

УДК 681.586

Ю. О. СМОЛІН**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА ТИСКУ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ДВЗ**

Розглянуто основні вимоги до сучасних датчиків. Виділено параметри, які найбільш суттєво впливають на якісні характеристики датчиків. Визначено частину недоліків датчиків, що можна компенсувати за рахунок обчислювальних і логічних можливостей комп'ютера. Наведено структурну схему розробленого датчика, розгорнення зовнішньої поверхні тензометричного стакану зі схемою наклейки тензорезисторів й схемою їх розпаювання, конструкцію датчика і його опис, креслення мембрани, а також необхідні характеристики датчика тиску. Розглянуто процес одержання градуйованих характеристик. Обрані засоби контролю і вимірювання та наведені їх характеристики. Наведено розроблену структурну схему експериментальної установки для визначення градуйованих характеристик. Отримані й наведені градуйовані характеристики первинного вимірювального перетворювача, підсилювача, АЦП і цифрового датчика тиску. Проведено розрахунок чутливості датчика.

Ключові слова: датчик тиску, первинні перетворювачі, експериментальна установка, градуйовані характеристики, чутливість датчика.

Ю. А. СМОЛИН**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ДВС**

Рассмотрены основные требования к современным датчикам. Выделены параметры, которые наиболее существенно влияют на качественные характеристики датчиков. Определена часть недостатков датчиков, которые можно компенсировать за счет вычислительных и логических возможностей компьютера. Приведена структурная схема разработанного датчика, развертка внешней поверхности тензометрического стакана, схема наклейки тензорезисторов и схема их распайки, конструкция датчика и его описание, чертеж мембраны, а также требуемые характеристики датчика давления. Рассмотрен процесс получения градуировочных характеристик. Выбраны средства контроля и измерения и приведены их характеристики. Приведена разработанная структурная схема экспериментальной установки для определения градуировочных характеристик. Получены и приведены градуировочные характеристики первичного измерительного преобразователя, усилителя, АЦП и цифрового датчика давления. Проведен расчет чувствительности датчика.

Ключевые слова: датчик давления, первичные преобразователи, экспериментальная установка, градуировочные характеристики, чувствительность датчика.

Yu. A. SMOLIN**RESEARCH RESULTS OF PRESSURE SENSOR CHARACTERISTICS COMPUTER ICE DIAGNOSTIC SYSTEMS ICE**

The basic requirements for modern sensors are considered. The parameters that have the most significant effect on the qualitative characteristics of the sensors are selected. The part of flaws of sensors that can be compensated by computational and logic capabilities of the computer is determined. The structural scheme of the developed sensor, the unwrapping of the outer surface of the strain gauge glass with the scheme of strain gauge stickers and their decomposition scheme, the design of the sensor and its description, the drawing of the membrane, as well as the necessary characteristics of the pressure sensor are provided. In this case, the main attention is paid to the circuit of the primary measuring transducer, the method of setting the strain gauge, the circuit of their connection and the power supply. A detailed description of all mechanical components of the sensor and its cooling method is given. The process of obtaining the graded characteristics is considered. The means of control and measurement and their characteristics are selected. The developed structural scheme of the experimental setup for the determination of the graded characteristics is given. The graduated characteristics of the primary measuring transducer, amplifier, ADC and digital pressure sensor are derived and presented. The sensitivity of the sensor is calculated.

Key words: pressure sensor, primary transducers, experimental setup, graded characteristics, sensitivity of the sensor.

Вступ. Розвиток сучасних засобів комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, в тому числі різних інформаційних та автоматизованих систем, немисливо без використання високоточних та надійних датчиків.

Не є виключенням і датчики тиску, які застосовуються у двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) [1]. Вони створюються на базі пристроїв радіоелектроніки, таких як операційні підсилювачі, вимірювальні мости, аналого-цифрові перетворювачі та ін., але основною їх частиною є первинний вимірювальний перетворювач. Тому визначити і представити в цифровій формі тиск в циліндрі ДВЗ можна тільки за допомогою спеціально розроблених засобів вимірювань на базі радіоелектронних пристроїв [2]. Такий цифровий датчик для вимірювання тиску в циліндрах ДВЗ було розроблено в НТУ «ХП».

