

Л. В. АСМОЛОВА, М. В. АНИЩЕНКО

**ЛОКАЦІЙНІ ДАТЧИКИ НА ПЛАТІ «СЕНСОРИ МЕХАТРОНИКИ»
НА БАЗІ ОСВІТНЬОЇ ПЛАТФОРМИ NATIONAL INSTRUMENTS**

Розглядається організація циклу лабораторних робіт з курсу «Основи мехатроніки» з використанням плати QNET «Mechatronics Sensors» та освітньої платформи NI ELVIS II +, за допомогою якої студент отримує фундаментальні знання в мехатроніці. Пропонуються датчики вимірювання відстані до об'єктів та розміру об'єктів, виявлення перешкод і т.п. для промислових роботів та пристроїв мехатроніки. В якості сенсорів зовнішнього середовища використовуються інфрачервоний та ультразвуковий (сонар) локаційні датчики. Для їх дослідження розроблено методику виконання лабораторних робіт. Викладено призначення та принцип роботи локаційних датчиків ближньої дії для виміру відстані до контрольованого об'єкту без безпосереднього контакту з ним. В якості об'єкту дослідження розглядався щільний шматок картону, розміром 10×10 см білого відбивного кольору. Відзначено, що принцип дії інфрачервоного датчика заснований на відстеженні рівня інфрачервоного випромінювання в полі зору датчика, а ультразвукові датчики (сонар) працюють на принципі ехолокації ультразвуком, тобто посилають звукові хвилі високої частоти. Вихідний сигнал датчиків у вигляді аналогової напруги за допомогою мікроконтролера перетворюється у величину відстані. Для кожного типу датчика виконано вимір робочого діапазону та калібрування для збільшення точності вимірювання відстані. Робочий діапазон інфрачервоного датчика складає $17 \div 47$ см, а ультразвукового – $20 \div 43$ см. Відносна похибка інфрачервоного датчика дорівнює 1,53%, а ультразвукового – 0,25%. При виконанні лабораторної роботи наочно показано, що відстань до навколишніх предметів можна вимірювати як за допомогою ультразвукових датчиків (сонарів), так і за допомогою інфрачервоних датчиків. Вибір того чи іншого типу датчика залежить від поставленого завдання та області використання.

Ключові слова: віртуальний прилад, локаційні сенсори, інфрачервоний датчик, ультразвуковий датчик.

Л. В. АСМОЛОВА, Н. В. АНИЩЕНКО

**ЛОКАЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ НА ПЛАТЕ «СЕНСОРЫ МЕХАТРОНИКИ»
НА БАЗЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ NATIONAL INSTRUMENTS**

Рассматривается организация цикла лабораторных работ по курсу «Основы мехатроники» с использованием платы QNET «Mechatronics Sensors» и образовательной платформы NI ELVIS II +, с помощью которой студент получает фундаментальные знания в мехатронике. Предлагаются датчики измерения расстояния до объектов и размера объектов, обнаружения преград и т.п. для промышленных роботов и устройств мехатроники. В качестве сенсоров внешней среды используются инфракрасный и ультразвуковой (сонар) локационные датчики. Для их исследования разработана методика выполнения лабораторных работ. Приведено назначение и принцип работы локационных датчиков ближнего действия для измерения расстояния до контролируемого объекта без непосредственного контакта с ним. В качестве объекта исследования использовался плотный кусок картона, размером 10×10 см белого отражающего цвета. Отмечено, что принцип действия инфракрасного датчика основан на слежении за уровнем инфракрасного излучения в поле действия датчика, а ультразвуковые датчики (сонар) работают на принципе эхолокации ультразвуком, то есть посылают звуковые волны высокой частоты. Выходной сигнал датчиков в виде аналогового напряжения при помощи микроконтроллера преобразовывается в величину расстояния. Для каждого типа датчика выполнены измерения рабочего диапазона и калибровка для повышения точности измерения расстояния. Рабочий диапазон инфракрасного датчика составляет $17-47$ см, а ультразвукового – $20-43$ см. Относительная ошибка инфракрасного датчика равна 1,53%, а ультразвукового – 0,25%. При выполнении лабораторной работы наглядно показано, что расстояние до окружающих предметов можно измерять как при помощи ультразвуковых датчиков (сонаров), так и при помощи инфракрасных датчиков. Выбор того или иного типа датчика зависит от поставленной задачи и области применения.

