість датчика дорівнює нулю при $\omega = 0$ і $\omega \rightarrow \infty$. Отже, при якійсь частоті ω_0 діапазону $0 < \omega < \infty$ чутливість максимальна. Для її визначення

продиференціюємо (4) за частотою і розв'яжемо рівняння $\frac{dA}{d\omega} = 0$. В результаті отримаємо:

$$\omega_0 = \frac{(R_K + R_0) \left(\delta + \frac{\ell_{cp}}{\mu} \right)}{\sqrt{2} W^2 \mu_0 S}. \quad (5)$$

Змінні R_0 і μ залежать від δ та індукції B в магнітопроводі, у зв'язку з чим точне рішення рівняння (5) неможливо, і тому шукатимемо наближене значення ω_0 . Для цього на початку з урахуванням роботи [15] запишемо:

$$R_0 = \frac{P_{зад}}{I^2} G \left(\frac{B_{max}}{B_{зад}} \right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_{зад}} \right)^2, \quad (6)$$

де $P_{зад}$ – задані втрати на гістерезис та вихрові струми на одиницю маси матеріалу при заданих індукції $B_{зад}$ та частоті $\omega_{зад}$; $B_{max} = \sqrt{2} B$ – амплітудне значення індукції; G – маса магнітопроводу.

У [16] вибрано $B_{зад} = 1$ Тл. Величина може бути визначена за магнітною характеристикою $B(IW)$ всього ланцюга, побудованої з урахуванням кривої намагнічування (H) матеріалу магнітопроводу. При цьому використовуються закони Ома та Кірхгофа для магнітних ланцюгів та отриманий за їх допомогою наступний алгоритм розрахунку:

$$\Phi \rightarrow \frac{\Phi}{S} = B(H), \quad (7)$$

де Φ – діюче значення магнітного потоку в ланцюзі; $B(H)$ – залежність індукції від напруженості магнітного поля; S – переріз магнітопроводу;

$$B(H) \rightarrow H_{cm} \rightarrow H_{cm} \cdot \ell_{cp},$$

де H_{cm} – напруженість магнітного поля в магнітопроводі; ℓ_{cp} – довжина середньої силової лінії;

$$B(H) \rightarrow H_{\delta} = \frac{B}{\mu_0 \mu} \rightarrow H_{\delta} \cdot \delta,$$

де H_{δ} – напруженість магнітного поля в повітряному зазорі; B – індукція; μ_0 – магнітна постійна вакуум; δ – величина повітряного зазору.

Сума

$$H_{cm} \cdot \ell_{cp} + H_{\delta} \cdot \delta = IW,$$

де I – струм в обмотці; W – число витків в обмотці.

На рис. 3 наведена крива $B(H)$ електротехнічної сталі E320 [16].

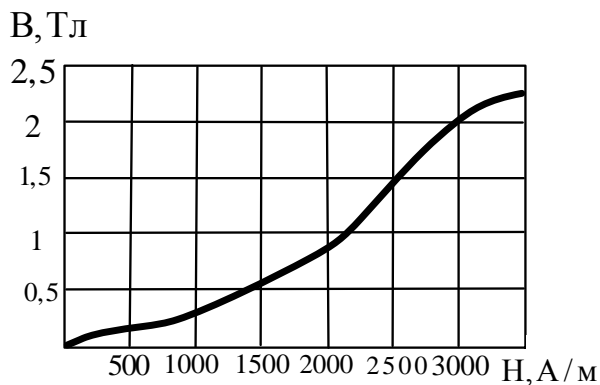


Рис. 3 – Крива намагнічування для матеріалу датчика

На рис. 4 показана магнітна характеристика (IW), побудована за даними відповідної таблиці. Остання отримана відповідно (7) при наступних конструктивних даних перетворювача, обраних авторами як приклад:

$$S = 10^{-4} \text{ м}^2; a = 0,01 \text{ м}; \delta = 10^{-3} \text{ м}; W = 1000.$$