Постановка проблеми. Одним із найважливіших параметрів робочого процесу ДВЗ є тиск в циліндрі двигуна. Тому до складу всіх науково-дослідницьких та випробувальних комп'ютерних систем діагностики ДВЗ надходить датчик тиску в циліндрі ДВЗ, за допомогою якого в діагностичній системі створюється окремий канал вимірювання із своїми особливостями та характеристиками, які, в свою чергу, пов'язані між собою і вимагають при дослідженні комплексного підходу [3]. Тому завжди існує необхідність проводити виміри параметрів ДВЗ при різних видах випробувань, за допомогою комп'ютерних систем контролю та діагностики, з точністю, що регламентується ДСТУ.

Мета роботи. Експериментальним шляхом визначити градуйовані характеристики окремих вузлів цифрового датчика тиску та датчика в цілому й

оцінити спроможність його використання в комп'ютерних системах контролю та діагностики ДВЗ.

Основна частина. Основними вимогами до сучасних датчиків є [2, 3, 4]:

а) високі якісні характеристики: чутливість, точність, лінійність, відтворюваність або повторюваність показань, швидкість відгуку, взаємозамінність, відсутність гістерезису й велике відношення сигнал-шум;

б) висока надійність: тривалий термін служби, стійкість дозовнішнього середовищу, безвідмовність у роботі;

в) технологічність: малі габарити й маса, простота конструкції, низька собівартість.

Звичайно, виготовлення датчиків, що задовольняють всім перерахованим тут вимогам, представляє собою значні труднощі. Однак при роботі датчиків в складі комп'ютерних систем частину недоліків датчиків можна компенсувати за рахунок обчислювальних і логічних можливостей комп'ютера. Зокрема, за допомогою комп'ютера лінеаризується нелінійна характеристика датчика; придушуються шуми датчика; коректується чутливість і точка нуля відліків, які звичайно змінюються при тривалій експлуатації; компенсується вплив температури навколишнього середовища; виробляється автоматична діагностика датчиків.

Структурна схема цифрового датчика тиску, призначеного для виміру тиску в циліндрі ДВЗ наведена на рис. 1.

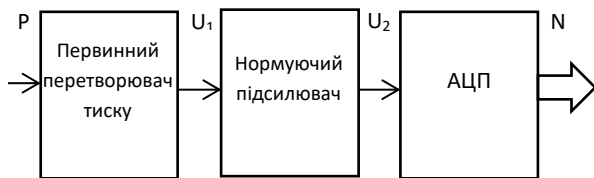


Рис. 1 – Структурна схема датчика тиску

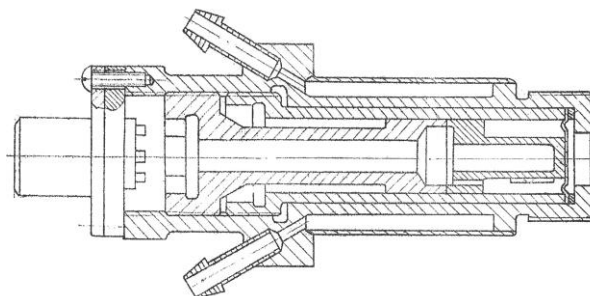


Рис. 3 – Конструкція датчика тиску

У нижньому торці датчика є отвір, що закривається мембраною, виштампуваною з аркуша нержавіючої сталі зі сплаву EI-702, на якій наклеєні тензорезистори. Мембрана передає тиск газів на тензостакан й охороняє його від безпосереднього зіткнення з робочою сумішшю й газами.

Натискний гвинт забезпечує ущільнення між дном корпусу й мембраною через прокладку.

У якості первинного вимірювального перетворювача (ПВП) тиску, застосовується тензорезистивний перетворювач. Такий перетворювач являє собою два активних плівкових тензорезистори типу КФ4 наклеєних клеєм ВР-10 на зовнішню поверхню тензостакану, як це показано на рисунку 2. Тензорезистори включені в суміжні плечі мосту постійного струму й наклеєні під кутом в 90° , так що один з них піддається розтягання, інший – стиску при деформації тензостакану. Тензорезистори утворюють напівміст, підключений через рознімач Х1 до зовнішнього напівмосту. У такий спосіб утворюється нерівновагий міст постійного струму, що забезпечує високу чутливість і гарну лінійність градувальної характеристики. Міст живиться стабілізованим джерелом живлення й забезпечує на виході, при тисках у діапазоні $0 \div 15$ МПа, напругу в межах $0 \div 70$ мВ.

