

С. О. Бур'ян¹
М. В. Печеник¹
Г. Ю. Землянухіна¹

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОЦІНЮВАЧА ККД НАСОСА ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОЇ ЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Розглянуто актуальну задачу проектування оцінювача технологічних параметрів насосної установки. Для технічної реалізації оцінювача використовується технологія нейронних мереж, яка дозволяє оцінювати значення інших координат на основі вимірюваних значень, в даному випадку, ефективності насоса. Для нейронної мережі використовуються експериментальні залучені масиви напору, ефективність та активне споживання потужності насосного агрегату. Цей підхід може бути застосований в системах, де неможливо встановити відповідні датчики без вторгнення в мережу.

Враховуючи вибір типу нейронної мережі та її параметри, математичний опис оцінки для її реалізації використано на платформі розробника Altera DE1-SoC, оснащеного програмованими полями логічного пристрою сімейства Cyclone V і процесором Nios II.

Експериментальне дослідження проводилося на лабораторному стенді, який складався з насосної установки потужністю 0,33 кВт, системи водопостачання та векторного перетворювача частот Lenze 8200, що працює в режимі управління частотою, для перевірки характеристик розробленого оцінювача. Експерименти проводилися для різних робочих точок насоса та за різних навантажень. Експериментально отримані характеристики порівнювалися з розрахунковою ефективністю та ефективністю, яка оцінювалася нейронною мережею.

Аналіз даних показав, що використання нейронної мережі для оцінки ефективності дає максимальне відхилення оцінюваних значень в порівнянні з характеристиками каталогів не перевищує 3 %, що є прийнятним. Доцільно використовувати точніші датчики і тренувати нейронну мережу в динамічних режимах, щоб зменшити похибку. Цей підхід зменшує кількість вимірюваних величин для систем управління проектами технологічних узгоджень і реалізує енергозберігаючі алгоритми керування турбо-механізмами там, де реалізація до відповідних вимірювань недозволена або неможлива.

Ключові слова: насосна установка, програмована логічна інтегральна схема, нейронна мережа, оцінювач, коефіцієнт корисної дії, електромеханічна система, енергетична ефективність.

Вступ

Пристрої вимірювання координат та параметрів технологічних об'єктів є невід'ємною складовою структури електромеханічних систем автоматичного керування турбомеханізмами. В свою чергу давачі, що надають інформацію про технологічні координати насосних установок, є досить вартісними та у багатьох випадках їх неможливо змонтувати або замінити без втручання в гідравлічну мережу. Для зменшення кількості давачів у системі широко застосовується теорія оцінювачів. Одним зі шляхів технічної реалізації останніх є застосування штучних нейронних мереж, які на основі вже відомих вимірюваних координат дозволяють оцінити значення інших координат, наприклад напору, продуктивності насоса [1], його механічну потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД) [2] та інші. ККД неможливо виміряти безпосередньо, а відомі непрямі способи [3] знову ж таки потребують встановлення додаткових давачів. Запропонований підхід дозволяє реалізувати бездавачеві алгоритми керування з метою підвищення енергоефективності системи автоматичного керування турбомеханізмами [4]. Тому актуальним завданням є побудова оцінювача ККД насоса на основі нейронної мережі та експериментальна перевірка його працездатності.

Метою роботи є розробка та перевірка працездатності оцінювача ККД насоса на основі нейронної мережі на базі плати розробника DE1-SoC [5] фірми Altera з програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС) сімейства Cyclone V.

Результати дослідження

Для створення штучної нейронної мережі (ШНМ) необхідною і достатньою є інформація про масиви робочих точок ККД η , напору H , продуктивності Q або іншої координати, наприклад потужності P , на різних швидкостях обертання двигуна. Точність датчика ККД, який оцінює його значення для необхідної робочої точки, залежить від кількості робочих точок, які закладені у ШНМ.

Для отримання необхідних робочих точок зручно використати каталожні характеристики насосів. Їх можна отримати з електронних каталогів виробників [6] або визначити експериментально. Як приклад визначено 10 каталожних характеристик: статичних та характеристик ККД для насоса потужністю 330 Вт, які показані на рис. 1.

В загальному випадку процедура проектування ШНМ складається з таких кроків [7]:

1. Вибір кількості захованих шарів ШНМ, тобто тих шарів, що розташовані між входом НМ та вихідним шаром нейронів.
2. Вибір кількості нейронів у кожному шарі.
3. Вибір функції активації нейронів.
4. Тренування (навчання) мережі.

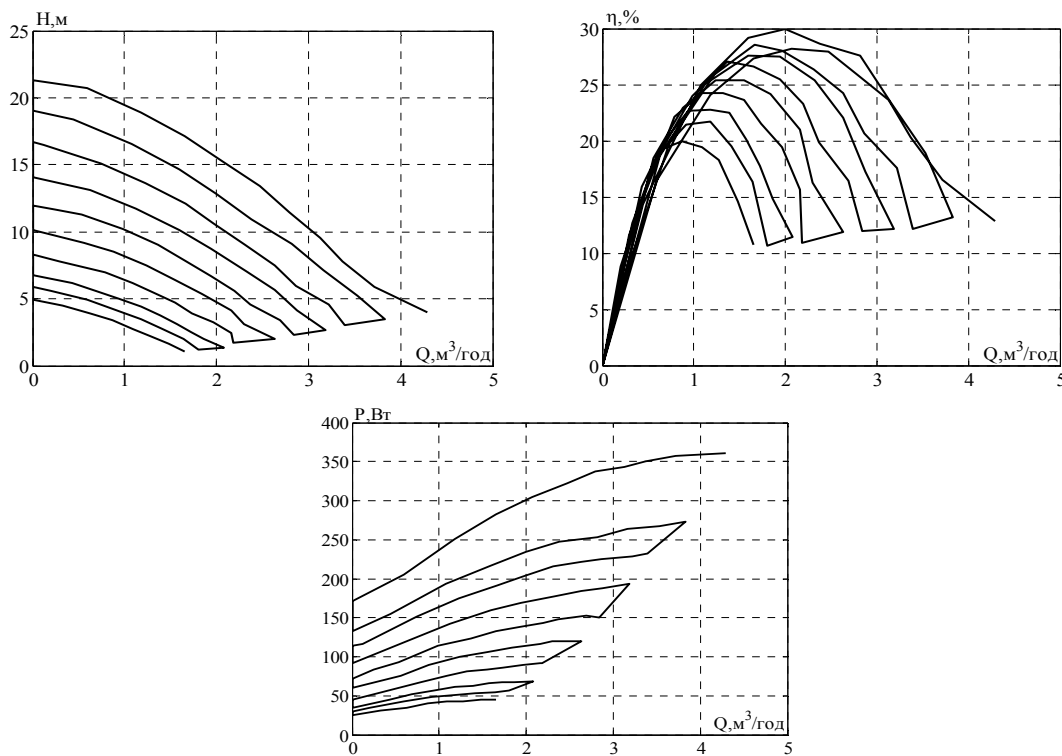


Рис. 1. Сімейства Q-H, Q-ККД і Q-P-характеристик насоса потужністю 330 Вт

Для створення ШНМ для оцінки ККД насоса використано пакет прикладних програм MatLab з редактором нейронних мереж (Network/Data/Manager) [8].

В роботі з нейронними мережами важливим є їх математичний опис. Загальне рівняння, що описує роботу нейронної мережі записується так:

$$\hat{\eta} = c \left(\text{th} \left(\frac{Hw_{11} + Pw_{12} + b_1}{a_1} \right) w_1 + \text{th} \left(\frac{Hw_{21} + Pw_{22} + b_2}{a_2} \right) w_2 + \right. \\ + \text{th} \left(\frac{Hw_{31} + Pw_{32} + b_3}{a_3} \right) w_3 + \text{th} \left(\frac{Hw_{41} + Pw_{42} + b_4}{a_4} \right) w_4 + \\ + \text{th} \left(\frac{Hw_{51} + Pw_{52} + b_5}{a_5} \right) w_5 + \text{th} \left(\frac{Hw_{61} + Pw_{62} + b_6}{a_6} \right) w_6 + \\ + \text{th} \left(\frac{Hw_{71} + Pw_{72} + b_7}{a_7} \right) w_7 + \text{th} \left(\frac{Hw_{81} + Pw_{82} + b_8}{a_8} \right) w_8 + \\ \left. + \text{th} \left(\frac{Hw_{91} + Pw_{92} + b_9}{a_9} \right) w_9 + \text{th} \left(\frac{Hw_{101} + Pw_{102} + b_{10}}{a_{10}} \right) w_{10} + b \right), \quad (1)$$

де c — коефіцієнт нахилу лінійної функції активації; th — активаційна функція нейрона; H — напір насоса; $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im}$ — вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків; P — споживана

активна потужність двигуна; b_i — зміщення нейрона; a_1, a_2, \dots, a_i — коефіцієнти нахилу функції гіперболічного тангенса \tansig .

На наступному кроці сформовано навчальні масиви (P-H) та (ККД-H) та навчено штучну нейронну мережу. Максимальна похибка навчання становить $7,232e^{-5}$, такий результат досягається за 31 епоху тренування. Коефіцієнт регресії становить 0,9962.

Для технічної реалізації нейронної мережі використано плату розробника фірми Altera з програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС) типу FPGA сімейства Cyclone V. На платі розміщено програматор USB-Blaster з інтерфейсом програмування JTAG, генератор тактової частоти та 12-розрядний АЦП, що має 8 аналогових входів. На ПЛІС реалізовано процесор Nios II, а також синхронний послідовний порт, за допомогою якого і відбувається зчитування даних з АЦП.

Для коректної роботи нейронної мережі вхідні та вихідні сигнали промасштабовані у діапазоні від -1 до 1.

Блок-схема нейронної мережі, запрограмованої у ПЛІС, показана на рис. 3.



Рис. 3. Блок-схема нейронної мережі

Для програмування на мові C використано програмне забезпечення Nios II Software Build Tools for Eclipse фірми-виробника Altera. Вхідні та вихідні сигнали у режимі реального часу виводилися на дисплей ПК для візуальної оцінки.

Досліди проводилися на лабораторному стенді, на передній панелі якого розміщені потенціометр R1 для регулювання завдання швидкості, цифровий амперметр PA1 для виведення значення сигналу від датчика тиску H, цифровий вольтметр PV1, підключений до аналогового виходу перетворювача для відображення значення потужності P, автоматичний вимикач QF та перетворювач частоти марки Lenze зі вбудованим ПДД-регулятором, задатчиком інтенсивності, векторним та частотним керуванням та можливістю реалізації замкненої системи керування. Також до стенду підключено плату розробника фірми Altera – DE1-SoC, на якій реалізована нейронна мережа. Функціональна схема стенду показана на рис. 4.

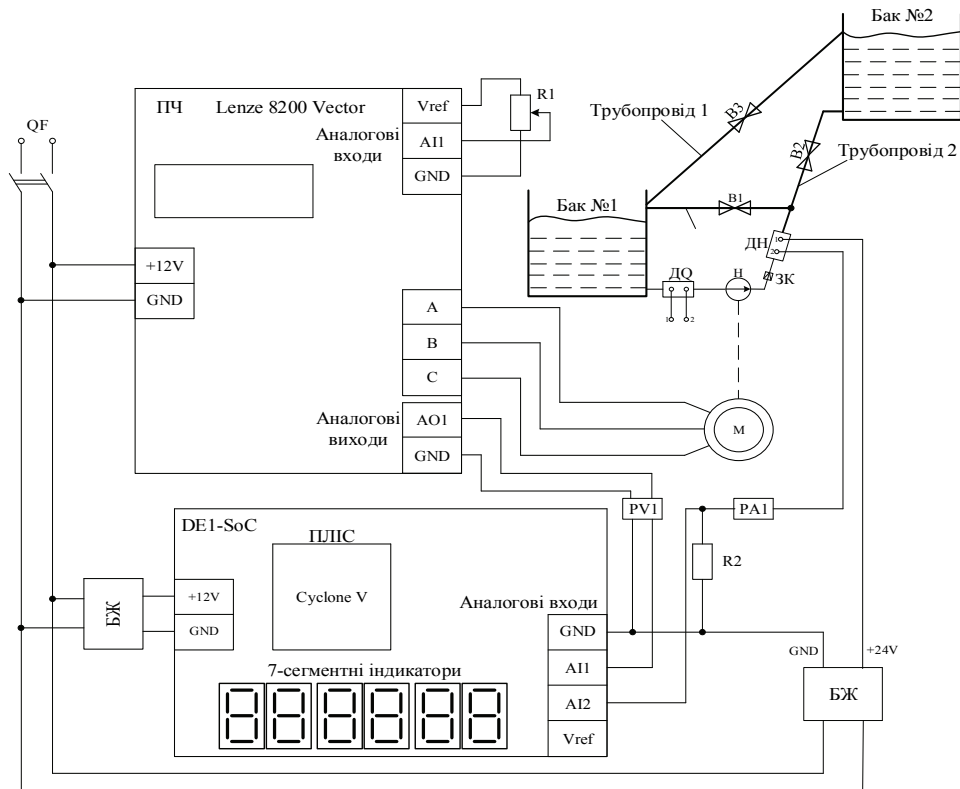


Рис. 4. Функціональна схема стенду

Біля стенду знаходиться насос марки Calpeda MXH 202E з асинхронним двигуном М потужністю 0,33 кВт, який під'єднано до перетворювача частоти Lenze 8200 Vector потужністю 0,75 кВт. На вході насоса розміщено фітінг, до якого приєднано манометр для візуальної фіксації тиску у трубі, витратомір ДQ з імпульсним виходом та датчик тиску ДН зі струмовим виходом. Для запобігання зворотному ходу води у насос на виході фітінгу розташований зворотний клапан.

Результати перевірки роботи штучної нейронної мережі на реальній насосній установці показані на рис. 5.

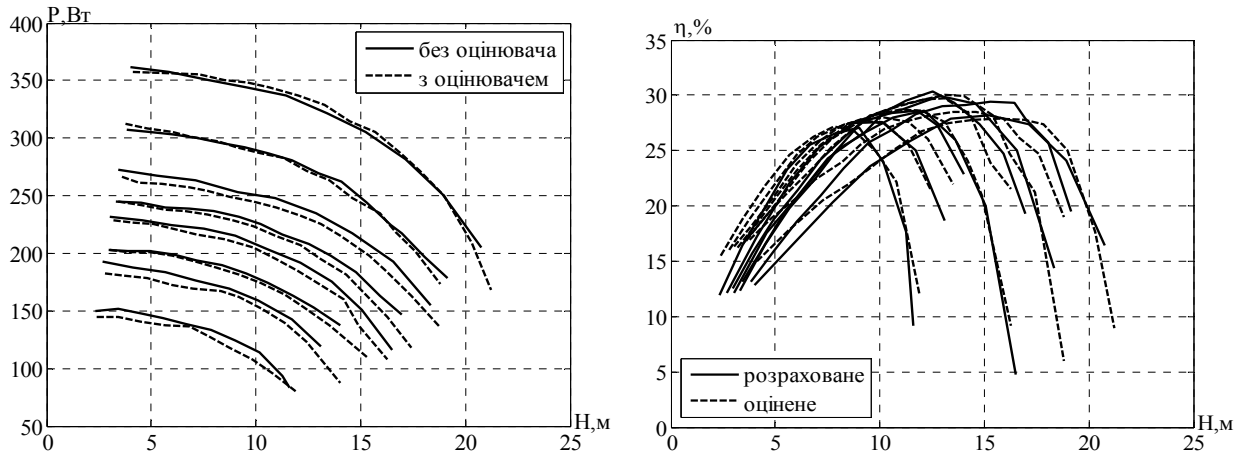


Рис. 5. Сімейства P-N і η -H-характеристик насоса потужністю 330 Вт в експериментальному тесті

Аналіз отриманих даних показав, що максимальне відхилення оцінених значень ККД від розрахованих складає 3 %. Найбільша похибка спостерігається на тих характеристиках, що не входили до навчального масиву. На характеристиках, що входили в навчальний масив похибка на порядок менша, що свідчить про те, що нейронна мережа досить точно оцінює значення ККД. Такий результат є прийнятним з урахуванням того, що сформовано малий навчальний масив.

Висновки

Технічно реалізовано оцінювач ККД насоса за допомогою нейронної мережі на базі плати розробника DE1-SoC фірми Altera з програмованою логічною інтегральною схемою сімейства Cyclone V. Дослідження на експериментальній установці показали, що використання нейронної мережі для оцінки значень ККД дає максимальне відхилення оцінених значень в порівнянні з каталожними характеристиками не більше 3 %, що є прийнятним, враховуючи, що сформовано малий навчальний масив. Такий підхід дозволяє зменшити кількість вимірювальних величин для побудови систем керування технологічними координатами та реалізації енергоефективних алгоритмів керування турбомеханізмами, де доступ до вимірювання відповідних величин складний або неможливий.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] М. Г. Попович, Б. І. Приймак, та С. О. Бур'ян, «Електромеханічна система автоматизації насосної установи з оцінюванням продуктивності за допомогою нейронної мережі,» *Вісник Кременчуцького державного політехн. ун-ту ім. М. Остроградського*, № 3/2009 (56), Ч. 2, 2009, с. 57-59, 2009.
- [2] С. О. Бур'ян, та Т. В. Гришук, «Оцінювач коефіцієнта корисної дії насоса на основі нейронної мережі та каталожних характеристик,» у *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів*. м. Кременчук, 07-08 квітня 2011 р., с. 97-98.
- [3] A. E. Cattaert, «High Pressure Pump Efficiency Determination from Temperature and Pressure Measurements,» in *IEEE PES PowerAfrica 2007 Conference and Exposition*, Johannesburg, South Africa, 16-20 July 2007.
- [4] N. Pechenik, O. Kiselychnyk, S. Buryan, and D. Petukhova, «Sensorless control of water supply pump based on neural network estimation,» *Electrotechnic and Computer Systems. Scientific and technical journal*. Odesa, № 03(79), pp. 462-466, 2011.
- [5] Overview of DE1-SoC Development Board / Solution for Altera FPGAs, Terasic Inc., [Online], Available: <http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?Language=English&No=836>, 2013.
- [6] ITT Industries, Vogel Select CD, Selection Program Jan., 2009.
- [7] Д. Рутковская, М. Пилиньский, и Л. Рутковский, *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва, Россия: Горячая линия-Телеком, 2004, 452 с.

[8] Neural Networks Toolbox User's Guide: MathWorks, 2004.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 5.01.2018

Бур'ян Сергій Олександрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, e-mail: sburyan18@gmail.com ;

Печеник Микола Валентинович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, e-mail: pechenikMV@ukr.net ;

Землянухіна Ганна Юрїївна — студентка факультету електроенерготехніки та автоматики, e-mail: annzemlya@gmail.com.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

S. O. Burian¹
M. V. Pechenyk¹
H. Yu. Zemlianukhina¹

Development and Research of the Neural Network Pump Efficiency Observer Based on the Programmable Logical Integral Scheme

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

This paper deals with the actual task of design the technological parameter observer of the pumping unit. This approach can be applied into the systems where it is impossible to mount appropriate sensors without invasion into the hydraulic network.

For the technical implementation of the observer, the technology of neural networks is used, which, allows estimating the values of other coordinates based on the measured values, in this case, the efficiency of the pump. For the neural network training were used experimental captured arrays of pressure, efficiency and active power consumption of the pump unit.

Based on the choice of the neural network type and its settings, a mathematical description of the estimator for its implementation was used Altera DE1-SoC developer board, which was equipped with a field programmable logic device of the Cyclone V family and the Nios II processor.

Experimental investigation was carried out on a laboratory bench, consisting of a 0,33 kWt pump plant, a water supply system and Lenze 8200 Vector frequency converter operating in frequency control mode, to test the performance of the developed observer. Experiments were carried out for different operating points of the pump and at different load. In this case, the experimentally captured characteristics were compared with the calculated efficiency and the efficiency, which was estimated by the neural network.

The data analysis showed that the use of the neural network to evaluate the efficiency yields the maximum deviation of the estimated values in comparison with the cataloging characteristics is no more than 3 %, which is acceptable, given that a small training array of static characteristics had been formed. It is expedient to use more accurate sensors and train the neural network in dynamic modes to reduce the error.

This approach reduces the number of measuring values for the design control systems of technological coordinates and realizes energy-efficient turbo-mechanism control algorithms, where access to corresponding quantities measurement is complicated or impossible.

Keywords: pumping unit, programmable logic integrated scheme, neural network, observer, coefficient of effectiveness, electromechanical system, energy efficiency.

Burian Serhii O. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, e-mail: sburyan18@gmail.com ;

Pechenyk Mykola V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, e-mail: pechenikMV@ukr.net ;

Zemlianukhina Hanna Yu. — Student of the Department of Electric Power Engineering and Automation, e-mail: annzemlya@gmail.com

С. А. Бурьян¹
Н. В. Печеник¹
А. Ю. Землянухина¹

Разработка и исследование оценщика КПД насоса при помощи нейронных сетей на базе программируемой логической интегральной схемы

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Рассмотрена актуальная задача проектирования оценщика технологических параметров насосной установки. Этот подход может быть применен в системах, где невозможно установить соответствующие датчики без вторжения в сеть. Для технической реализации оценщика используется технология нейронных сетей, которая позволяет оценивать значения других координат на основе измеренных значений, в данном случае, эффективности насоса. Для нейронной сети использовались экспериментальные захваченные массивы давления, эффективность и активное потребление мощности насосного агрегата.

Учитывая выбор типа нейронной сети и ее параметров, математическое описание оценки для ее реализации использовано на платформе разработчика Altera DE1-Soc, оснащенного программируемыми полями логического устройства семейства Cyclone V и процессором Nios II.

Экспериментальное исследование проводилось на лабораторном стенде, состоящем из насосной установки 0,33 кВт, системы водоснабжения и векторного преобразователя частоты Lenze 8200, работающего в режиме управления частотой, для проверки характеристик разработанного оценщика. Эксперименты проводились для различных рабочих точек насоса и при различной нагрузке. В этом случае экспериментально полученные характеристики сравнивались с рассчитанной эффективностью и эффективностью, которая оценивалась нейронной сетью.

Анализ данных показал, что использование нейронной сети для оценки эффективности дает максимальное отклонение оценочных значений по сравнению с характеристиками каталогизации не более 3 %, что приемлемо. Целесообразно использовать более точные датчики и тренировать нейронную сеть в динамических режимах, чтобы уменьшить погрешность. Этот подход уменьшает количество измеряемых величин для систем управления проектами технологических согласований и реализует энергосберегающие алгоритмы управления турбо-механизмами, где доступ к соответствующим измерениям количества затруднен или невозможен.

Ключевые слова: насосная установка, программируемая логическая интегральная схема, нейронная сеть, оценщик, коэффициент полезного действия, электромеханическая система, энергетическая эффективность.

Бурьян Сергей Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: sburyan18@gmail.com ;

Печеник Николай Валентинович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: pechenikMV@ukr.net ;

Землянухина Анна Юрьевна — студент факультета электроэнерготехники и автоматики, e-mail: annzemlya@gmail.com