Ключевые слова: виртуальный прибор, локационные сенсоры, инфракрасный датчик, ультразвуковой датчик.

L. V. ASMOLOVA, M. V. ANISHCHENKO

**LOCATION SENSORS ON THE BOARD «MECHATRONICS SENSORS»
ON THE BASIS OF THE NATIONAL INSTRUMENTS EDUCATION PLATFORM**

The organization of a laboratory work cycle on the course "Fundamentals of Mechatronics" is considered. The QNET Mechatronics Sensors board and the NI ELVIS II + educational platform are used, with which the student receives fundamental knowledge in mechatronics. The sensors proposed in the article are used in industrial robots and mechatronics to measure the distance to objects and the size of objects, detect obstacles, etc. Infrared and ultrasonic (sonar) location sensors are used as external environmental sensors. For their research, a laboratory procedure was developed. The purpose and principle of operation of short-range location sensors for measuring the distance to a controlled object without direct contact with it are given. As the object of study, we used dense cardboard in white reflective color with a size of 10×10 cm. It is noted that the principle of operation of the infrared sensor is based on monitoring the level of infrared radiation in the zone of its action. Ultrasonic sensors (sonar) operate on the principle of ultrasonic echolocation, that is, they send high-frequency sound waves. The output of the sensors is an analog voltage. The microcontroller converts it into a distance value. For each type of sensor, measurements of the operating range and calibration were performed to increase the accuracy of distance measurement. The working range of the infrared sensor is $17-47$ cm, and the ultrasonic - $20-43$ cm. The relative error of the infrared sensor is 1.53%, and that of the ultrasound is 0.25%. When performing laboratory work, it was clearly shown that the distance to surrounding objects can be measured both by ultrasonic sensors (sonar) and by infrared sensors. The choice of one or another type of sensor depends on the task and the field of application.

Keywords: virtual instrument, location sensors, infrared sensor, ultrasonic sensor.

Вступ. В [1] наведено описання лабораторних робіт з курсу «Основи мехатроніки» для вивчення принципу дії, застосування та дослідження властивостей енкодера і потенціометра в якості датчиків вимірювання кутового положення мехатронних та робототехнічних систем і представлені результати дослідження. Енкодер і потенціометр є сенсорами внутрішнього стану виконавчих систем пристроїв мехатроніки та роботів і маніпуляторів.

Другу групу сенсорів складають сенсорні системи зовнішнього середовища. Інформація від цих сенсорів використовується системою керування для виявлення і розпізнавання об'єктів зовнішнього середовища, та керування рухом роботів та інших мехатронних систем [2].

В залежності від дальності дії сенсорні системи можна поділити на контактні, ближньої і дальньої дії. Сенсорні системи ближньої дії забезпечують отримання інформації про об'єкти що знаходяться безпосередньо поблизу робочого органу пристрою мехатроніки або робота, тобто на відстані, яка порівнянна з його розмірами.

До сенсорних систем ближньої дії відносять локаційні датчики. Ці сенсори використовують для вимірювання відстані до об'єктів, виявлення перешкод, швидкості руху і розміру об'єктів. Вони необхідні для наведення захватного пристрою робота на об'єкти що рухаються та неорієнтовані, перешкоджання зіткненню мобільних роботів з перешкодами, визначення координат об'єктів і роботів [2].

Мета роботи. Описання лабораторних робіт з курсу «Основи мехатроніки» для вивчення принципу дії та дослідження властивостей локаційних сенсорів за допомогою інфрачервоного і ультразвукового датчиків та представлення деяких результатів дослідження.

Лабораторна робота «Вимірювання відстані до об'єкту за допомогою інфрачервоного датчика»

Мета роботи: виконання градування і калібрування інфрачервоного датчика на платі модуля QNET MECNKIT та вимірювання відстані до об'єкту.