Вираз (5) з урахуванням (2) зручно записати у вигляді:

$$\omega_0 = \frac{(R_k + R_0)R_{\text{магн}}}{\sqrt{2W^2S}}$$

або наступним чином

$$\omega_0 = \frac{R_k + R_0}{\sqrt{2L_0}}.$$

Якщо взяти до уваги (6), отримаємо:

$$\omega_0 = \frac{R_0 + \frac{P_{\text{зад}}}{I} G \left(\frac{B_{\text{max}}}{B_{\text{зад}}} \right)^2 \left(\frac{\omega_0}{\omega_{\text{зад}}} \right)^{1,2}}{\sqrt{2L_0}}. \quad (8)$$

Рівняння (8) зручно вирішити, наприклад, чисельними методами з використанням графіка $B(IW)$, побудованого за таблицею та показаного на рис. 4. При цьому можна варіювати R_k , I або тільки I , рахуючи $R_k = \text{const}$. Активний опір котушки за відомих ρ і d_{np} можна визначити за формулою [17]:

$$R_k = 4\rho \frac{C_{np}W}{\pi d_{np}^2},$$

де ρ – питомий електричний опір матеріалу дроту; C_{np} – середня довжина витка; d_{np} – діаметр дроту.

Аналіз результатів дослідження.

Після обчислення можна визначити робочу напругу перетворювача на підставі формули (1). Зокрема, при вищевказаних значеннях конструктивних параметрів датчика та робочому струмі оптимальна частота = 104200 рад/с, що відповідає циклічній частоті 16592 Гц, а змінна напруга $U = 74$ В. Ці дані задовільно узгоджуються з результатами експерименту, виконаного з використанням описаного датчика паливної апаратури дизелів автомобілів та тракторів.

Таблиця 1 - Магнітна характеристика ланцюга

Φ , Вб	B , Тл	$H_{ст}$, А/м	H_{δ} , А/м	$H_{ст}I_{ст}$, А	$H_{\delta}I_{\delta}$, А	$(H_{\delta}\delta + H_{ст}I_{ст})$, А	I , А	$R_{маг}$, 1/Гн	L_0 , Гн
$1,0 \cdot 10^{-4}$	1,0	$14 \cdot 10^3$	$796 \cdot 10^3$	1400	796	2156	2,156	$21,56 \cdot 10^6$	0,0464
$0,8 \cdot 10^{-4}$	0,8	$13 \cdot 10^3$	$637 \cdot 10^3$	1300	637	1937	1,937	$24,2 \cdot 10^6$	0,0413
$0,6 \cdot 10^{-4}$	0,6	$11,3 \cdot 10^3$	$477,7 \cdot 10^3$	1130	477,7	1607,7	1,607	$26,8 \cdot 10^6$	0,0373
$0,4 \cdot 10^{-4}$	0,4	$9 \cdot 10^3$	$318,5 \cdot 10^3$	900	318,5	1218,5	1,218	$30,46 \cdot 10^6$	0,0328
$0,2 \cdot 10^{-4}$	0,2	$6 \cdot 10^3$	$159,3 \cdot 10^3$	600	159,3	759,3	0,759	$37,96 \cdot 10^6$	0,0263
$0,1 \cdot 10^{-4}$	0,1	$1,7 \cdot 10^3$	$79,6 \cdot 10^3$	170	79,6	249,6	0,249	$24,96 \cdot 10^6$	0,04
$0,05 \cdot 10^{-4}$	0,05	$1 \cdot 10^3$	$39,8 \cdot 10^3$	100	39,8	139,8	0,140	$17,96 \cdot 10^6$	0,0358