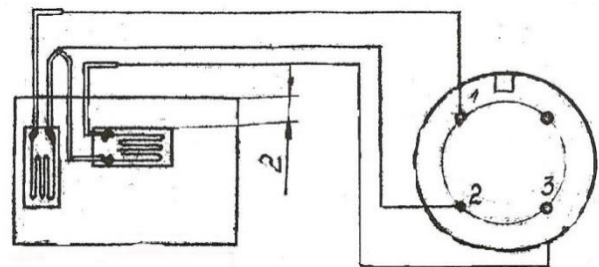


Рис. 2. – Розгорнення зовнішньої поверхні тензометричного стакану зі схемою наклеєної тензорезисторів й схемою розпаювання

Пропонована конструкція датчика тиску наведена на рисунку 3. Датчик являє собою циліндричний металевий корпус, виконаний з високоякісної сталі СТ40Х. У нижній частині корпусу є різьблення, за допомогою якої корпус датчика ввертається в отвір у стінці циліндра камери згоряння. По нижньому торці корпусу, за допомогою мідної відпаленої шайби відбувається ущільнення, що запобігає прориву газів з камери згоряння.

Спеціальний гвинт задає початкове зусилля притиснення тензостакану до мембрани, забезпечуючи таким чином, деяку незначну початкову деформацію тензостакану.

У верхній частині корпусу на його торці закріплений за допомогою гвинтів чотириконтактний рознімач, до якого, у відповідності зі схемою

розпаювання, наведеної на рис. 2, приєднуються виводи тензорезистивного напівмосту.

Уся ця конструкція розміщена усередині спеціального металевого корпусу. При цьому утворюється внутрішня порожнина, що заповнюється проточною водою й, що служить для охолодження датчика. Вода підводить за допомогою шланга від зовнішнього джерела через штуцер. Відвід охолодної води здійснюється через другий штуцер, також з'єднаний із внутрішньою порожниною.

Креслення мембрани, що безпосередньо деформується в датчику під впливом тиску, і на яку наклеюється тензорезистори, показано на рис. 4.

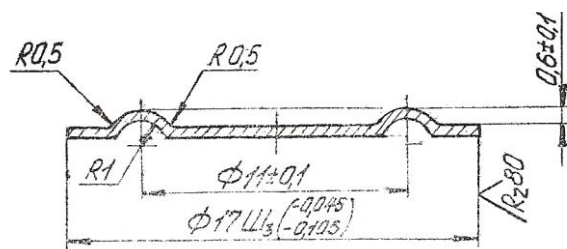


Рис. 4 – Мембрана

Основні вимагані характеристики й параметри датчика тиску наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Необхідні характеристики датчика тиску

Характеристики і параметри	Числові значення
Границі зміни вхідного сигналу:	
– на вході датчика, МПа	0÷15
– на вході підсилювача, мВ	0÷100
– на вході АЦП, В	0÷10
Робочий діапазон вхідних сигналів по частоті, кГц	0÷5
Число розрядів вихідного коду АЦП	10
Основна статична наведена похибка датчика, не більш, %	±2,5
Динамічна похибка при максимальній швидкості зростання напруги $10^{-2} \frac{В}{мс}$, не більш, %	1

Основною характеристикою датчика є його градувальна характеристика, тобто залежність вихідного цифрового сигналу N від вхідної напруги P , представлена у вигляді графіка [5]. Отже, градувальною характеристикою датчика є залежність $N = f(P)$. Крім того, кожний з перетворювачів, що надходить до складу датчика (первинний тензорезистивний перетворювач, підсилювач і АЦП) має свою градувальну характеристику.

Для первинного тензорезистивного перетворювача тиску це залежність $U_1 = f(P)$. Для підсилювача – залежність $U_2 = f(U_1)$. Для АЦП – $N = f(U_2)$. Ці залежності також важливі для визначення параметрів датчика. Важливою характеристикою є також чутливість.

Тобто датчик тиску, у принципі, може характеризуватися трьома приватними градувальними характеристиками:

- первинного вимірювального перетворювача;
- підсилювача;
- АЦП.

Процес одержання кожної градувальної характеристики складається із двох операцій: подачі фіксованого сигналу на вході й реєстрація вихідного значення.

