

УДК 62-187.3

**РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РУХОМ  
ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ КРАНІВ**

**©Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Інформація про авторів:**

**Ромасевич Юрій Олександрович:** ORCID: 0000-0001-5069-5929; d.um@mail.ru; кандидат технічних наук; докторант кафедри конструювання машин; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

**Ловейкін Вячеслав Сергійович:** ORCID: 0000-0003-4259-3900; vloveikin@mail.ru; доктор технічних наук; завідувач кафедри конструювання машин; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

Розглянуто основні програмні продукти у сфері керування рухом механізмів вантажопідійомних кранів.

Розроблено програми для керування роботою частотних перетворювачів, які використовуються у приводі вантажопідійомних кранів. Розроблені програми дозволяють виконувати сумісну роботу механізмів підйому вантажу та переміщення крана, що забезпечується розпаралелюванням потоків відправки команд на різні частотні перетворювачі по одному каналу зв'язку.

Програми дозволяють виконувати переміщення крана та підйом вантажу за оптимальними законами, що підвищує енергетичні та динамічні показники роботи крана.

**Ключові слова:** програма; порт; керування; потоки; команда.

**Ромасевич Ю. О., Ловейкин В. С.** «Разработка программного обеспечения для управления движением грузоподъемных кранов».

Рассмотрены основные программные продукты в сфере управления движением механизмов грузоподъемных кранов.

Разработаны программы для управления работой частотных преобразователей, которые используются в приводе грузоподъемных кранов. Разработанные программы позволяют выполнять совместную работу механизмов подъема груза и передвижения крана, что обеспечивается розпаралеливанием потоков отправки команд на разные частотные преобразователи по одном каналу связи.

Программы позволяют выполнять перемещение крана и подъем груза по оптимальным законам, что повышает энергетические и динамические показатели работы крана.

**Ключевые слова:** программа; порт; управление; потоки; команда.

**Romasevych Yu., Loveikin V.** “Software development for hoisting cranes movement control”.

The main software products in the area of control movement of lifting cranes mechanisms are considered.

The software are developed to control the operation of inverters, which are used in the loading cranes drive.

Designed software allows to work together lifting mechanisms and movement of the crane. It is provided by creation of two independent streams of sending commands to the different inverters by the same channel.

The software allows to move a crane and to lift a cargo by the optimal functions, which increases the energy and the dynamic indexes of a crane.

**Keywords:** software; port; control; streams; command.

### **1. Постановка проблеми**

Сучасні вантажопідйомні машини є мехатронними системами, в яких керування рухом окремих механізмів виконується на основі цифрових інтелектуальних систем. Апаратна частина системи керування вантажопідйомного крана як правило включає: розгалужену сенсорну мережу; пристрої передачі та збереження даних; потужний обчислювальний пристрій (мікроконтролер або промисловий комп'ютер); засоби відображення інформації та інші інтерфейсні пристрої. Ефективність використання системи керування рухом механізмів крана визначається алгоритмами, за якими вона працює. Сукупність цих алгоритмів прийнято називати програмною частиною системи керування. Програмна частина мехатронної системи будь-якої машини є домінуючим фактором при досягненні високої ефективності її роботи. Саме тому, розробка програмного забезпечення для керування рухом механізмів вантажопідйомних кранів є актуальною задачею.

### **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Сучасне програмне забезпечення мехатронних систем вантажопідйомних кранів, як правило, розроблюється на замовлення фірм-виробників кранів. Якщо фірма-виробник вантажопідйомної техніки достатньо потужна, то розробкою програмного забезпечення займається спеціальний відділ цієї фірми. Всі деталі розробки програмного забезпечення є комерційною таємницею. Користувач вантажопідйомної техніки має змогу лише проводити експлуатацію розробленого програмного забезпечення. При цьому вартість програмного забезпечення мехатронної системи вантажопідйомної машини включається у вартість всієї машини.

Фірма SIEMENS розробила спеціалізовану систему керування SMOCRANE, яка базується на апаратній платформі SIMOTION і яка містить бібліотеку кранових функціональних блоків, які дозволяють розробнику системи не писати власний програмний продукт, а виконувати параметризацію системи, вибираючи функціональність під потреби конкретного крана [1]. Набір основних функціональних блоків включає: 1) керування переміщенням крана, включаючи порталні осі; 2) керування механізмом підйому/опускання вантажу; 3) керування захватним пристроєм; 4) керування системою гасіння коливань вантажу тощо.