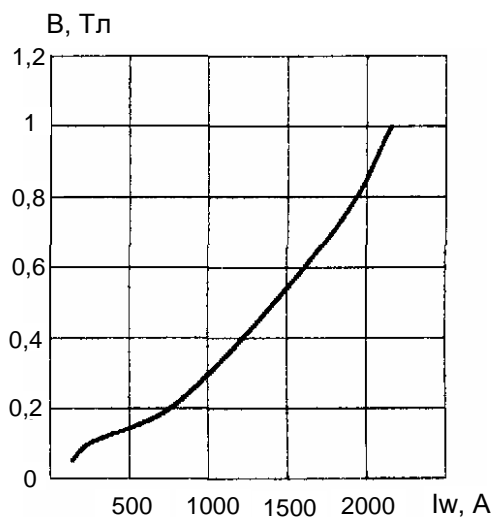


Рис. 4 – Магнітна характеристика електромагнітного датчика

Висновки. Розроблена методика дозволяє визначити максимально можливу чутливість накладного на паливопровід датчика тиску палива системи живлення дизеля. При вибраних конструктивних параметрах та місці встановлення зазначеного датчика визначено оптимальну циклічну частоту та величину змінної електричної напруги живлення цього датчика. Отримані результати підтверджено при діагностиці дизелів автомобілів та тракторів.

Список літератури

1. Сысоева С. Автомобильные датчики давления. Эволюция технологий для массового применения MAP/ВАР // *Компоненты и технологии*. 2008. – №8. – С. 10 – 18. Режим доступа: https://kit-e.ru/wp-content/uploads/2008_2_10.pdf
2. Фрайден Дж. Современные датчики: *Справочник*: Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Бриндли К. Измерительные преобразователи: *Справочное пособие*: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
4. Фонов В.В. Компоненты перспективных топливных систем аккумуляторного типа с электронным управлением для транспортных дизелей. – М., 2004. – 198 с.
5. Конрад Райф. Системы управления дизельными двигателями (в кратком изложении). *Перевод с нем.* ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО Изд. «За рулем», 2013. – 232 с.

6. Конрад Райф. Современные системы впрыска топлива дизельных двигателей. *Перевод с нем.* ЧМП РИА «GMM-пресс». – М.: ООО Изд. «За рулем», 2013. – 176 с.
7. Шатров М.Г. Экспериментальное исследование гидродинамических эффектов в топливной аппаратуре Common Rail при многократном впрыскивании / М.Г. Шатров, Л.Н. Голубков, А.Ю. Дунин, П.В. Душкин // *Журнал ААИ* №2 (97) 2016. – С. 15-17.
8. MEMS in Automotive and Consumer Electronics. Frost & Sullivan, Pr. Venkatesh Sensors, Nov 1, 2007.
9. Single-Chip Pressure Sensor for the Automotive Market. Markle Jeffery G., Dunbar Michael L., Allen Henry V., Silicon Microstructures, Inc. Bornefeld R., Schreiber-Prillwitz W., Stöver Olaf, Elmos AG Sensors, Apr, 2004.
10. Parsons M. Design and Manufacture of Automotive Pressure Sensors. Maxim Integrated Products. Sensors, Apr, 2001.
11. Ляндербургский В.В., Тарасов А.И., Коломеец Д.А. Совершенствование датчиков давления топлива дизельных двигателей // *Интернет журнал «Науковедение»*. – ИГУПИТ, 2013. №1. – С. 1-11.
12. Гапон А.И., Борисенко А.Н., Сергиенко Н.Е., Павлова Н.Н. Квазиоптимальная система управления автомобильным двигателем // *Тези доповідей XXIV міжн. н.-практ. конф. У чотирьох частинах. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: матеріали конференції 4-х ч.* (2016 р. Харків) за ред. Сокола Є.І. / – Харків: НТУ «ХП», 2016. – Ч.2. – С. 50
13. Борисенко А.М., Борисенко Є.А., Кондрашов С.І., Сергієнко М.Є., Павлова Н.М. Розробка алгоритму багатопараметричної системи діагностування дизеля на базі мікроконтролера // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжн. н.-практ. конф. MicroCAD-2020*, 21-23 жовтня 2020 р.: у 5 ч. Ч. I. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – С.183.
14. Устройство для определения угла опережения впрыска топлива в дизель: А.с. 1486620 СССР. МКИ F02M65/00, G01M15/00/ Борисенко А.Н., Зайончковский В.Н., Заславский Е.Г., Невяжский Г.Я. – № 4215075/25-06; Заявл. 28.01.87; Оpubл. 15.06.89. Бюл. № 22. – 6с.
15. Устройство для измерения угла опережения подачи топлива: А.с. 1413474 СССР. МКИ G01M15/00/ Борисенко А.Н., Еникеев А.Ф., Золотых В.В., Михлин И.В. – №4070474/25-06; Заявл. 26.05.86; Оpubл. 30.07.88. Бюл. № 28. – 5с.
16. Борисенко А.Н., Самсонов В.П., Еникеев А.Ф. и др. Разработка принципов и макетов устройств диагностики дизель-генератора. Отчет о НИР ГР № 81077615, инв. № 02850059838. – Харьков, 1989. – 68 с.
17. Устройство для измерения угла опережения впрыска топлива в дизель: А.с. 1260713 СССР. МКИ G01M15/00/ Борисенко А.Н., Соболев В.Н., Зайончковский В.Н., Заславский Е.Г., Еникеев А.Ф., Золотых В.В. – № 3854205; Заявл. 24.12.84; Оpubл. 30.09.86. Бюл. №36. – 6с.