У такий спосіб для одержання градувальних характеристик необхідно:

а) для градувальної характеристики первинного вимірювального перетворювача тиску:

- подавати на вхід різні тиски в межах 0÷15 МПа;
- фіксувати на виході перетворювача відповідні значення напруг U_1 ;

б) для градувальної характеристики підсилювача:

- подавати на вхід підсилювача різні значення напруги U_1 (у діапазоні виміру, отриманому в результаті першого дослідження);

- фіксувати на виході підсилювача напруги U_2 ;

в) для градувальної характеристики АЦП:

- подавати на вхід АЦП різні значення напруги U_2 (у діапазоні виміру, отриманому в результаті другого дослідження);

– фіксувати на виході АЦП відповідний вихідний код;

г) для одержання градувальної характеристики датчика:

- подавати на вхід датчика різні тиски P (у межах 0÷15 МПа);

- фіксувати відповідний код на виході АЦП.

У якості пристрою, що забезпечував надання повітря під тиском, був обраний вантажнопоршневий манометр типу МП-60. Він складається із трьох основних вузлів [3]:

– механічного нагнітача повітря, поршень якого переміщується за допомогою обертаючого руків'я, чим і забезпечує тиск у ресивері до 150 МПа;

- ресивера-ємності для стислого повітря;

– зразкового манометру надмірного тиску МДИ 88-150.

Технічні характеристики вантажно-поршневого манометру наведені в таблиці 2.

Як вимірники напруги використовувалися універсальні цифрові вольтметри типу В7-35, призначені для виміру напруги й сили постійного й змінного струмів.

Таблиця 2 – Технічні характеристики вантажно-поршневого манометра МП-60

Характеристики і параметри	Числові значення
Тиск у ресивері, МПа	150
Ємність ресивера, л	5
Діапазон шкали манометра, МПа	0÷150
Ціна ділення, МПа	0,5
Похибка, %	0,5%
Маса, кг	18

В якості підсилювача використовувався підсилювач постійного струму на базі операційного підсилювача, розроблений і виготовлений на кафедрі КРСКД НТУ «ХП».

У якості АЦП застосовувався функціонально закінчений АЦП типу Ф7077/1.

З урахуванням обраної апаратури структурна схема експериментальної установки для

визначення градувальних характеристик датчику тиску в циліндрі ДВЗ мала вид зображений на рис. 5.

Експериментальні дослідження проводилися в наступній послідовності:

а) Визначалися окремо градувальні характеристики первинного вимірювального перетворювача, вмикненого за схемою нерівноважного мосту.

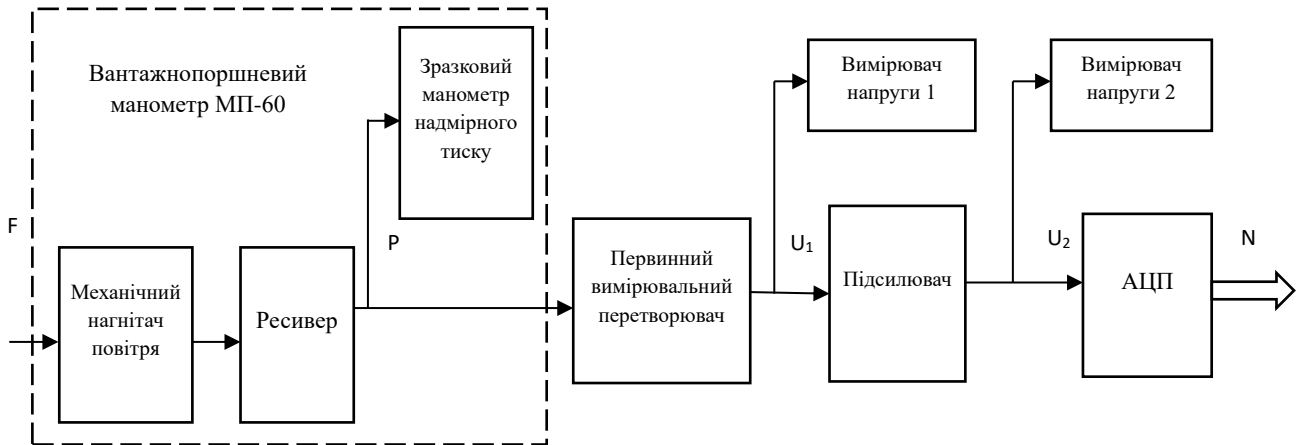


Рис. 5 – Структурна схема експериментальної установки для визначення градувальних характеристик

Вони знімалися при різних струмах живлення мосту. За результатами експериментальних даних був побудований, отриманий ряд градувальних характеристик, одна й з яких показана на рис. 6. З неї

видно, що напруга на виході мосту, досягає 20 мВ при вхідному тиску 15 МПа. Ця характеристика знімалася при струмі живлення мосту рівному 40 мА.