Фірма Concranes розробила систему керування роботою вантажопідйомних кранів серії Smart [2]. Ця система дозволяє: 1) усувати коливання вантажу; 2) виконувати позиціонування вантажу у наперед заданій точці; 3) визначати робочу зону в межах якої може переміщуватись кран; 4) виконувати синхронізацію роботи механізмів підйому вантажу; 5) усувати динамічний момент, що викликаний швидкою зміною навантаження; 6) усувати порушення симетрії моста крана; 7) збільшувати швидкість підйому порожнього гака; 8) проводити дистанційну діагностику в рамках профілактичного технічного обслуговування.

Фірма Liebherr для систем керування рухами пневмоколісних та гусеничних кранів розробила програму LICCON [3]. Ця програма дозволяє планувати, моделювати і

## **Піднімально-транспортні машини**

---

документувати роботу крана на комп'ютері. Функціональні можливості програми LICCON дозволяють: 1) використовувати базу даних вантажопідйомності крана для різних вильотів стріли; 2) автоматично підбирати необхідний кран для заданих параметрів навантаження; 3) визначати діючі у опорах крана зусилля тощо.

Фірма SmartCrane розробила систему, яка дозволяє усувати коливання вантажу при переміщенні кранів [4]. При цьому використовується технологічне обладнання та програмне забезпечення, яке дозволяє полегшити роботу кранівника (з такою системою можуть працювати кранівники навіть з невеликим досвідом). Система може керувати переміщеннями крана з обходом перешкод, для цього використовується підсистема SmartRoute. Обмін інформацією між елементами системи, а також із зовнішніми пристроями здійснюється через мережу Ethernet.

Виконавчим елементом мехатронної кранової системи є її привод. Він включає силові перетворювачі, які безпосередньо керують роботою електричних двигунів крана. Як правило, такий перетворювач (частотний перетворювач) змінює частоту і амплітуду напруги живлення двигуна, що викликає зміну його електромагнітного моменту чи кутової швидкості. Таким чином, для керування рухом механізму вантажопідйомної машини необхідно розробити програмне забезпечення, що дозволяє керувати роботою частотного перетворювача.

### **3. Виклад основного матеріалу**

На кафедрі конструювання машин Національного університету біоресурсів і природокористування України були розроблені програми, які дозволяють керувати частотними перетворювачами фірми Mitsubishi Electric. Розроблене програмне забезпечення використовувалось для проведення експериментальних досліджень роботи механізмів вантажопідйомних кранів.