References (transliterated)

1. Sysoyeva S. Avtomobil'ni datchyky tysku. Evolyutsiya tekhnolohiy dlya masovoho zastosuvannya MAR/VAR // *Komponenty ta tekhnolohiyi*. 2008. – №8. – S. 10 – 18. Rezhymdostupu: https://kit-e.ru/wp-content/uploads/2008_2_10.pdf
2. Frayden Dzh. Suchasnidatchyky: Dovidnyk: Prov. z anhl. - M.: Tekhnosfera, 2005. - 592 s.
3. Brindli K. Vymiryval'ni peretvoryuvachi: Dovidkovyy posibnyk: Per. z anhl. - M.: Vyshchashkola, 1991. - 144 s.
4. Fonov V.V. Komponenty perspektyvnykh palyvnykh system akumulyatornoho typu I zelektronnym keruvannyam dlya transportnykh dyzeliv. – M., 2004. – 198 s.
5. Konrad Rayf. Systemy keruvannyadyzel'nymydvyhunamy (u korotkomuvykladі). Perekladizn'omu. PMP RIA "GMM-press". - M.: TOV Vyd. "Zakermom", 2013. – 232 s.
6. Konrad Rayf. Suchasni systemy uporskuvannya palyva dyzel'nykh dvyhuniv. Perekladi z n'omu. PMP RIA "GMM-press". - M.: TOV Vyd. "Zakermom", 2013. – 176 s.
7. Shatrov M.H. Eksperymental'ne doslidzhennya hidrodynamichnykh effektiv u palyvniy aparaturi Common Rail pry bahatorazovomu vporskuvanni / M.H. Shatrov, L.M. Holubkov, A.YU. Dunin, P.V. Dushkin // *Zhurnal AAI* №2 (97) 2016. – S. 15-17.
8. MEMS in Automotive and Consumer Electronics. Frost & Sullivan, Pr. Venkatesh Sensors, Nov 1, 2007.
9. Single-Chip Pressure Sensor dlya Automotive Market. Markle Jeffery G., Dunbar Michael L., Allen Henry V., Silicon Microstructures, Inc. Bornefeld R., Schreiber-Prillwitz W., Stöver Olaf, Elmos AG Sensors, Apr, 2004.
10. Parsons M. Design and Manufacture of Automotive Pressure Sensors. Maxim Integrated Products. Sensors, Apr, 2001.

