



Мікропроцесорна система керування мостовим краном на базі Arduino

В.В. Свіргун¹, В.П. Свіргун², Р.В. Антощенко³

^{1,3} Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна),
² Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», (м. Харків, Україна)
email: ¹ svirgun997@gmail.com, ² svirgun.v@gmail.com;
³ roman.antoshchenkov@gmail.com; ORCID: ¹ 0000-0002-3024-3252,
² 0000-0001-5413-9428; ³ 0000-0003-0769-7464

В роботі наведено опис та результати випробувань оригінальної мікропроцесорної системи керування макетом мостового крана на базі Arduino. Макет має 3 короткозамкнуті приводи – механізми пересування візка, моста і підйому вантажа. Захватним органом є електромагніт. В якості алгоритму використані оптимальні за швидкодією закони керування для двомасової математичної моделі крану. Дослідження спрямовані на вирішення проблеми усунення коливань вантажу після зупинки крану за найкоротший час з мінімальним перемиканням режимів роботи, а також, точне позиціонування крана. Була розроблена програма, яка дозволяє отримати оптимальні закони керування для будь-якої маятникової системи, наприклад, мостового крану. В програмі враховуються такі параметри крану: маса візка і вантажу, довжина канату, швидкість сталого руху, зусилля статичного опору, рушійне та гальмівне зусилля. На виході програми отримуємо в розгортці за часом такі параметри: пересування та швидкість візка, пересування та швидкість вантажу. Поставлене завдання досягається зміною швидкості точки підвісу (гальмування/розгін) на кінцевому етапі перевантажувального циклу. Відносний фазовий стан системи візок-вантаж може бути будь-який. Це надає можливість не витрачати час на усунення коливань вантажу під час розгону крану, щоб мати нульові фазові координати перед гальмуванням. Встановлено, що для успішного результату треба точно визначити параметри крану. Залишкові коливання вантажу після зупинки крану складають не більше 2 мм, а точність позиціонування крана 1 мм. Кількість перемикань режимів теж мінімальна і дорівнює трьом. Це при тому, що привід крана, що використовувався, не є регульованим. У подальшому можна досягти кращих результатів при використанні регульованого приводу зі зворотнім зв'язком.

Ключові слова: автоматизація підйомного крану, arduino, гасіння коливань вантажу, макет, мостовий кран, мікроконтроллер, автоматичне керування

Вступ. Головною особливістю автоматизації кранів мостового типу є наявність гнучкого підвісу вантажу, внаслідок чого, виникають значні коливання вантажу маятникового типу, які треба усунути для здійснення ефективного перевантажувального процесу. В свій час [1–6] була розроблена теоретична база вирішення оптимізаційної задачі у такій постановці – перемістити візок з підвищеним до нього на гнучкому канаті вантажем на певну відстань за найкоротший час з точним позиціонуванням візка і усуненням коливань вантажу. Ця задача розв'язана для двомасової моделі крану (рис. 1), у якій 4 основні координати: y_1 – переміщення візка; y_2 – швидкість візка; y_3 – переміщення вантажу; y_4 – швидкість вантажу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як тільки виникла потреба автоматизувати навантажувальні процеси кранами мостового типу, стала актуальною задача усунення коливань вантажу і його точного позиціонування. Розроблено доволі багато способів [7, 8] і методик [9, 10] точного позиціонування вантажу. Проаналізувавши всі відомі рішення цієї проблеми можна визначити деякі загальні закономірності. У більшості випадків проблема усунення коливань вантажу здійснюється у 2 етапи: коливання вантажу усуваються під час розгону точки підвісу, а потім під час гальмування.

Це робиться з однією метою – мати нульові фазові координати перед початком гальмування, що значно спрощує вирішення поставленої

задачі. Але такий підхід має принципові недоліки, так не можна досягти головної мети – мінімальної тривалості циклу, що теж саме – максимальної продуктивності крану. Час втрачається саме на усунення коливань вантажу при розгоні, що не вимагає технологія і, до речі, досвідчений кранівник ніколи не гає час на усунення коливань вантажу при розгоні, а розганяє візок з максимальним прискоренням, та з коливаннями бореться на заключному етапі, спираючись на свій досвід.

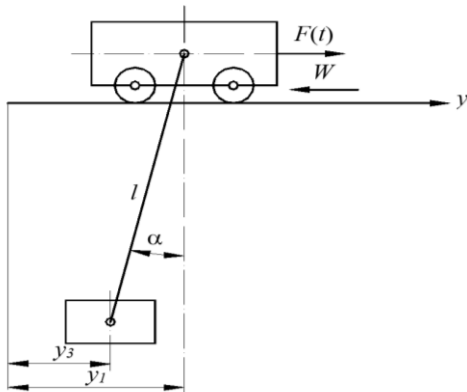


Рис. 1. Динамічна модель руху візка з вантажем на гнучкому підвісі

Другий підхід у вирішенні проблеми розгойдування вантажу полягає у застосуванні сучасних технічних засобів без будь-якої математичної моделі. Наприклад, кран оснащується системою точних датчиків, які дозволяють у реальному часі встановлювати положення вантажу відносно візка та їх швидкості і по класичній схемі додатного зворотного зв'язку робиться декілька ітерацій рухом візка в зоні зупинки. Тобто куди рухається вантаж, туди має рухатися візок і з часом коливання вантажу зникають. Такий підхід теж далекий від оптимального за швидкістю і робить систему керування складною і дорогою. Тому досі залишається актуальною ця проблема.