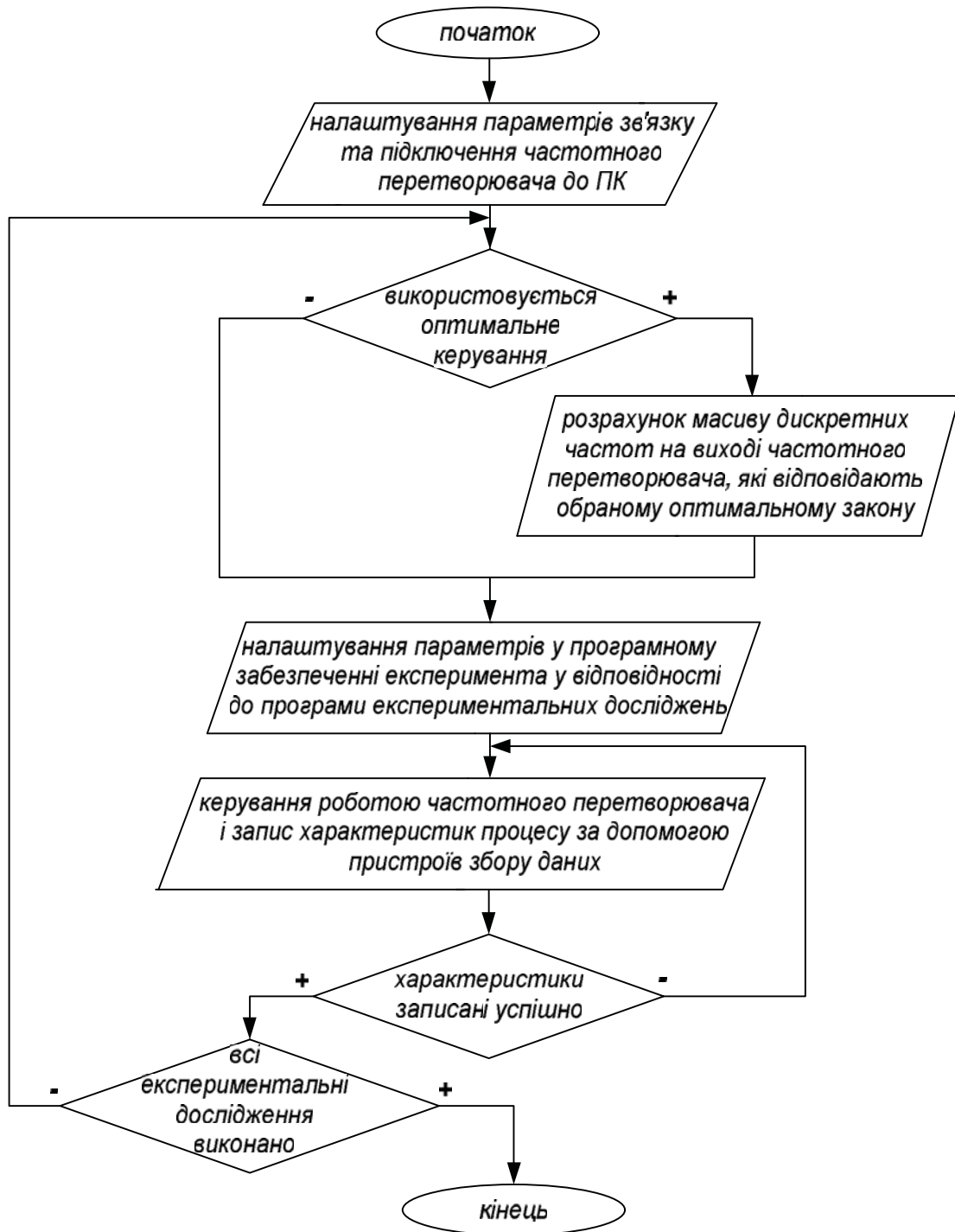
Процес проведення експериментальних досліджень із використанням розробленого програмного забезпечення можна формалізувати у вигляді алгоритму, блок-схема якого показана на рис. 1.

Необхідно зазначити, що наведена на рис. 1 блок-схема алгоритму використання програмного забезпечення справедлива як для лабораторних так і для виробничих експериментів.

Для проведення лабораторних експериментів було розроблено програмне забезпечення „ELECTRIC DRIVE OPTIMAL CONTROL by Yuriy Romasevich”. Дана програма розроблена на основі характеристик форматів та командних кодів для налаштувань параметрів частотних перетворювачів FR-D Mitsubishi Electric [5].

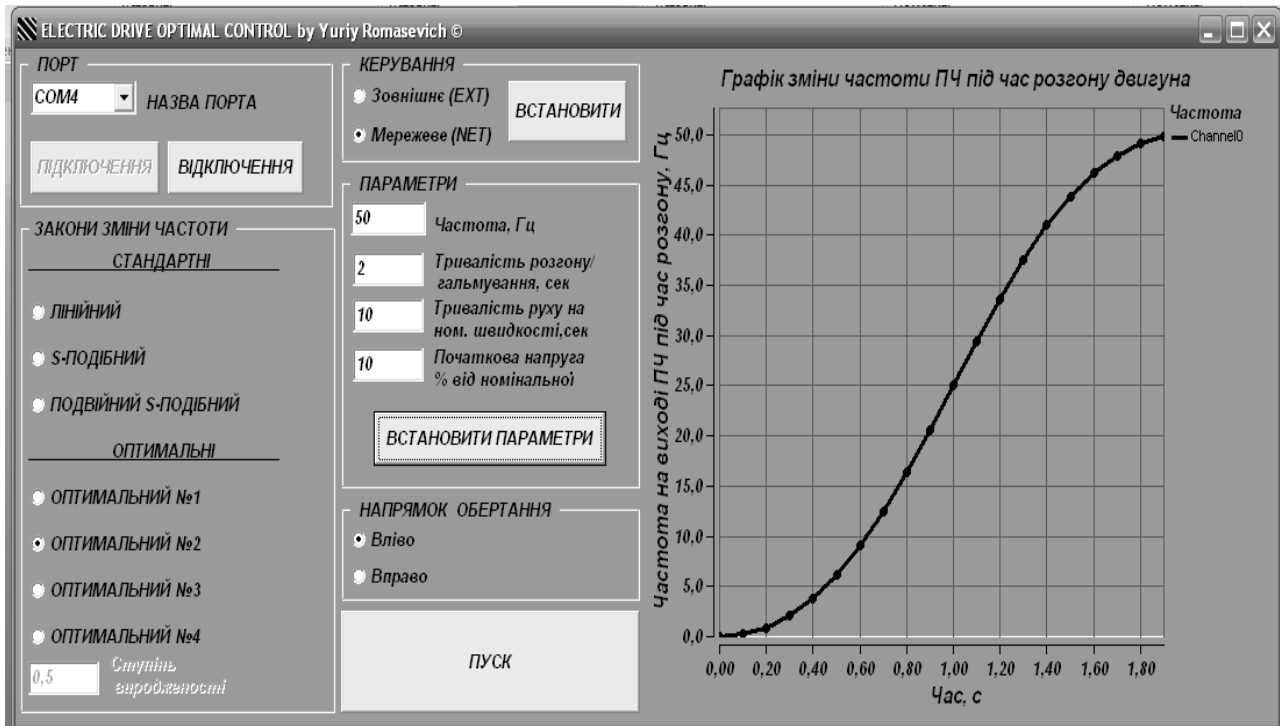
Метою розробки програми є дистанційне комп'ютерне керування частотним перетворювачем, яке дає змогу провести серію лабораторних експериментів та встановити ефективність зовнішнього цифрового керування частотним перетворювачем.

Вікно розробленої програми, яке показано на рис. 2, складається з окремих панелей: „ПОРТ”, „ЗАКОНИ ЗМІНИ ЧАСТОТИ”, „КЕРУВАННЯ”, „ПАРАМЕТРИ”, „НАПРЯМОК ОБЕРТАННЯ” та елемента візуалізації „Графік зміни частоти частотного перетворювача під час розгону двигуна”.

**Піднімально-транспортні машини**

**Рис. 1** – Блок-схема алгоритму використання програмного забезпечення під час проведення експериментальних досліджень

Опишемо роботу програми. Для того, щоб перевести керування частотним перетворювачем в режим керування з мережі (комп'ютерне керування) необхідно вибрати порт комп'ютера, через який буде здійснюватись передача і прийом даних. Після того, як порт вибрано користувач програми натискає кнопку „Підключення”. Перемикання керування у мережеве виконується натисканням кнопки „Встановити” при вибраній позначці „Мережеве (NET)” на панелі „КЕРУВАННЯ”. Ця дія спричиняє передачу на частотний перетворювач пакету даних, які переводять частотний перетворювач у керування з мережі. При цьому на частотному перетворювачі загоряється індикатор режиму керування „NET”.

**Піднімально-транспортні машини**

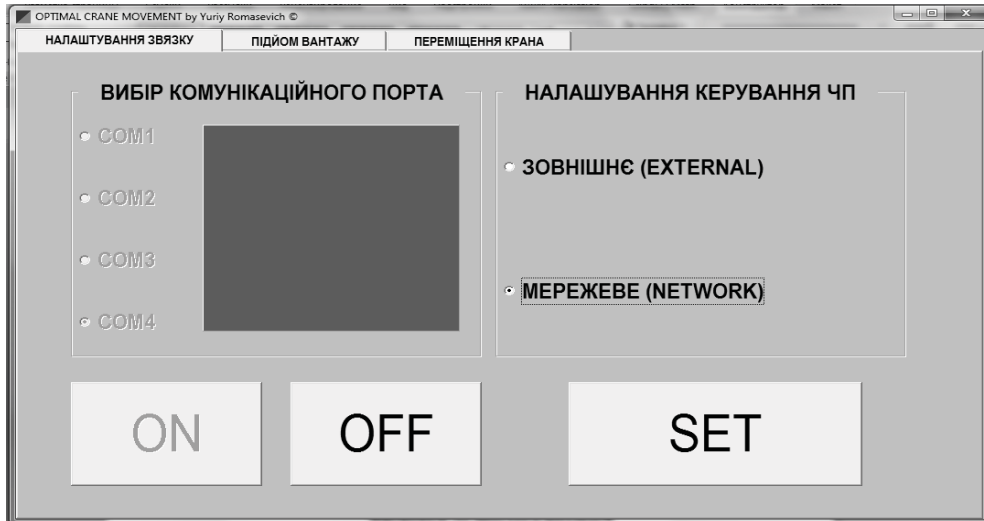
**Рис. 2** – Вікно програми „ELECTRIC DRIVE OPTIMAL CONTROL by Yuriy Romasevich”

Надалі користувач програми вибирає закони зміни частоти напруги живлення двигуна. У програмі можна вибрати стандартні (лінійну, S-подібну та подвійну S-подібну) та оптимальні характеристики розгону/гальмування двигуна. Оптимальні неперервні закони розгону/гальмування двигуна перетворюються у дискретні із кроком дискретизації за часом 0,1 секунд. Між дискретними значеннями частот зміна частоти напруги на виході частотного перетворювача виконується за лінійним законом.

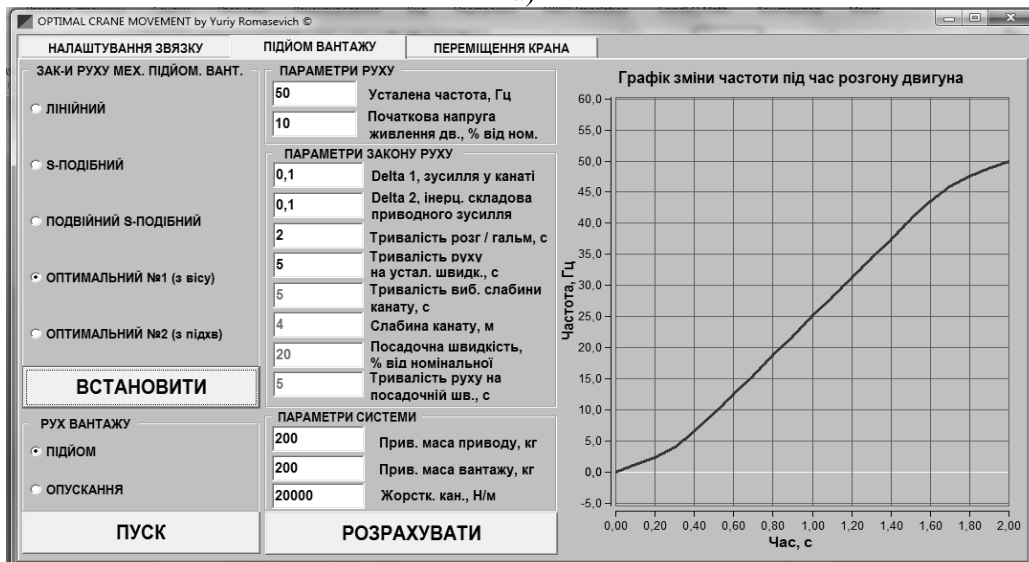
Після цього на панелі „ПАРАМЕТРИ” користувач задає: значення частоти напруги живлення двигуна; тривалості розгону і гальмування; тривалості роботи двигуна при швидкості, яка відповідає заданому значенню частоти; початкову напругу живлення двигуна в процентах від її номінального значення. Задавши всі вказані параметри користувач натискає кнопку „Встановити параметри”, що викликає передачу команд налаштування відповідних параметрів до частотного перетворювача. Після вибору напрямку обертання користувач натискає кнопку „Пуск”, що викликає передачу на частотний перетворювач відповідної команди. При цьому частота напруги живлення двигуна починає змінюватись у відповідності до отриманих дискретних значень частоти. Зміна частоти напруги живлення двигуна викликає зміну швидкості руху його ротора. Після того, як останнє значення частоти із масиву дискретних частот програми буде відпрацьовано частотним перетворювачем з комп’ютера надходить команда зупинки частотного перетворювача (остання команда). Вона викликає зупинку та відключення двигуна від частотного перетворювача.

Для проведення виробничого експерименту було використано програмне забезпечення „OPTAMAL CRANE MOVEMENT by Yuriy Romasevich”. На рис. 3. показано зовнішній вигляд вкладок (вікон) програми.

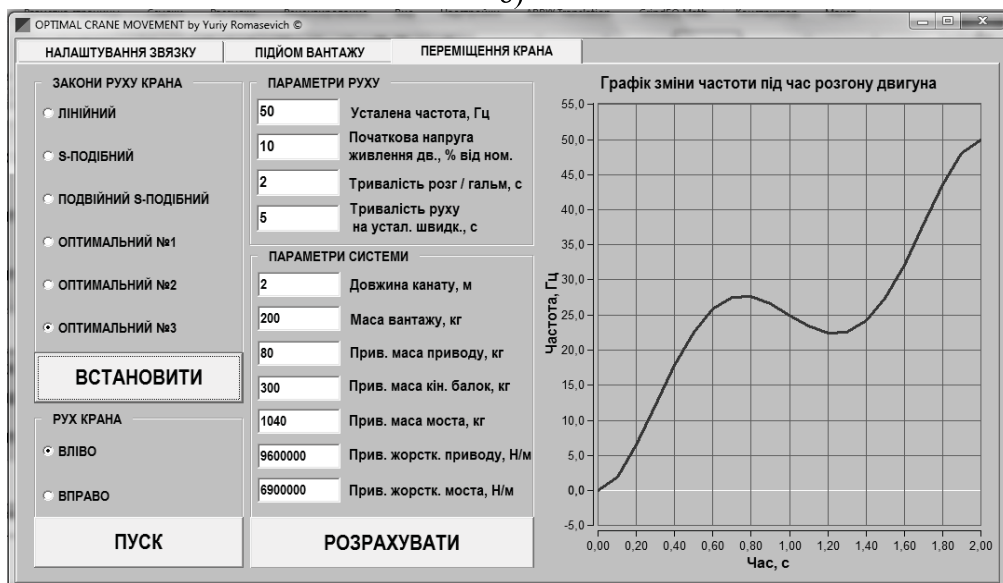


**Піднімально-транспортні машини**

а)



б)



в)

**Рис. 3** – Вкладки розробленої програми „OPTIMAL CRANE MOVEMENT by Yuriy Romasevich”: а) „НАЛАШТУВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ”; б) „ПІДЙОМ ВАНТАЖУ”; в) „ПЕРЕМІЩЕННЯ КРАНА”

## **Піднімально-транспортні машини**

---

У вкладці „НАЛАШТУВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ” користувач вибирає номер комунікаційного порта комп'ютера та виконує переведення керування частотним перетворювачем у режим керування з мережі (від комп'ютера). У вкладках „ПІДЙОМ ВАНТАЖУ” та „ПЕРЕМІЩЕННЯ КРАНА” виконується налаштування режимів руху механізмів переміщення крана та підйому вантажу відповідно.

Програма „OPTAMAL CRANE MOVEMENT by Yuriy Romasevich” дозволяє керувати двома частотними перетворювачами одночасно. Це досягається за рахунок: 1) розпаралелювання потоків відправки команд керування частотним перетворювачем (відправка команд керування частотними перетворювачами відбувається по одному каналу зв'язку); 2) використання повідомлень. Створення двох незалежних один від одного потоків у одній програмі дозволяє значно спростити алгоритм передачі команд на частотні перетворювачі.

При відправці команд керування по одному каналу зв'язку між комп'ютером та частотними перетворювачами використані програмні повідомлення. Наприклад, доступ до ресурсу комунікаційного порта (каналу зв'язку) може бути зайнятий лише одним потоком. Коли ресурс намагається „захопити” інший потік, може виникнути конфлікт, який призведе до зриву процедури керування частотними перетворювачами. Для уникнення таких ситуацій у програмі використані повідомлення. При необхідності відправки команд керування по комунікаційному порту в локальному потоці програми відбувається відправка повідомлення основному потоку програми з певною командою (команда представляється у вигляді рядкової змінної - string). Продовження виконання команд у потоці відбувається лише після того, як оброблювач процедури відправки повідомлення закінчує свою роботу. Це дозволяє уникнути конфліктів.

### **Висновки**

Важливою тенденцією розвитку вантажопідйомної техніки є вдосконалення існуючих та розробка нових програмних продуктів, які дозволяють за існуючої апаратної частини досягти значного підвищення ефективності експлуатації кранів. Використання розробленого програмного забезпечення „ELECTRIC DRIVE OPTIMAL CONTROL by Yuriy Romasevich” та „OPTAMAL CRANE MOVEMENT by Yuriy Romasevich” дозволяє встановити ефективність цифрового керування частотними перетворювачами, які працюють у складі кранового електроприводу (механізми підйому вантажу та переміщення крана). Крім того, вказані програмні продукти дозволяють виконувати рух механізмів за оптимальними законами, що покращує енергетичні та динамічні показники роботи кранового обладнання.

Подальші дослідження у сфері розробки програмного забезпечення для керування рухом механізмів крана полягають у переведенні розроблених програм на мікроконтролерну платформу.

### **Список використаних джерел:**

1. Siemens. Simocrane. Crane Management System (CMS). System manual. Valid for version 4.1. SP1. – 2011. – 224 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fca.automation.siemens.com%2Fdnl\\_iis%2Ftk%2FTkyNDUyMzMA\\_49202657\\_HB%2FCMS\\_System\\_2011-03\\_en\\_en-US.pdf&ei=SiB7VJSIOsv4yQO\\_\\_IL4Cw&usq=AFQjCNH3DRTQ7WBmLobg0JNSrhEUN6Q6wA&bvm=bv.80642063,d.bGQ&cad=rja](https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fca.automation.siemens.com%2Fdnl_iis%2Ftk%2FTkyNDUyMzMA_49202657_HB%2FCMS_System_2011-03_en_en-US.pdf&ei=SiB7VJSIOsv4yQO__IL4Cw&usq=AFQjCNH3DRTQ7WBmLobg0JNSrhEUN6Q6wA&bvm=bv.80642063,d.bGQ&cad=rja)

**Піднімально-транспортні машини**

2. Smart Solution – интеллектуальные функции там, где важнее всего [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.konecranes.com.ua/brochures/SmartSolutions.pdf>.
3. Планировщик работ LICCON для пневмоколесных и гусеничных кранов Liebherr [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.liebherr.com/CMS/downloads/AT\\_LICCON\\_Einsatzplaner\\_ru.pdf](http://www.liebherr.com/CMS/downloads/AT_LICCON_Einsatzplaner_ru.pdf).
4. Anti-sway automation for any crane. SmartCrane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.smartcrane.com/](http://www.smartcrane.com/).
5. Преобразователи частоты FR-D7 [Электронный ресурс]: руководство по эксплуатации: артикул 218004. Версия В. Mitsubishi Electric Industrial Automation. – 2008. – 484 с. – Режим доступа: [http://back.es-electro.ru/res/production/files/FR-D700\\_Manual%20\\_rus.pdf](http://back.es-electro.ru/res/production/files/FR-D700_Manual%20_rus.pdf).

**References**

1. Siemens 2011, *Simocrane. Crane Management System (CMS). System manual. Valid for version 4.1. SP1*, <[https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcache.automation.siemens.com%2Fdnl\\_iis%2FTk%2FTkyNDUyMzMA\\_49202657\\_HB%2FCMS\\_System\\_2011-03\\_en\\_US.pdf&ei=SiB7VJSIOsv4yQO\\_\\_IL4Cw&usg=AFQjCNH3DRTQ7WBmLobg0JNSrhEUN6Q6wA&bvm=bv.80642063,d.bGQ&cad=rja](https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcache.automation.siemens.com%2Fdnl_iis%2FTk%2FTkyNDUyMzMA_49202657_HB%2FCMS_System_2011-03_en_US.pdf&ei=SiB7VJSIOsv4yQO__IL4Cw&usg=AFQjCNH3DRTQ7WBmLobg0JNSrhEUN6Q6wA&bvm=bv.80642063,d.bGQ&cad=rja)>.
2. Konecranes, *Smart Solution – intelektualnye funktsii tam, gde vazhnee vsego*, viewed 2014, <<http://www.konecranes.com.ua/brochures/SmartSolutions.pdf>>.
3. Liebherr 2005, *Planirovshchik rabot LICCON dlya pnevmokolesnykh i gusenichnykh kranov Liebherr*, <[http://www.liebherr.com/CMS/downloads/AT\\_LICCON\\_Einsatzplaner\\_ru.pdf](http://www.liebherr.com/CMS/downloads/AT_LICCON_Einsatzplaner_ru.pdf)>.
4. SmartCrane, LLC, *Anti-sway automation for any crane. SmartCrane*, viewed 2014, <[www.smartcrane.com](http://www.smartcrane.com/)>.
5. Mitsubishi Electric Industrial Automation 2008, *Preobrazovateli chastoty FR-D7: rukovodstvo po ekspluatatsii: artikul 218004. Versiya V*, <[http://back.es-electro.ru/res/production/files/FR-D700\\_Manual%20\\_rus.pdf](http://back.es-electro.ru/res/production/files/FR-D700_Manual%20_rus.pdf)>.

Стаття надійшла до редакції 20 липня 2014 р.