

**Л. В. АСМОЛОВА, М. В. АНИЩЕНКО, К. Ю. ЛОБОДА**

**ДАТЧИКИ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ВАЛА НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ  
NATIONAL INSTRUMENTS З ПЛАТОЮ QNET-МЕШКІТ «ДАТЧИКИ ДЛЯ МЕХАТРОНИКИ»**

Розглядається застосування плати QNET «Датчики для мехатроніки» з освітньої платформи NI ELVIS II + при організації циклу лабораторних робіт з курсу «Основи мехатроніки». Методика виконання робіт розглядається на прикладах двох лабораторних робіт по вивченню датчиків кута обертання вала електродвигуна: енкодера і потенціометра. Для підвищення якості навчання студентів при проведенні експериментів забезпечується наочність і точність відповідності реальних датчиків.

**Ключові слова:** віртуальний прилад, датчик кута обертання вала, енкодер, потенціометр.

**Л. В. АСМОЛОВА, Н. В. АНИЩЕНКО, Е. Ю. ЛОБОДА**

**ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА ВАЛА НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ  
NATIONAL INSTRUMENTS НА ПЛАТЕ QNET-МЕШКІТ «ДАТЧИКИ ДЛЯ МЕХАТРОНИКИ»**

Рассматривается применение платы QNET «Датчики для мехатроники» с образовательной платформой NI ELVIS II+ при организации цикла лабораторных работ по курсу «Основы мехатроники». Методика выполнения работ рассматривается на примерах двух лабораторных работ по изучению датчиков угла поворота вала электродвигателя: энкодера и потенциометра. Для повышения качества обучения студентов при проведении экспериментов обеспечивается наглядность и точность соответствия реальных датчиков.

**Ключевые слова:** виртуальный прибор, датчик угла поворота вала, энкодер, потенциометр.

**L. V. ASMOLOVA, M. V. ANISHCHENKO, K. Y. LOBODA**

**SENSORS OF MEASUREMENT OF SHAFT ROTATION ANGLE ON THE BASIS OF  
EQUIPMENT NATIONAL INSTRUMENTS ON THE BOARD QNET-MECHKIT  
«SENSORS FOR MECHATRONICS»**

The article presents the methodological aspects of solving student is educational and cognitive action problems in the process of the course «Mechatronics Fundamentals» studying. The opportunity of cycle of laboratory work implementation on Equipment company NATIONAL INSTRUMENTS base is regarded as an effective source of modern educational technology realization. The implementation and realization order of laboratory works on studying sensors of the electric motor's angle rotation shaft from the example of two works on measuring the angle rotation using an encoder and a potentiometer based on the QNET MECHKIT module. The use of virtual instruments QNET Mechatronics Sensors provides visibility and accuracy of compliance with real sensors when conducting experiments. Improving the quality of student's education for carrying out laboratory work is assured by the ability of multivariate tasks realization.

**Keywords:** virtual instrument, shaft angle sensor, encoder, potentiometer.

**Вступ.** Кафедра «Автоматизовані електромеханічні системи» Національного технічного університету «ХПІ» веде підготовку студентів бакалаврів та магістрів зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізація «Мехатроніка та робототехніка».

Відкриває цикл спеціальних дисциплін для підготовки студентів спеціалізації «Мехатроніка та робототехніка» дисципліна «Основи мехатроніки». Вивчення даного курсу забезпечує цілісне розуміння предмета оскільки, з одного боку, проблема важкого засвоєння матеріалу дисципліни обумовлена суб'єктивними причинами навчального контингенту студентів, що, як правило, намагаються отримати готовий матеріал.

З іншого боку, доступні літературні джерела або обмежуються описовим матеріалом, або математизовані слабо доступними для розуміння студентами викладками через відсутність у них знань, розуміння і умінь попередніх дисциплін.

У зв'язку з цим необхідно передбачити ряд заходів, що ведуть до активації пізнавальної діяльності студентів, формуванню їх позитивної мотивації на самоосвіту. Одним з таких заходів є розширення меж самостійної роботи студентів при проведенні практичних та лабораторних робіт.