11. Lyanderburs'kyy V.V., Tarasov A.I., Kolomiyets' D.A. Udoskonalennya datchykyv tysku palyva dyzel'nykh dvyhuniv// *Internetzhurnal «Naukoznavstvo»*. - IHUPIT, 2013. №1. – S. 1-11.
12. Hapon A.I., Borysenko O.M., Sergienko N.Ye., Pavlova N.M. Kvazioptymal'na systema keruvannya avtomobil'nym dvyhunom// *Tezy dopovidey XXIV mizhn. n.-prakt. konf. U chotyr'okhchastynakh. Informatsiyi tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya: materialy konferentsiyi u 4-kh ch.* (2016 r. Kharkiv) zared. Sokola Ye.I./ – Kharkiv: NTU «KHPI», 2016. – CH.2. – S. 50
13. Borysenko A.M., Borysenko YE.A., Kondrashov C.I., Sergienko M.Ye., Pavlova N.M. Rozrobka alhorytmu bahatoparametrychnoyi systemy diahnostuvannya dyzelya na bazi mikrokontrolera // *Informatsiyi tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya: tezy dopovidey KH XVII mizhn. n.-prakt. konf. MicroCAD-2020, 21-23 zhovtnya 2020: u 5 ch. CH. I.* / zared. prof. Sokola YE.I. – Kharkiv: NTU "KHPI". – S.183.
14. Prystriy vyznachennya kuta vyperedzhennya vporokuvannya palyva v dyzel': A.s. 1486620 SRSR. MKY F02M65/00, G01M15/00/ Borysenko O.M., Zayonchkovs'kyy V.M., Zaslavs'kyy Ye.H., Nev'yaz'kyy H.Ya. – №4215075/25-06; Zayavl. 28.01.87; Opubl. 15.06.89. Byul. № 22. – 6s.
15. Prystriy dlya vymiryuvannya kuta vyperedzhennya podachi palyva: A.s. 1413474 SRSR. MKY G01M15/00/ Borysenko A.M., Yenikyeyev A.F., Zolotykh V.V., Mikhliln I.V. – №4070474/25-06; Zayavl. 26.05.86; Opubl. 30.07.88. Byul. № 28. – 5s.
16. Borysenko O.M., Samsonov V.P., Yenikyeyev A.F. tain Rozrobka pryntsyypiv ta maketiv prystroy i vdiahnostyky dyzel'-heneratora. Zvitpro NDR HR № 81077615, inv. № 02850059838. - Kharkiv, 1989. – 68 s.
17. Prystriy dlya vymiryuvannya kuta vyperedzhennya u porskuvannya palyva v dyzel': A.s. 1260713 SRSR. MKY G01M15/00/ Borysenko A.M., Sobol' V.M., Zayonchkovs'kyy V.M., Zaslavs'kyy Ye.H., Yenikyeyev A.F., Zolotykh V.V. – № 3854205; Zayavl. 24.12.84; Opubl. 30.09.86. Byul. №36. – 6s.

Надійшла (received) 01.12.2021 р.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Борисенко Анатолій Миколайович (Борисенко Анатолий Николаевич, Borysenko Anatoliy) – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри теоретичних основ електротехніки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-002-9160-4488>; e-mail: an.borisenko.khpi@gmail.com

Борисенко Євген Анатолійович (Борисенко Евгений Анатольевич, Borysenko Yevheniy) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7511-2590>, e-mail: 4borisea@gmail.com

Кондрашов Сергій Іванович (Кондрашов Сергей Иванович, Kondrashov Sergiy) – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5191-8562> e-mail: serhii.kondrashov@khpi.edu.ua

Сергієнко Микола Єгорович (Сергиенко Николай Егорович, Sergienko Nikolay) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5168-1924>; e-mail: nesergienko@gmail.com

Павлова Наталія Миколаївна (Павлова Наталия Николаевна, Pavlova Nataliya) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0621-1365>; e-mail: npavlovann@gmail.com

Триньов Олександр Володимирович (Тринёв Александр Владимирович, Trynov Aleksandr) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0344-8332>; e-mail: trinaleksandr427@gmail.com