Задачі цієї роботи включають:

- ознайомлення з принципом дії інфрачервоного датчика на прикладі сенсора типу Sharp 2Y0A02. Сенсори цього типу використовуються для безконтактного визначення присутності об'єктів і точного безконтактного вимірювання положення руки робота та ін. Діапазон вимірювання відстані 20-150 см [3];

- підготовку до проведення експерименту на макетній платі QNET Mechatronics Sensors модуля MECNKIT: наявність джамперу J10 в положенні «Infrared» (інфрачервоний датчик); включення живлення установки NI ELVIS-II та відкриття програми VI QNET_MECNKIT_Infrared.vi [4];

- виконання лабораторної роботи та визначення робочого діапазону вимірювання відстані датчика [5].

На рис. 1 показано зовнішній вигляд інфрачервоного датчика типу SHARP 2Y0A02, який складається з інфрачервоного світлодіода IR LED, детектора і схеми обробки сигналу. Він видає аналогову напругу яка обернено пропорційна відстані до об'єкту.



Рис. 1. Зовнішній вигляд інфрачервоного датчика типу SHARP 2Y0A02

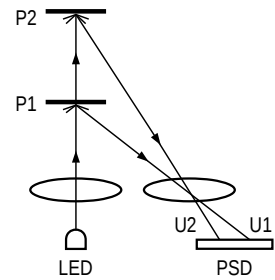


Рис. 2. Шлях світлового променя IR вимірювача відстані

IR LED з лінзою (рис. 2) випромінює вузький світловий промінь. Відбитий від об'єкта промінь прямує через іншу лінзу на позиційно-чутливий фотоелемент (англійською – position-sensitive detector, скорочено PSD). Від місця розташування падаючого на PSD променя, залежить його провідність. Провідність перетворюється в напругу і, перераховується аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера у відстань.

Графік залежності між вихідною напругою Output voltage і вимірюваною відстанню Distance to reflective object для білого і сірого паперу подано на рис. 3 [6].

Цей графік не є лінійним, однак графік зворотної величини вихідної напруги від відстані майже лінійний. Показання датчика залежать від відбивної здатності об'єкту, його форми та розмірів. В лабораторній роботі об'єктом дослідження був щільний шматок картону, розміром 10 × 10 см білого відбивного кольору, який пересувався повільно спочатку до інфрачервоного датчика, а потім від нього. Значення відстані між об'єктом та інфрачервоним датчиком записувалося до масиву даних Target range (cm), а відповідне виміряне значення напруги на виході датчика – до масиву Sensor measurement (V) (на рис. 4 виділено колом 1). Було виконано 7 вимірів положення об'єкта в діапазоні від 17 см до 47 см.

За результатами досліджень побудована залежність відстані від вихідної напруги інфрачервоного датчика Measured у графічному індикаторі вікна Sensor Readings та її лінійна апроксимація Curve Fitting (на рис. 4 позначка 3 та рис. 5).

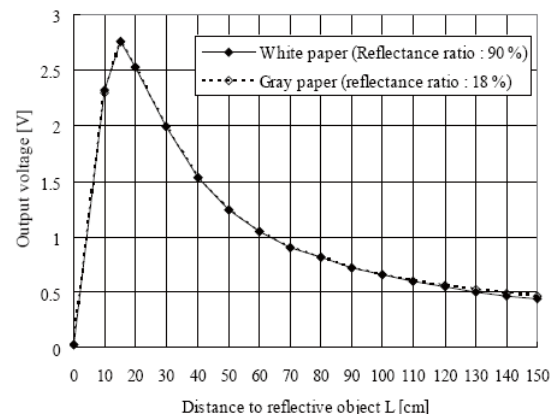


Рис. 3. Графік залежності напруги від відстані IR вимірювача SHARP

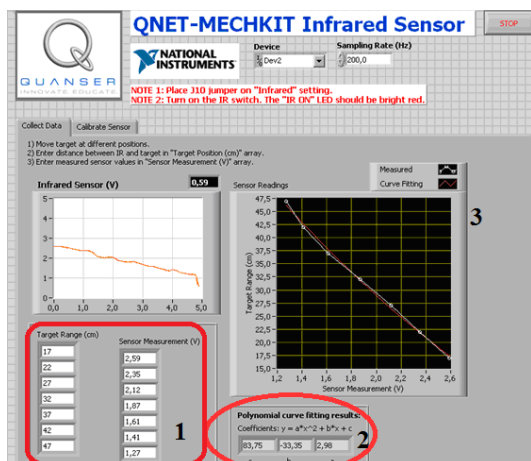


Рис. 4. Робочий екран VI QNET MECHKIT Infrared Sensor з результатами вимірювань датчика

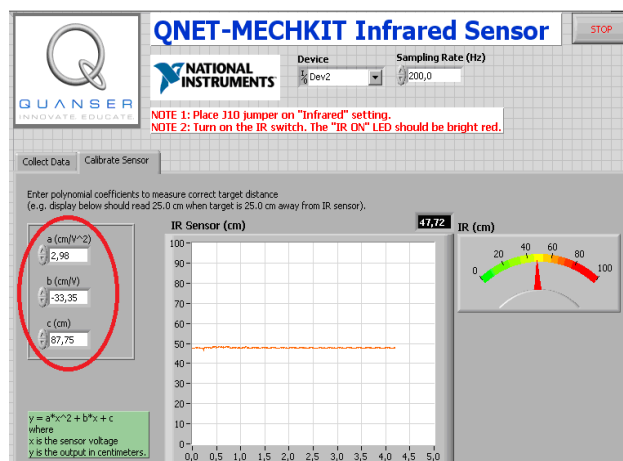


Рис. 6. Вікно калібрування інфрачервоного датчика

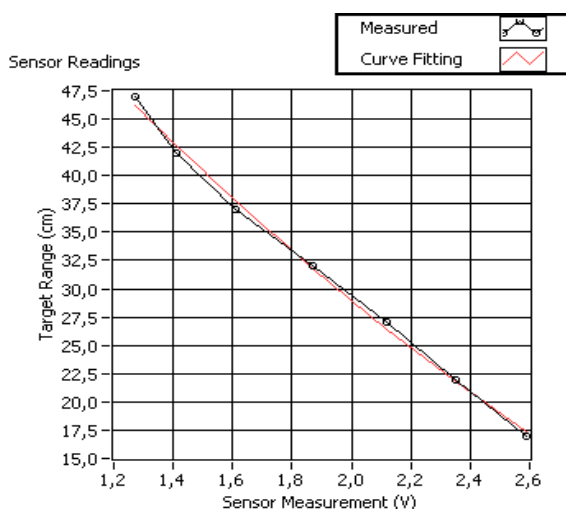


Рис.5. Результати вимірювань інфрачервоного датчика

Для збільшення точності вимірювання відстані було виконано калібрування датчика, підключеного до вимірювальної системи.

Оскільки характеристика інфрачервоного датчика має квадратичну залежність $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$, то отримані значення коефіцієнтів полінома другого порядку: a (швидкість зміни нахилу апроксимуючої кривої), b (нахил апроксимуючої кривої) та c (зсув апроксимуючої кривої) (рис. 4 виділено колом 2), переносяться на закладку Calibrate Sensor (калібрування датчика) в якості параметрів калібрування для підтвердження фактичного місця розташування об'єкта (рис. 6).

Відносна похибка δ обчислюється за формулою:

$$\delta = \frac{|a - x|}{a} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де a – дійсне значення вимірюваної величини (відстань від об'єкта до світлодіода IR LED);

x – результат вимірювання відстані.

На рисунку 6 стрілочний індикатор відстані до об'єкта IR (cm) відображає відстань до об'єкта за експериментом $a = 47$ см, а індикатор відстані до об'єкта IR Sensor (cm) показує значення $x = 47,72$ см, обчисленого за коефіцієнтами полінома другого порядку a , b та c (рис. 6 виділено колом).

За результатами експерименту відносна похибка дорівнює

$$\delta = \frac{|47 - 47,72|}{47} \cdot 100\% = 1,53\%.$$

Таким чином, у лабораторній роботі експериментальним шляхом визначений робочий діапазон інфрачервоного датчика $17 \div 47$ см. Підтверджено, що коли відстань до об'єкта змінюється від 0 до 17 см, вихідна напруга збільшується, при перевищенні відстані 17 см напруга зменшується, оскільки графік IR вимірювача (рис. 3) змінюється за нелінійним законом.

Лабораторна робота «Вимірювання відстані до об'єкта за допомогою ультразвукового датчика (сонар)»

Мета роботи: виконання градування і калібрування ультразвукового датчика (сонар) та вимірювання відстані до об'єкта на платі QNET MECHKIT.

Задачі цієї роботи включають:

- ознайомлення з принципом дії ультразвукового датчика. Сенсори цього типу використовуються в якості датчиків наближення для дистанційного виявлення різних об'єктів і вимірювання відстані [7];

- підготовку до проведення експерименту на макетній платі QNET Mechatronics Sensors модуля MECHKIT: наявність джамперу J9 в положенні «Sonar» (сонар); включення живлення установки NI ELVIS-II, відкриття програми VI QNET_MECHKIT_Sonar.vi [4];

- виконання лабораторної роботи та визначення робочого діапазону вимірювання датчика [5].

На рисунку 7 показаний зовнішній вигляд сонару, який складається з двох мембран, одна з яких генерує звук, а інша реєструє відображене відлуння. Звуковий генератор створює короткий, з деяким періодом ультразвуковий імпульс і запускає внутрішній таймер. Друга мембрана реєструє прибуття відбитого імпульсу і зупиняє таймер. Проміжок часу від моменту випромінювання до моменту прийому сигналу відбиття, поділений на 2 ($t/2$) використовується для обчислення відстані до об'єкта d (рис. 8). Щоб знайти відстань треба знати швидкість звукової хвилі. Повний контроль над робочим процесом забезпечує мікропроцесор.



Рис. 7. Зовнішній вигляд сенару

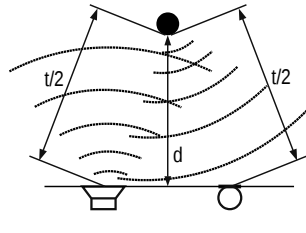


Рис. 8. Принцип дії ультразвукового датчика відстані

В лабораторній роботі об'єктом дослідження був щільний шматок картону, розміром 10×10 см білого кольору, який добре відбиває випромінювання.

Об'єкт пересувався повільно від сенару до потрапляння у робочий діапазон датчика.

Значення відстані між об'єктом і сенаром записувалися до масиву даних в дюймах Target range (in), а відповідне виміряне значення напруги на виході датчика – до масиву Sensor measurement (V) (на рис. 9 виділено колом 1). Було виконано 7 вимірів положення об'єкта в діапазоні від 20 см до 43 см (1 дюйм (in) = 2,54 см).

За результатами досліджень побудована залежність відстані від вихідної напруги сенару Measured у графічному індикаторі вікна Sensor Readings та її лінійна апроксимація Curve Fitting (на рис. 9 позначка 3 та рис. 10). Сенар на відміну від інфрачервоного сенсора має лінійну характеристику $y = a \cdot x + b$, де a – коефіцієнт нахилу «slope» (дюйм/В), а b – коефіцієнт зсуву «intercept» (дюйм) (рис. 9 виділено колом 2).

Для збільшення точності вимірювання відстані було виконано калібрування датчика, підключеного до вимірювальної системи.

Отримані значення коефіцієнта зсуву «intercept» (дюйм) і нахилу «slope» (дюйм/В), переносяться на закладку Calibrate Sensor (калібрування датчика) в якості параметрів калібрування «Gain (in/V)» (калібруваль

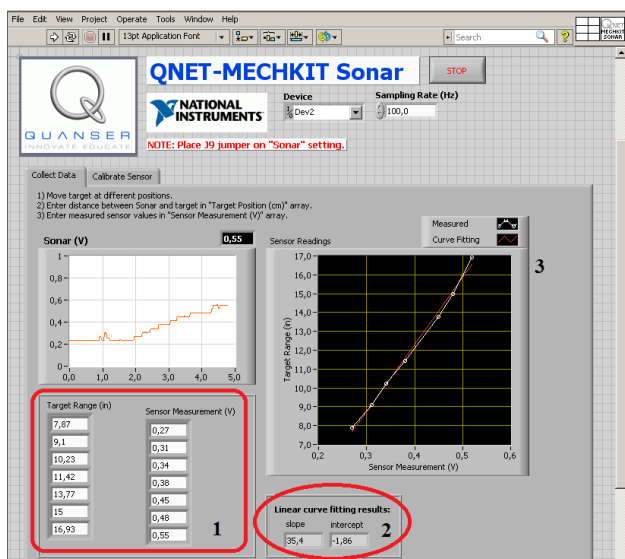


Рис. 9. Робочий екран VI QNET MECHKIT Sonar з результатами вимірювань датчика

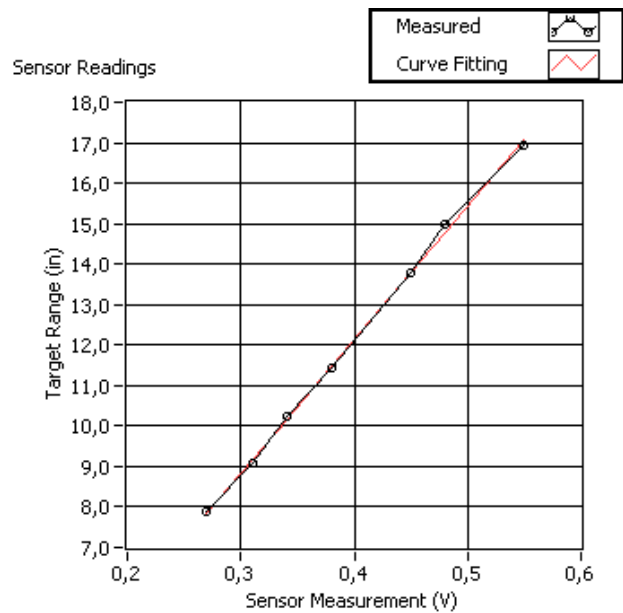


Рис. 10. Результати вимірювань сенару

ний коефіцієнт перетворення датчика) та «Offset (in)» (калібрувальне зміщення нуля датчика) для підтвердження фактичного місця розташування об'єкта (рис. 11).

На рис. 11 стрілочний індикатор відстані до об'єкту Sonar (in) 2 відображає відстань до об'єкта за експериментом $a = 10,23$ дюймів, а індикатор відстані до об'єкту Sonar (in) показує значення $x = 10,21$ дюймів, обчисленого на основі параметрів «Gain» і «Offset» (на рис. 10 виділено колом).

Відносна похибка δ обчислюється за формулою (1). За результатами експерименту вона має значення

$$\delta = \frac{|10,23 - 10,21|}{10,23} \cdot 100\% = 0,2\%.$$

При виконанні лабораторної роботи виявлено, що датчик реагує на найближчий об'єкт, який потрапляє в зону його випромінювання. Робочий діапазон вимірювання 20÷43 см.

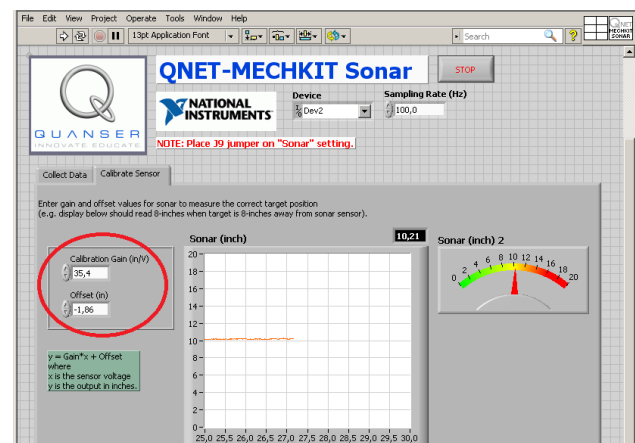


Рис. 11. Вікно калібрування ультразвукового датчика

Висновки. В статті розглянуті послідовність та результати виконання двох лабораторних робіт з курсу «Основи мехатроніки» по дослідженню властивостей локаційних сенсорів. Представлені результати дослідження інфрачервоного та ультразвукового датчиків. Обладнання лабораторії створює умови для самостійної роботи студентів в навчальному процесі та мотивує їх до аналізу отриманих результатів досліджень.