В рамках реалізації міжнародного міжвузівського проекту 530278-TEMPUS-1-DE-TEMPUS-JPHES «iCo-op: – Промислове співробітництво та креативна інженерна освіта на основі дистанційного інженерного та віртуального інструментарію» кафедра «Автоматизовані електромеханічні системи» придбала обладнання компанії National Instruments [1].

Одним з пристроїв є плата датчиків – Quanser QNET Mechatronics Sensors Board, яка використовується при виконанні лабораторних робіт [2]. Устаткування сенсорної лабораторії дозволяє вивчити 10 сучасних датчиків мехатронних систем і охоплює питання вивчення принципів калібрування датчиків, обробки і аналізу отриманих з датчиків сигналів. Плата Mechatronics Sensors сумісна з настільною робочою платформою NI ELVIS II+. До складу лабораторії входить тренажер QNET «Мехатронні датчики», персональний комп'ютер і віртуальні прилади, розроблені в середовищі LabVIEW [3].

**Мета роботи.** Описання лабораторних робіт з курсу «Основи мехатроніки» для вивчення принципу дії, застосування та дослідження властивостей датчиків вимірювання кутового положення вала за допомогою енкодера та потенціометра та представлення деяких результатів дослідження.

© Л. В. Асмолова, М. В. Аніщенко, К. Ю. Лобода, 2019

### Лабораторна робота «Вимірювання кутового положення вала за допомогою енкодера».

Метою лабораторної роботи є виконання градування і калібрування енкодера, та спостереження сигналів, які генеровані ним на платі модуля QNET MECNKIT.

Задачі цієї роботи включають:

- ознайомлення з принципом дії енкодерів, як технічних пристроїв для зміни і контролю кутів обертів валів на електродвигунах, а також для зміни руху в тих чи інших елементах роботів; види енкодерів (абсолютний та інкрементальний) та їх відмінності [4];
- підготовка до проведення експерименту на макетній платі QNET Mechatronics Sensors модуля MECNKIT: наявність джамперу J7 в положенні «Енс А» (енкодер), джамперу J8 – у положенні «Енс В» (енкодер), джамперу J10 – у положенні «Енс І» (енкодер); включення живлення установки NI ELVIS-II та відкриття програми VI QNET\_MECNKIT\_Encoder.vi;
- виконання лабораторної роботи та визначення кута оберт вала [5].

На рисунку 1 показано зовнішній вигляд енкодера та світлодіоди, які відображають імпульси вихідних сигналів по каналам А та В на QNET-стенді.

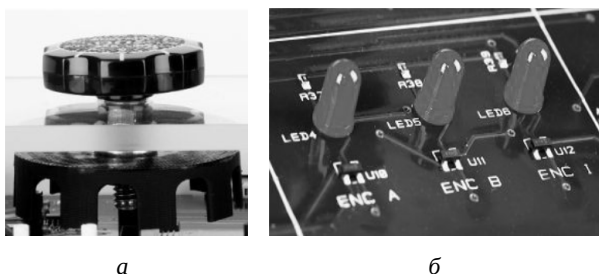


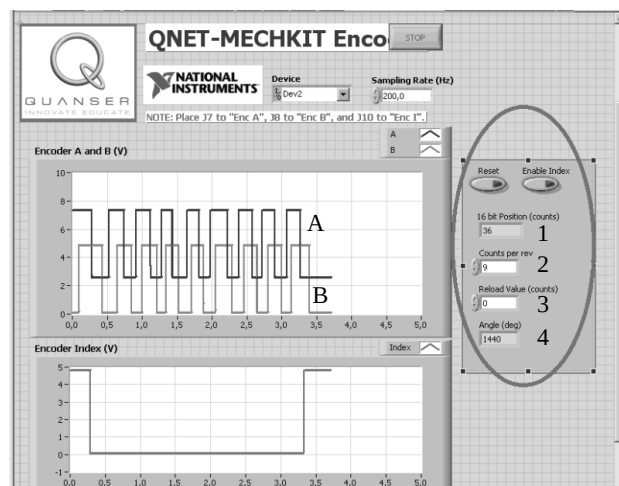
Рис. 1. Рукоятка енкодера і світлодіоди на QNET-стенді