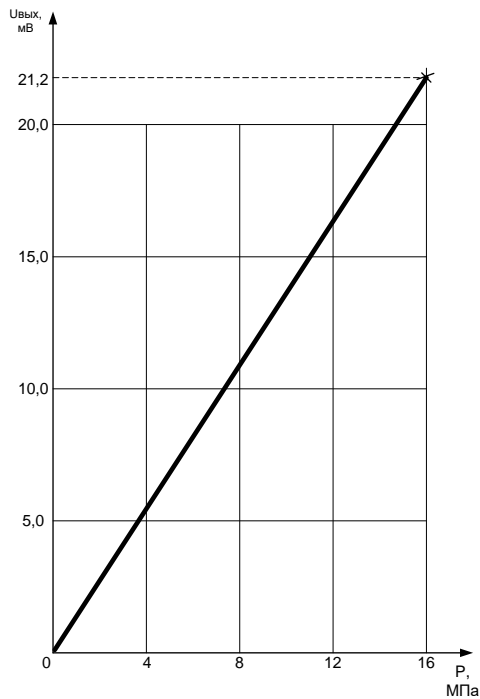


Рис. 6 – Експериментальна градувальна характеристика первинного вимірювального перетворювача при $I_{ж.м} = 40$ мА

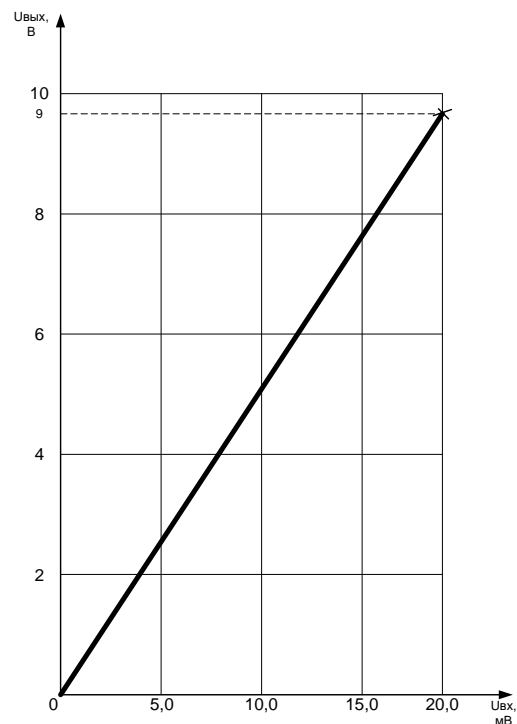


Рис. 7 – Експериментальна градувальна характеристика підсилювача при $R_{33} = 150$ кОм

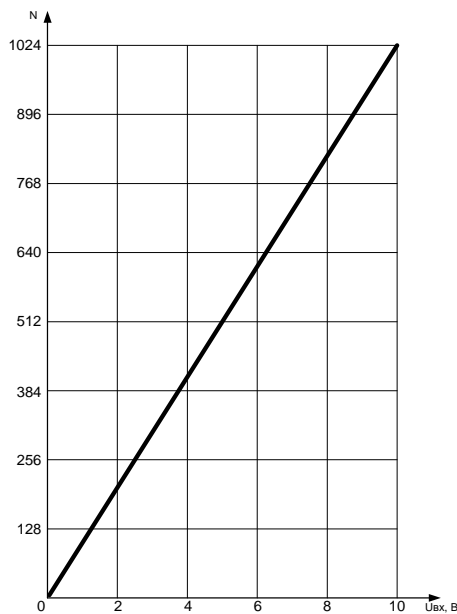


Рис. 8 – Експериментальна градувальна характеристика АЦП

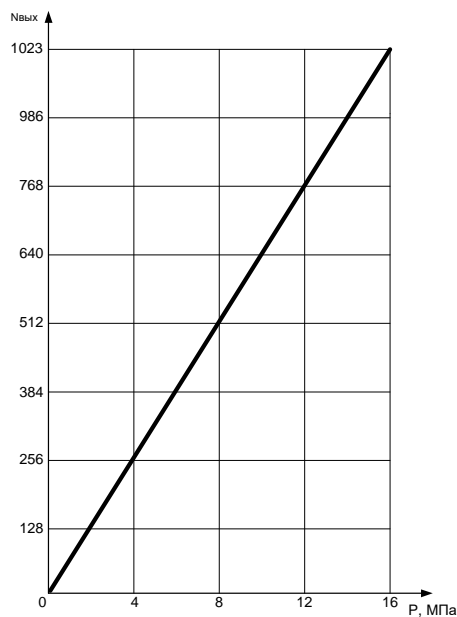


Рис. 9 – Експериментальна градувальна характеристика датчика тиску при $R_{ж.м.} = 40$ мА та $R_{зз} = 150$ кОм

б) Визначалися окремо градувальні характеристики підсилювача.