Список литературы

1. Асмолова Л. В., Аніщенко М. В., Лобода К. Ю. Датчики вимірювання кутового положення вала на базі обладнання National Instruments з платою QNET-MECHKIT «Датчики для мехатроніки» // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». Харків: НТУ «ХПІ», 2019, № 9 (1334). С. 73 - 76. doi: 10.20998/2079-8024.2019.9.14.
2. Конюх В. Л. Основы робототехники. Ростов н/Д: Феникс, 2008. 281 с.
3. Инфракрасный датчик расстояния. URL: http://home.roboticlab.eu/ru/examples/sensor/ir_distance (дата обращения 28.01.2020).
4. Инженерный тренажёр Quanser для NI-ELVIS. Руководство пользователя QNET. URL: <http://nitech.nstu.ru/upload/lib/QNET%20User%20Manual.pdf>. (дата обращения 28.01.2020).
5. Инженерный тренажёр Quanser для NI-ELVIS. Тренажёр QNET-MECHKIT%20Laboratory%20-%20Instructor%20Manual.pdf. (дата обращения 28.01.2020).
6. IR датчик расстояния SHARP 2Y0A02. URL: https://makerobot.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=167. (дата обращения 28.01.2020).
7. Ультразвуковой датчик расстояния. URL: http://home.roboticlab.eu/ru/examples/sensor/ultrasonic_distance. (дата обращения 29.01.2020).

References (transliterated)

1. Asmolova L. V., Anishchenko M. V., Loboda K. Yu. Datchyky vy-miruvannia kutovoho polozhennia vala na bazi obladnannia National Instruments z platoi QNET-MECHKIT «Datchyky dlia mekhatroniky» [Sensors of measurement of shaft rotation angle on the basis of equipment National instruments on the board QNET-mechkit «Sensors for mechatronics»] // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut». Seriya «Problemy avtomatyzovanoho elektropryvoda. Teoriia i praktyka» [Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Problems of automated electrodrives. Theory and practice]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2019, № 9 (1334). pp. 73 - 76. doi: 10.20998/2079-8024.2019.9.14.
2. Konyuh V. L. Osnovy robototekhniki [Robotics Basics]. Rostov n/D: Feniks, 2008. 281 p.
3. Infekrasnyy datchik rassstoyaniya [Infrared distance sensor]. URL: http://home.roboticlab.eu/ru/examples/sensor/ir_distance (accessed 28.01.2020).
4. Inzhenernyy trenazher Quanser dlya NI-ELVIS. Rukovodstvo pol'zovatelya QNET [Quanser Engineering Trainer for NI-ELVIS. QNET User Manual]. URL: <http://nitech.nstu.ru/upload/lib/QNET%20User%20Manual.pdf>. (accessed 28.01.2020).
5. Inzhenernyy trenazher Quanser dlya NI-ELVIS. Trenazher QNET Mekhatronnye datchiki [Quanser Engineering Trainer for NI-ELVIS QNET. Mechatronic Sensors Trainer]. URL: <http://nitech.nstu.ru/upload/lib/QNET%20MECHKIT%20Laboratory%20-%20Instructor%20Manual.pdf>. (accessed 28.01.2020).
6. IR datchik rassstoyaniya SHARP 2Y0A02 [SHARP 2Y0A02 Infrared Distance Sensor]. URL: https://makerobot.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=167. (accessed 28.01.2020).
7. Ul'trazvukovoy datchik rassstoyaniya. [Ultrasonic distance sensor] URL: http://home.roboticlab.eu/ru/examples/sensor/ultrasonic_distance. (accessed 29.01.2020).

Надійшла 08.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Асмолова Лариса Валеріївна (Асмолова Лариса Валериевна, Asmolova Larysa Valeriivna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0208-2380>; e-mail: asmolova_larisa@ukr.net.

Аніщенко Микола Васильович (Анищенко Николай Васильевич, Anishchenko Mykola Vasylovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: annikolay@ukr.net.