Рукоятка енкодера (рис. 1,а) являє собою кодувальний диск, розмічений радіальними шаблонними мітками. Коли диск обертається разом з валом, світло світлодіода проходить через ці шаблонні мітки і фіксується фотодатчиком. Це дозволяє досить просто отримати сигнали А та В, які відображені на робочому екрані VI QNET MECNKIT Encoder на рисунку 2.

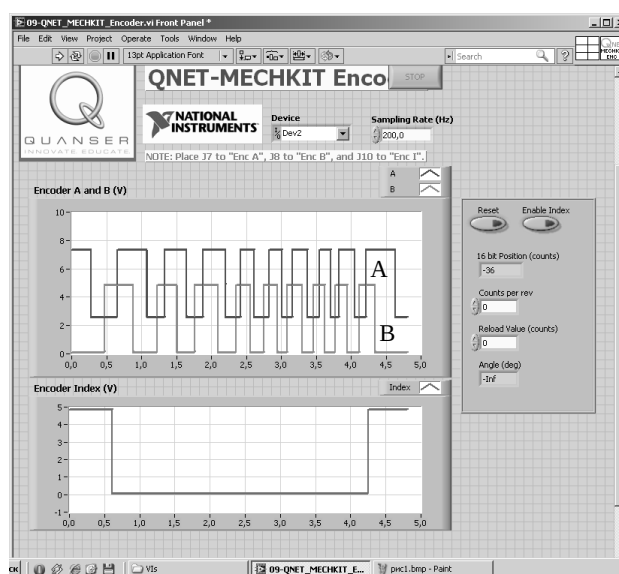
Робочий екран VI QNET MECNKIT Encoder розділений на два вікна. У верхньому вікні «Encoder A and B» відображається графічний індикатор вихідних сигналів за напругою А та В таким чином, що сигнали зсунені по вертикалі на 2,5 В для поліпшеної ілюстрації. У нижньому вікні «Encoder Index» відображається індикатор індексного сигналу, який ілюструє повний оберт рукоятки та застосовується для калібрування або «наведення» системи.

На робочому екрані VI QNET MECNKIT Encoder зліва (рис. 2,а обведено колом) розташований індикатор 16-bit Position (counts) (1), на якому відображається кількість імпульсів за один оберт рукоятки енкодера.

Результати спостережень кількості імпульсів відповідних одному повному оберт у вводяться в елемент управління Counts per rev (2).



а



б

Рис. 2. Сигнали А і В при повороті рукоятки за годинниковою (а) та проти годинникової (б) стрілки

Позначка установки енкодера в задане положення відбивається на індикаторі Reload Value (counts) (3), кут, вимірюваний енкодером з урахуванням Counts per rev – на Angle (deg) (4).

На останньому етапі лабораторної роботи проводиться обробка результатів експериментів. На цьому етапі визначається, що при обертанні рукоятки за годинниковою стрілкою фаза А випереджає фазу В (верхнє вікно на рис. 2,а), а проти годинникової стрілки фаза В випереджає фазу А (верхнє вікно на рис. 2,б). Перепад до 5,0 В імпульсу індексу відбувається на кожному повному оберті рукоятки енкодера (нижнє вікно на рис. 2).

За даними експерименту визначається кут оберт вала за формулою:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot (n \% N)}{N}, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – кут оберт вала (значення на індикаторі Angle (deg));

$n\%N = 36$  – поточне значення шаблонних міток за один оберт (значення з індикатора 16-bit Position (counts));

$N = 9$  – кількість імпульсів на один оберт (значення з індикатора Counts per rev).