Вони знімалися при різних коефіцієнтах зворотного зв'язку операційного підсилювача. Одна з них при значенні $R_{зз} = 150$ кОм наведена на рис. 7.

в) Визначалася реальна градувальна характеристика АЦП. Вона наведена на рис. 8.

г) Визначався ряд градувальних характеристик датчика (тобто усього вимірювального каналу). Вони визначалися при різних значеннях струму живлення мосту й коефіцієнтів підсилювання нормуючого підсилювача. На рисунку 9 наведений вид градувальної характеристики, що визнана оптимальною для даного датчика (при струмі живлення мосту 40 мА и опорі зворотного зв'язку підсилювача 150 кОм).

д) Чутливість датчика визначалась розрахунковим шляхом на підставі експериментальних даних градувальної характеристики датчика. При цьому вихідну величину вимірювали в одиницях молодшого розряду (ОМР) АЦП. Чутливість датчика склала $63,94 \frac{\text{ОМР}}{\text{МПа}}$.

Висновки

1. Розроблена схема експериментальної установки для отримання градувальних характеристик датчика тиску і його окремих перетворювачів та обрані засоби вимірювань для проведення експериментальних досліджень задовольняють особливостями вимірів параметрів ДВЗ при різних видах випробувань, за допомогою комп'ютерних систем контролю та діагностики.

2. Створена установка для проведення експериментальних досліджень має технічні характеристики, які забезпечують виконання всіх вимог в діапазоні зміни вхідних і вихідних сигналів при різних видах випробувань ДВЗ.

3. Експериментально визначені реальні градувальні характеристики первинного вимірювального перетворювача, підсилювача, АЦП і датчика в цілому, підтвердили що його точність задовольняє вимогам ДСТУ, а також спроможність його використання в комп'ютерних системах контролю та діагностики ДВЗ.

Список літератури

1. Двигатели внутреннего сгорания. Кн.2 / под ред. В.Н. Лукашина //.- М.: Высшая школа, 2007. – 414 с.
2. Макаров Р.А. Средства технической диагностики машин / Р.А.Макаров // М.: Машиностроение, 1989. -213 с.
3. Иванов Б.С. Измерение давлений переходных процессов / Б.С.Иванов, С.П.Харитонов С.П //.- СПб.: – Питер, 2008.– 319 с.
4. Технические средства диагностики: Справочник. / под. ред. В.В. Клюева //.- М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
5. Евтихеев Н.Н. Измерения электрических и неэлектрических величин / Н.Н. Евтихеев, Я.А. Купершmidt, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров //.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

References (transliterated)

1. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Kn.2 / pod red. V.N. Lukashina //.- Moscow: Vysshaya shkola, 2007. – 414 p.
2. Makarov R.A. Sredstva tehnicheckoj diagnostiki mashin / R.A.Makarov // Moscow: Mashinostroenie, 1989. -213 p.
3. Ivanov B.S. Izmerenie davlenij perehodnyh processov / B.S.Ivanov, S.P.Haritonov S.P //.- SPb.: – Piter, 2008.– 319 p.
4. Tehniceskie sredstva diagnostiki: Spravochnik. / pod. red. V.V. Klyueva //.- Moscow: Mashinostroenie, 1989. – 672 p.
5. Evtiheev N.N. Izmereniya elektricheskikh i neelektricheskikh velichin / N.N. Evtiheev, Ya.A. Kupersmidt, V.F. Papulovskij, V.N. Skugorov //.- Moscow: Energoatomizdat, 1990. – 352 p.

Надійшла (received) 21.10.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Смолін Юрій Олександрович (Смолин Юрий Александрович, Smolin Yuriy Aleksandrovich) – кандидат технічних наук, доцентдоцент кафедри «Комп'ютерні та радіоелектронні системи контролю та дівгностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна