РОЗРОБКА БЛОКУ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПТИМАЛЬНИХ ЗАКОНІВ РУХУ МОСТОВОГО КРАНА

Вячеслав Ловейкін, Юрій Ромасевич, Віктор Крушельницький

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 11, Київ, Україна, 03041, e-mail: bass.kp@mail.ru*

DEVELOPMENT OF THE BLOCK OF FEEDBACK FOR IMPLEMENTATION OF OPTIMUM LAWS OF THE MOVEMENT OF BRIDGE CRANES

Vyacheslav Loveykin, Juriy Romasevich, Viktor Krushelnytskyi

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroyiv Oborony Str., 11, Kyiv, Ukraine, 03041, 03041, e-mail: bass.kp@mail.ru*

АНОТАЦІЯ. В роботі наведено принцип роботи розробленого блока зворотного зв'язку для системи керування краном, призначеного для визначення фізичних параметрів крана, зокрема довжини канату та маси вантажу для подальшої реалізації оптимальних законів руху механізму переміщення мостової балки крана, при яких динамічні навантаження, що діють на балку крана, зводяться до мінімуму.

***Ключові слова:** мікроконтролер, блок зворотного зв'язку, мостовий кран, оптимальні закони руху, динамічні навантаження, енкодер, тензометр.*

АННОТАЦИЯ. В работе наведен принцип работы разработанного блока обратной связи для системы управления краном, предназначенного для определения физических параметров крана, таких как длина каната и масса груза для дальнейшей реализации оптимальных законов движения механизма перемещения мостовой балки крана, при которых динамические нагрузки, что действуют на балку крана сводятся к минимуму.

***Ключевые слова:** микроконтроллер, блок обратной связи, мостовой кран, оптимальные законы движения, динамические нагрузки, энкодер, тензометр.*

*ABSTRACT. **Purpose.** Develop the feedback block for implementation of laws of the movement at which dynamic loads of a metal construction of the bridge crane are minimized. **Methodology/approach.** In an article for development of the block of feedback used automatic control theory, mathematical modeling and computer simulation. **Findings.** It is illustrated algorithm of operation of the block of feedback, appearance and in use. **Research limitations/implications**. This block of feedback can be used to develop control systems crane. **Originality/value.** The block of feedback allows to determine length of a rope and mass of freight, for further calculations of optimum parameters of the movement during transition processes of start-up/braking of the mechanism of movement of the bridge crane.*

***Key words:** microcontroller, feedback block, bridge crane, optimum laws of the movement, dynamic loadings, encoder, strain gage.*

ВСТУП

Під час руху мостового крана його металоконструкції піддаються значним динамічним навантаженням [1…6]. Зокрема, це відбувається за рахунок коливань вантажу та перехідного процесу пуску/гальмування електродвигунів кранових механізмів [7]. Внаслідок цього виникають коливання металоконструкцій, підвищуються витрати електроенергії [8], особливо під час пуску електродвигуна. Ці негативні явища зменшують ресурс крана та призводять до передчасного його виходу з ладу та простоїв виробничого процесу на підприємствах. Для уникнення цих негативних процесів в роботі [9] вирішенні оптимізаційні задачі руху мостового крана за критерієм середньоквадратичного значення зусилля в мостовій балці крана та за його вищими похідними (перша та друга). Для реалізації керуючого впливу необхідно розробити систему керування мостовим краном. В оптимальних законах руху є параметри, що змінюються під час експлуатації крана (довжина підвісу та маса вантажу). Тому невід'ємною частиною системи керування та дослідження динаміки руху мостового крана за оптимальними законами руху має бути блок зворотного зв'язку, який буде визначати ці фізичні параметри для реалізації керуючого впливу.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у розробці блока зворотного зв'язку для реалізації оптимальних законів руху [9]. Блок має визначати довжину каната та масу вантажу за допомогою датчиків, а інформацію про визначені фізичні параметри відправляти на комп'ютер у реальному часі.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для реалізації зворотного зв'язку розроблено електричний пристрій, до якого підключаються датчики, з датчиків зчитуються електричні сигнали, які обробляються та передаються до комп'ютера у цифровому вигляді. При розробці такого пристрою використано мікроконтролер, датчики переміщення та зусилля.

У співставленні ціна/якість найбільш доступною маркою апаратно-програмних засобів для побудови простих систем автоматики є плата Arduino NANO 3.0 [10], яка складається з мікроконтролера ATMEL ATmega 328. Мікроконтролер має послідовний інтерфейс UART, цифрові порти вводу/виводу та аналогово-цифрові перетворювачі та перетворювач інтерфейсів UART – USB (мікросхема CH340G [11]). Як вимірювальні пристрої обрано лінійний енкодер Autonics ENC-1-1-t-24 [12] (для визначення довжини каната), що має цифровий сигнал на виході та S-подібний тензометр фірми KELI – DEF 1t [13] (для визначення маси вантажу), який має аналоговий сигнал на виході. Для підключення тензометра до мікроконтролера використано операційний підсилювач на базі мікросхеми INA125 [14]. Для живлення датчиків використані стабілізатори напруги на мікросхемах LM7812 (для живлення тензометра – 12В) та LM317T (регульований стабілізатор напруги для живлення енкодера).

Розроблений блок зворотного зв'язку складається з плати стабілізаторів напруги та плати Arduino NANO 3.0, які розміщені в одному корпусі. Для підключення датчиків на верхній частині блока розташований роз'єм KLS15-RCS01-PC7, USB для підключення до комп'ютера, світлодіод, який сигналізує підключення напруги живлення та роз'єм живлення (рис. 1).

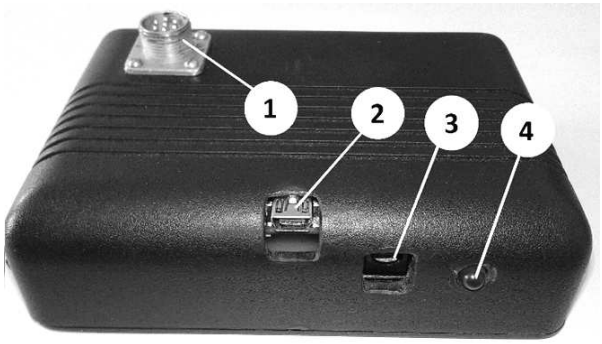

Рис. 1. Зовнішній вигляд блоку зворотного зв'язку:
1 – роз'єм для підключення датчиків; *2* – роз'єм USB, для підключення до комп'ютера; *3* – роз'єм для підключення живлення; *4* – індикатор включення блока зворотного зв'язку

Fig. 1. Appearance the block of feedback:
1 – connector for sensors; *2* – connector USB, for PC connection; 3 – connector for power; *4* – an indicator of on-block feedback

До блока підключається S – подібний тензодатчик, енкодер та кінцевий вимикач. Останній призначений для уникнення похибки вимірювання довжини каната і визначення початкового положення підвісу вантажу, тобто при включені блока зворотного зв'язку необхідно підняти гак до мінімально допустимого значення довжини каната, тоді спрацьовує кінцевий вимикач, який відправить сигнал мікроконтролеру про досягнення початкового положення каната. Енкодер та кінцевий вимикач підключається до цифрових входів мікроконтролера, тензодатчик через підсилювач сигналу підключається до аналогового входу. Напругу на регульованому виході можна змінити за допомогою змінного резистора, який розташований на платі стабілізаторів напруги. Це дає змогу використовувати датчики з різними напругами живлення. Для мікроконтролера написаний програмний код в Arduino IDE на мові програмування Arduino.

Алгоритм роботи блока зворотного зв'язку зображений на рис. 2, а технічні характеристики наведено у табл.

При зчитуванні сигналу з енкодера для уникнення пропуску імпульсів, які поступають з датчика, використано зовнішнє переривання [15], яке дозволяє розвантажити процесор для інших операцій і не пропустити очікуваний сигнал.

Після закінчення переривань (визначення довжини каната) програма повертається до основного циклу в те місце, де відбулося переривання, що дає змогу не пропускати наступні інструкції.

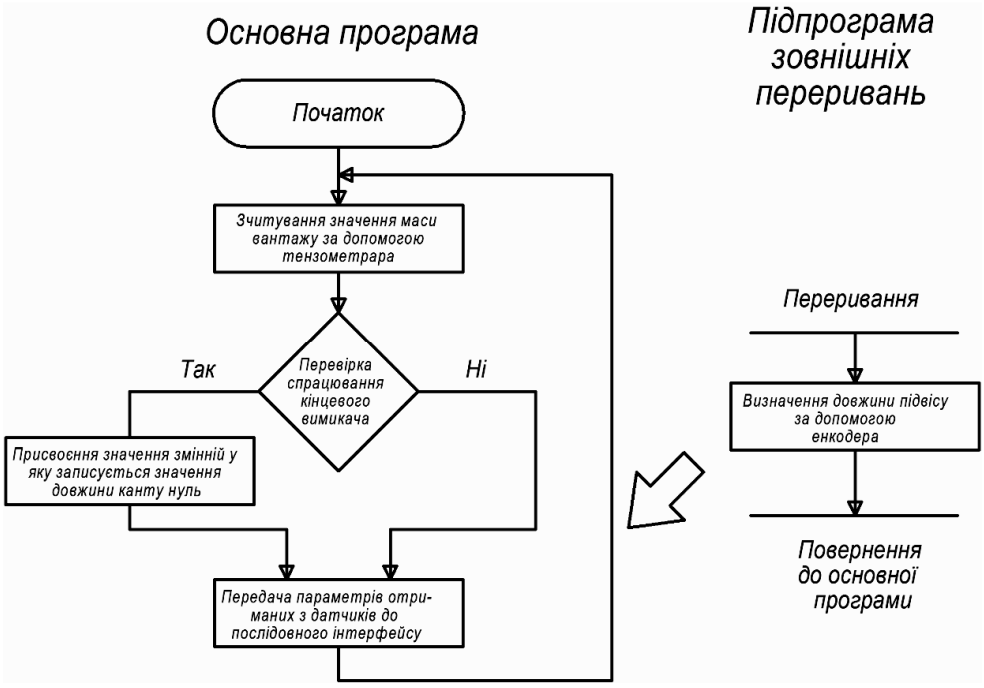

Рис. 2 Алгоритм роботи програмного коду для блока зворотного зв'язку

Fig. 2 Algorithm operation the block of feedback

Блок зворотного зв'язку (рис. 3) за допомогою енкодера, розташованого на

Таблиця. Технічні характеристики блока зворотного зв'язку

Table. Technical characteristics feedback unit

Параметр	Значення
Напруга живлення датчиків, В	14 – 35
Напруга живлення мікроконтролера, В	від шини USB 2.0
Кількість аналогових входів	1
Кількість цифрових входів	3 (A, B, SW)*
Вихідні напруги живлення датчиків, В - канал 1 - канал 2	 12 1,2 – 37 **
Вихідна сила струму, А - канал 1 - канал 2	 1 1,5
Вхідна напруга аналогового входу, В	5
Доступні інтерфейси передачі даних	USB

* Цифровий вхід A, B для підключення фаз енкодера, а SW для кінцевого вимикача.

** Вихідна напруга каналу 2 регулюється за допомогою змінного резистора який розташований на платі стабілізаторів напруги.

електроталі, зчитує значення положення гака (довжини каната) та значення маси вантажу за допомогою тензометра. Кінцевий вимикач розташовується на електроталі таким чином, щоб при досягнені мінімально допустимої довжини каната його контакти замикалися. Цим самим подається сигнал мікроконтролеру про зміну стану і присвоєння змінній, у яку записується довжина каната початкового положення. Інформація про фізичні параметри крана, отримані з датчиків (енкодера та тензометра), передаються в послідовний інтерфейс UART мікроконтролера, до якого підключений перетворювач інтерфейсів UART – USB (мікросхема CH340G розташована на платі Arduino NANO 3.0). Далі інформація передається до комп'ютера, де зчитується за допомогою програми «Оптимальне керування мостовим краном».

Для керування частотним перетворювачем написана комп'ютерна програма, в яку внесені оптимальні закони руху мостового крана, при яких зусилля у мостовій балці зводяться до мінімуму.

Отримані дані з блока зворотного зв'язку використовуються для розрахунку швидкостей, які потім відправляються частотному перетворювачу через послідовний інтерфейс комп'ютера.

ВИСНОВКИ

Розроблений блок зворотного зв'язку дає змогу визначати фізичні параметри крана за допомогою датчиків переміщення і зусилля. Блок може бути використаний для дослідження динаміки руху мостового крана за оптимальними законами руху. Наведений алгоритм роботи можна використовувати для розробки мехатронної системи керування краном, що зводить до мінімуму динамічні навантаження на металоконструкції крана.

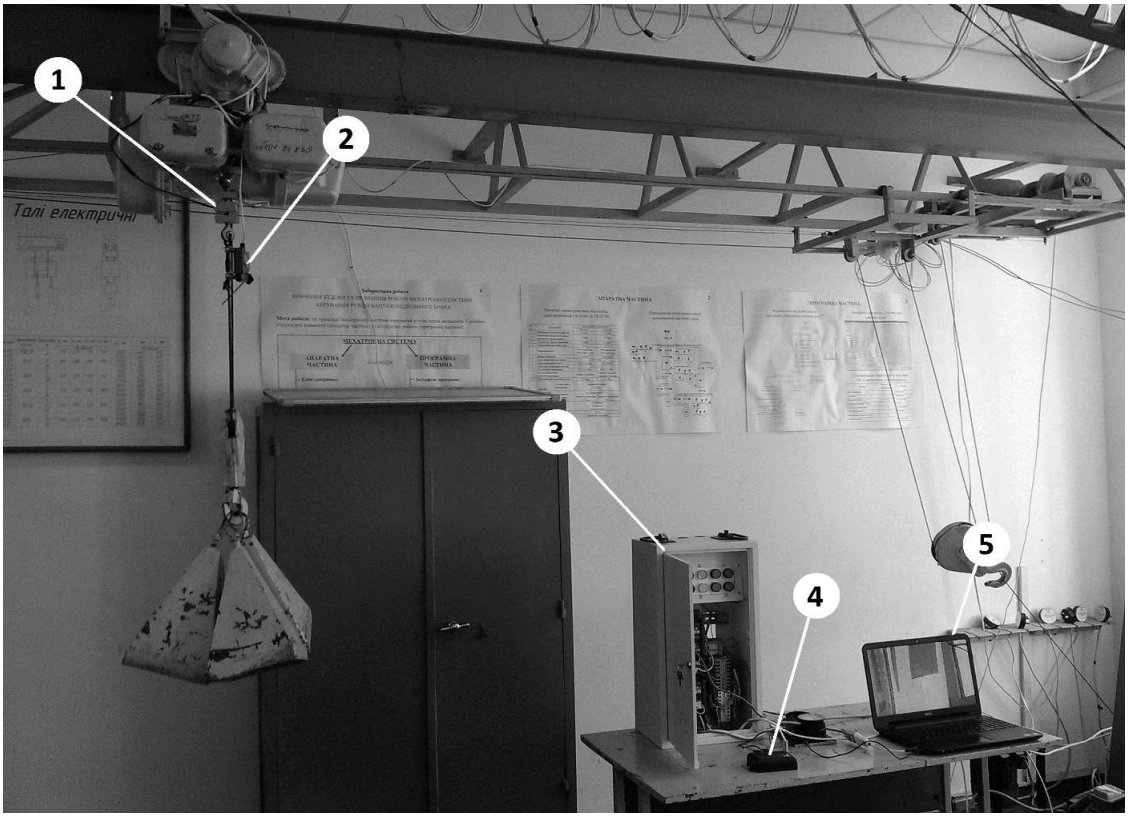

Рис. 3. Система для реалізації оптимальних законів руху:
1 – тензометр; *2* – кінцевий вимикач; *3* – частотний перетворювач; *4* – блок зворотного зв'язку;
5 – комп'ютер з програмним забезпеченням для керування частотним перетворювачем

Fig. 3. System for implementation of optimum laws of the movement:
1 – strain gage; *2* – limit switch; *3* – the frequency converter; *4* – block of feedback;
5 – the computer with the software for control of the frequency converter

ЛІТЕРАТУРА

1. *Орловский И.А.* Уточненные математическая и имитационная модели электропривода перемещения мостового крана / И. А. Орловский. // Електротехныка та електроенергетика - науковий журнал. – 2007. – №2. – С. 39–51.
2. *Сладковский А.* Динамика мостового крана. Часть 1. Определение характеристик мостового крана / А. Сладковский, Т. Ханишевский, Т. Матыя. // Вісник Східноукраїнського університету імені Володимера Даля. – 2010. – №10. – С. 200–206.
3. *Сагиров Ю.Г.* Колебания пролетных балок мостового крана / Ю.Г. Сагиров, В.В. Суглобов // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2008. – Вип. 10. – С. 151-158.
4. *Лопатина, А.А.* Математическое моделирование колебаний балки мостового крана // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Електронний ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013. – Режим доступу: http://conf.sfukras.ru/sites/mn2013/section059.html - Назва з екрану.
5. *Дорохов Н.Ю.* Перспективы снижения динамических нагрузок на металоконструкции мостовых кранов с применением волновых цепных передач. – Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – Вып. 2. – С. 14 – 20.
6. *Теличко Л.Я.* Система управления электроприводами, обеспечивающая бесперекосное передвижение мостовых кранов / Л.Я. Теличко, А.А. Дорофеев. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – №3. – С. 113–116.
7. *Герасимяк Р.П.* Динамические нагрузки при оптимальном управлении электроприводом механизма перемещения с подвешенным грузом / Р.П. Герасимяк, Е. В. Найденко, А.Л. Тогобицкий, В.А. Лещёв // Електромашинобуд. та електрообладн. - 2006. - Вип. 66. - С. 144-146.
8. *Ромасевич Ю.О.* Динамічна оптимізація режимів руху механізмів вантажопідйомних машин як мехатронних систем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.05 "Піднімально-транспортні машини" / Ромасевич Ю.О. – Одеса, 2015. – 39 с.
9. *Ловейкін В.С.* Зменшення динамічних зусиль у крановому мості шляхом оптимізації режимів руху крана / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.В. Крушельницький // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. - 2014. - Вип. 196(1). - С. 112-122.
10. *Arduino Nano* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano – назва з екрану.
11. *Arduino Nano* CH340 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.instructables.com/id/Arduino-Nano-CH340/?ALLSTEPS – назва з екрану.
12. *ENC Series* [Електронний ресурс]. – Mode of access: http://www.compel.ru/item-pdf/57ee24ba21c4decd8a32b450d79d4e4e/pf/autonics~enc.pdf – назва з екрану.
13. *Keli* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.kelicee.pl/dokumenty/134_DEFYSS%20Datasheet.pdf – назва з екрану.
14. *Instrumentation amplifier* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf – назва з екрану.
15. *Arduino AttachInterrupt* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.arduino.cc/en/Reference/AttachInterrupt – назва з екрану.
16. *Ловейкін В.С., Шевчук О.Г.* Побудова фізичної моделі шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крана // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2014. – №83. – С. 34-41.

REFERENCES

1. *Orlovskij I.A., 2007.* Utochnennye matematicheskaja i imitacionnaja modeli elektroprivoda peremeshhenija mostovogo krana [Refined mathematical and simulation models of the electric movement of the bridge crane]. Elektrotehnyka ta elektroenergetika [Electrical engineering and power], No.2, 39–51. – (in Russian).
2. *Sladkovskij A., Hanishevskij T., Matyja T., 2010.* Dinamika mostovogo krana. Chast' 1. Opredelenie harakteristik mostovogo krana [The dynamics of an overhead crane. Part 1:

Determination of the characteristics of the overhead crane]. Visnik Shidnoukraïns'kogo universitetu imeni Volodimera Dalja [Journal of East University Vladimir Dal], No10, 200-206. –(in Ukrainian).

3. *Sagirov Ju.G., Suglobov V.V., 2008.* Kolebanija proletnyh balok mostovogo krana [Fluctuations span beams overhead crane]. Zahist metalurgijnih mashin vid polomok: zb. nauk. pr. PDTU [Protection of metallurgical machinery breakdowns], Vol.10, 151-158. – (in Ukrainian).
4. *Lopatina, A.A., 2013.* Matematicheskoe modeli-rovanie kolebanij balki mostovogo krana [Mathematical modeling of vibrations of the bridge crane girder]. Molodezh' i nauka: sbornik materialov IX Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferen-cii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 385-letiju so dnja osnovanija g. Krasnojarska [Electronic resource]. Krasnojarsk: Sibirskij federal'nyj un-t, (http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/ section 059.html).
5. *Dorohov N.Ju., 2009.* Perspektivy snizhenija dinamicheskih nagruzok na metalokonstrukcii mostovyh kranov s primeneniem volnovyh cepnyh peredach [Prospects for reducing the dynamic loads on the steel constructions of bridge cranes with the wave of chain transmissions]. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki [News of the Tula State University. Technical science], Vol.2, 14-20. – (in Ukrainian).
6. *Telichko L.Ja. Dorofeev A.A., 2010.* Sistema upravlenija jelek-troprivodami, obespe-chivajushhaja bespere-kosnoe peredvizhenie mostovyh kranov [The system control of electrical drive, providing without skewness movement of bridge cranes]. Vestnik Vo-ronezhskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta [Bulletin of Voronezh State Technical University], No 3, 113–116. – (in Russian).
7. *Gerasimjak R.P., Najdenko E.V., Togobickij A.L., Leshhjov V.A., 2006.* Dinamicheskie nagruzki pri optimal'nom upravlenii jelektroprivodom mehanizma peremeshhenija s podveshennym gruzom [Dynamic load the optimal control of the electric drive mechanism to move a suspended load]. Elektromashino-bud. ta elektroobladn, Vol. 66, 144-146. – (in Russian).
8. *Romasevich Ju.O., 2015.* Dinamichna optimizacija rezhimiv ruhu mehanizmiv vantazhopidjomnih mashin jak mehatronnih sistem: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja dokt. tehn. nauk: spec. 05.05.05 "Pidnimal'no-transportni mashini" [Dynamic optimization of traffic hoisting machines as mehatronics systems], Odesa, 39. – (in Ukrainian).
9. *Lovejkin V.S., Romasevich Ju.O., Krushel'nic'kij V.V., 2014.* Zmenshennja dinamichnih zusil' u kranovomu mosti shljahom optimizaciï rezhimiv ruhu krana [Reduction of dynamic forces of the crane bridge through optimization of the crane]. Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannja Ukraïni [Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine], Vol.196(1), 112-122. – (in Ukrainian).
10. *Arduino Nano* [E-source]. (https://www. arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano).
11. *Arduino Nano Ch340* [E-source]. (http://www. instructables.com/id/Arduino-NanoCH340/ ?ALLSTEPS).
12. *ENC Series* [E-source]. (http://www.compel. ru/item-pdf/57ee24ba21c4decd8a32b450d 79d4e4e/ pf/autonics~enc.pdf).
13. *Keli* [E-source]. Rezhim do-stupu do resursu: http://www.keli-cee.pl/dokumenty/134 _D.EFY-SS%20Datasheet.pdf).
14. *Instrumentation amplifier* [E-source]. (http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf).
15. *Arduino AttachInterrupt* [Elektronnij resurs]. (https://www.arduino.cc/en/Reference/AttachI nterrupt).
16. *Loveykín V.S., Shevchuk O.H., 2014.* [Con-struction the physical model of the articulated jib of tower crane]. Girnichi, budivelni, doroz-hni ta melioratyvni mashyny [Mining, con-structional, road and melioration machines], No.83, 34-41. – (in Ukrainian).