Для експерименту, результати якого показані на рис. 2,а, та відповідають відображенню на індикаторі Angle (deg), кут оберту вала дорівнює

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot 36}{9} = 1440^\circ.$$

### Лабораторна робота «Датчик кута оберту на основі потенціометру».

Метою лабораторної роботи є спостереження результатів вимірювань за допомогою потенціометра при обертанні його рукоятки на тренажері МЕЧКІТ та виконання градування і калібрування датчика кута оберту.

Задачі цієї роботи включають:

- теоретичні відомості про потенціометр, як аналоговий датчик для вимірювання кутового положення вала електродвигуна [6];

- підготовку до проведення експерименту макетної плати QNET Mechatronics Sensors модуля МЕЧКІТ: наявність джамперу J10 в положенні «POT» (потенціометр); включення живлення установки NI ELVIS-II та відкриття програми VI QNET\_MECHKIT\_Potentiometer.vi;

- виконання лабораторної роботи та калібрування датчика кута оберту.

На рисунку 3 показано загальний вигляд потенціометра та його зовнішній вигляд на QNET-стенді. На рисунку 3,а прийняті наступні позначення: 1 – три виводи (два виводи з'єднані один з одним шляхом постійного опору, третій вивід має рухомий контакт, який переміщається по поверхні постійного опору); 2 – ручка; 3 – резистивна речовина; 4 – ротор [7].

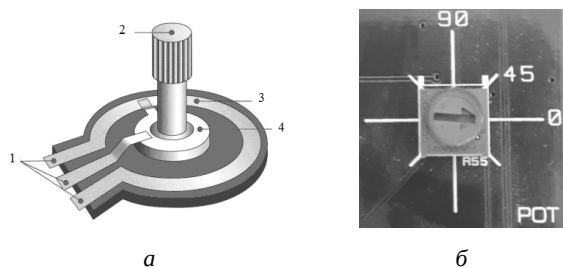


Рис. 3. Загальний (а) та зовнішній на QNET-стенді (б) вигляди потенціометру

Отриманий за допомогою потенціометру, як датчика кута оберту (лінійного переміщення) сигнал є переривчастим, тобто після декількох обертів потенціометру сигнал на його виході скидається в нуль. Для виконання лабораторної роботи потрібно виконати 7 вимірів напруги на виході потенціометру, при положенні стрілки від 0° до 225°. Значення кута при кожному вимірюванні заноситься у масив Pot Angle Deg (deg) (1), а результат вимірювання напруги на виході датчика – в масив Sensor Measurement (V) (2) в таблиці, рисунок 4, робочого вікна віртуального приладу QNET\_MECHKIT\_Potentiometer, які розташовані у лівому нижньому куті.

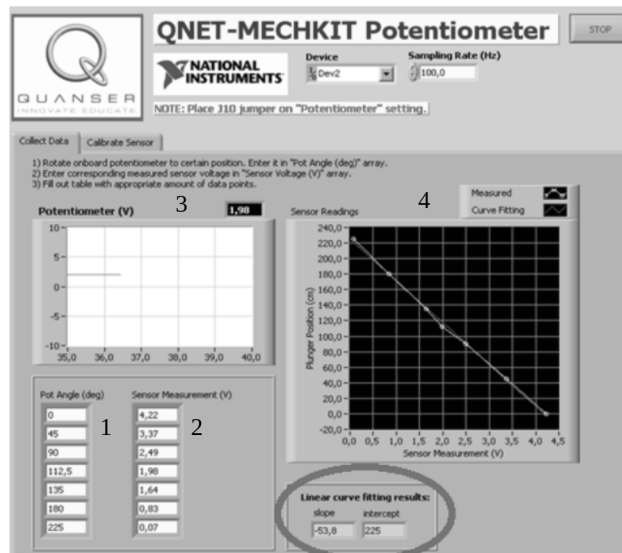


Рис. 4. Конфігурація вікна QNET\_MECHKIT\_Potentiometer з результатами вимірювань потенціометра

Відображення напруги на виході потенціометра можна спостерігати у графічному індикаторі «Potentiometer» (3).

У вікні Sensor Readings (4) за результатами виміру напруги на виході потенціометру від кута оберту будуватиметься характеристика Measured та її лінійна апроксимація Curve Fitting, які наведені на рисунку 5.

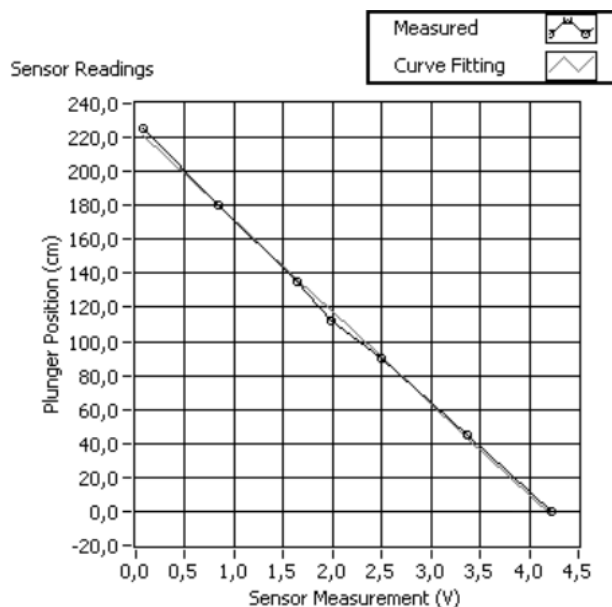


Рис. 5. Результати вимірювань та апроксимуюча крива напруги на виході потенціометру

Значення параметрів нахилу апроксимуючої лінії та її зміщення відображаються на індикаторах «slope» – кут нахилу (коефіцієнт посилення датчика) та «intercept» – зміщення нуля (на рис. 5 обведено колом), які необхідні для калібрування датчика.

На останньому етапі лабораторної роботи виконувалося калібрування потенціометра.

Отримані на першому етапі лабораторної роботи параметри калібрування переносяться в закладку Calibrate Sensor для підтвердження правильності вимірювання кута оберту рукоятки потенціометра. Конфігурація вікна QNET\_MECHKIT\_Potentiometer для калібрування потенціометра наведена на рисунку 6.

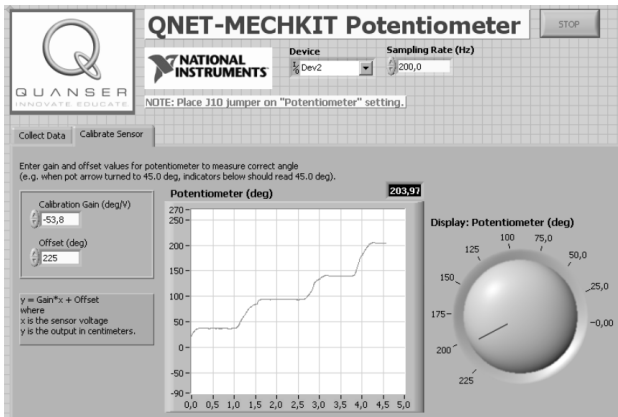


Рис. 6. Віртуальний пристрій калібрування потенціометра

З рисунку 6 видно, що для відповідних параметрів калібрування рукоятки потенціометра Display Potentiometer (deg) встановлено на позначці 200 градусів, а індикатор кута оберту рукоятки потенціометра Potentiometer (deg) показує значення 203,97 градусів. Відносна похибка обчислюється за формулою:

$$\delta = \frac{|a - x|}{a} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $\delta$  – відносна похибка;  
 $a$  – дійсне значення вимірюваної величини;  
 $x$  – результат вимірювання.

За результатами експерименту, відносна похибка, що є в межах норми, дорівнює

$$\delta = \frac{|200 - 203,97|}{200} \cdot 100\% = 1,985\%.$$

**Висновки.** В статті представлені порядок та результати виконання двох лабораторних робіт з курсу «Основи мехатроніки» по дослідженню принципу дії датчиків вимірювання кута оберту. Використання лабораторії в навчальному процесі створює умови для самостійної роботи студентів з обладнанням та мотивує їх до самостійного аналізу результатів досліджень і прийняття обґрунтованих рішень.

#### Список літератури

1. Анищенко Н. В., Тимошенко А. В., Ткаченко А. А. Создание на кафедре «Автоматизированные электромеханические системы» НТУ «ХПИ» удаленной лаборатории. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків: НТУ «ХПІ», 2015, Вип. 112 (1121). С. 33-38.
2. Инженерный тренажер Quanser для NI-ELVIS. Руководство пользователя QNET. URL: <http://nitech.nstu.ru/upload/lib/QNET%20User%20Manual.pdf>. (дата обращения 20.09.2018).
3. Инженерный тренажер Quanser для NI-ELVIS. Тренажер QNET Мехатронные датчики. URL: <http://nitech.nstu.ru/upload/lib/QNET%20MECHKIT%20Laboratory%20-%20Instructor%20Manual.pdf>. (дата обращения 20.09.2018).
4. Енкодер. Пристрій і принцип роботи. URL: <http://textarchive.ru/c-1373108.html> (дата обращения 15.10.2018).
5. Лобода К. Ю., Асмолова Л. В. Дослідження датчиків для мехатронних систем на платі QNET MECHKIT компанії NATIONAL INSTRUMENTS. *Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування: Матеріали Міжнарод. наук.-техн. конф. 06-07 грудня 2018*. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 48-49.
6. Потенціометр. URL: <https://habr.com/ru/post/85545/> (дата обращения 18.09.2018).
7. Принцип работы потенциометров. URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/potentsiometriy/> (дата обращения 14.11.2018).

#### References (transliterated)

1. Anishchenko N. V., Timoshchenko A. V., Tkachenko A. A. Sozdanie na kafedre «Avtomatizirovannye elektromekhanicheskie sistemy» NTU «HPI» udalenoj laboratorii [Creation on the department "Automated electromechanical systems" NTU "KhPI" the remote lab]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkiv: NTU «KhPI» 2015, Vyp. 112 (1121). pp. 33-38.
2. Inzhenernyj 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 20.09.2018).
3. Inzhenernyj 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 20.09.2018).
4. Enkoder. Prystrii i pryntsyp roboty [Encoder. Device and principle of operation]. URL: <http://textarchive.ru/c-1373108.html> (accessed 15.10.2018).
5. Loboda K. Yu., Asmolova L. V. Doslidzhennia datchykyv dlia mekhatronnykh system na plati QNET MECHKIT kompanii NATIONAL INSTRUMENTS [Research of sensors for mechatronic systems on the QNET MECHKIT board company National INSTRUMENTS]. *Aktualni problemy avtomatyky ta prykladobuduvannia: Materialy Mizhnar. nauk.-tekh. konf. 06-07 hrudnia 2018 r.*, Kharkiv [Actual problems of automation and instrument engineering: Materials of the International Scientific and Practical Conference 06-07 December 2018]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2018. pp. 48-49.
6. Potentsiometr [Potentiometer]. URL: <https://habr.com/ru/post/85545/> (accessed 18.09.2018).
7. Princip raboty potentsiometrov [Principle of operation the Potentiometer]. URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/potentsiometriy/> (accessed 14.11.2018).

Поступила 28.05.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Асмолова Лариса Валеріївна (Асмолова Лариса Валериевна, Asmolova Larysa Valeriivna)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: [asmolova\\_larisa@ukr.net](mailto: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](mailto:annikolay@ukr.net)

**Лобода Катерина Юріївна (Лобода Екатерина Юрьевна, Loboda Kateryna Yuriivna)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: [katyaloboda17@gmail.com](mailto:katyaloboda17@gmail.com)