Мета роботи. Зменшити коливання вантажу при транспортуванні з використанням оптимальних за швидкістю законів застосування платформи Arduino та оптимальних законів керування.

Результати досліджень. По-перше, необхідно усунути коливання вантажу при розгоні, як непотрібний етап і не гаємо на це жодної секунди. Розгін візка здійснюється з максимально можливим прискоренням. Звісно, це провокує виникнення коливань вантажу, вони зберігаються на етапі сталого ходу і тільки на етапі гальмування ми їх усуваємо їх у найкоротший час за мінімальну кількість перемикання управління. Для практичної реалізації цих алгоритмів використовується мікропроцесорна техніка і сучасна елементна база. В якості об'єкта дослідження використовується макет мостового крану (рис. 2), який

доволі точно відображає роботу натурального крану. Мікропроцесорна система керування побудована на мікроконтролері AtMega, який має достатню кількість входів/виходів, легко програмується на C++ та доволі недорогий.

Макет був оснащений системою датчиків дискретно типу (рис. 3, 4), яка включає в себе: датчики положення моста, датчики положення візка, датчики довжини канату.

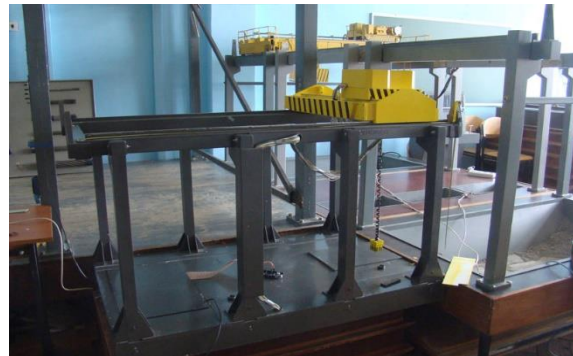


Рис. 2. Макет мостового крану

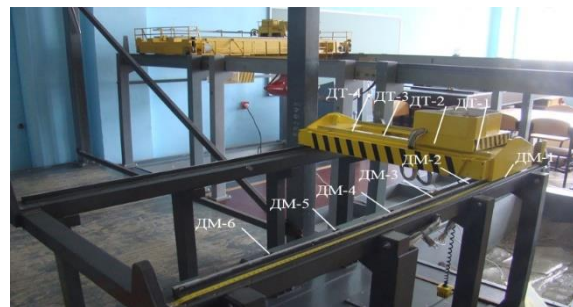


Рис. 3. Датчики моста та візка

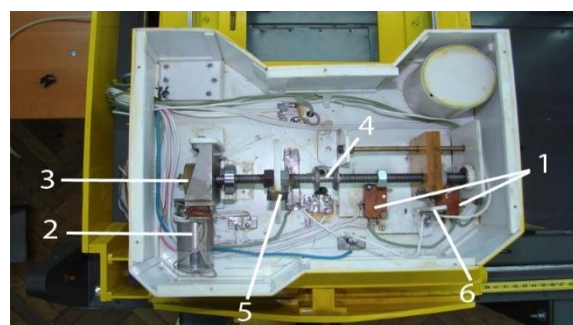


Рис. 4. Привід механізму підйому з датчиками
 1 – кінцеві датчики; 2 – електродвигун з шестернею на вихідному валу; 3 – зубчасте колесо; 4 – барабан; 5 – імпульсний датчик; 6 – реперний датчик

Мікроконтролер підключений до механізмів пересування моста і візка за релейною схемою (рис. 5). На другому етапі необхідно розрахувати для цього макету оптимальні за швидкістю

закони керування рухом точки підвісу. Використовуючи класичні закони механіки і нескладні вимірювання були визначені основні параметри макету, а саме: маса крану і візка, швидкість сталого руху, довжина канату, зусилля статичного опору, рушійне та гальмівне зусилля. Слід зауважити, що ці параметри мають бути визначені точно, інакше погрішність у вимірювання може призвести у кінцевому результаті до появи залишкових коливань вантажу після зупинки крану і помилок у позиціонуванні. Це пояснюється тим, що перехідні процеси макету доволі динамічні, наприклад, розгін візка триває всього 0,16 с.

Ці дані були використані для розрахунку оптимальних законів керування для конкретного макету. Потім була написана програма керування для мікроконтролера, реалізація якої дозволила перейти повністю в автоматичний режим роботи.

Перехідні процеси, які були отримані під час експерименту (рис. 6), дозволяють зробити висновок про ефективність запропонованого методу. Залишкові коливання вантажу після зупинки крану, складають не більше 2 мм, а точність позиціонування – не більше 1 мм. Досягнута головна мета – тривалість перевантажувального циклу мінімальна із можливих. Кількість перемикачів приводу всього два.

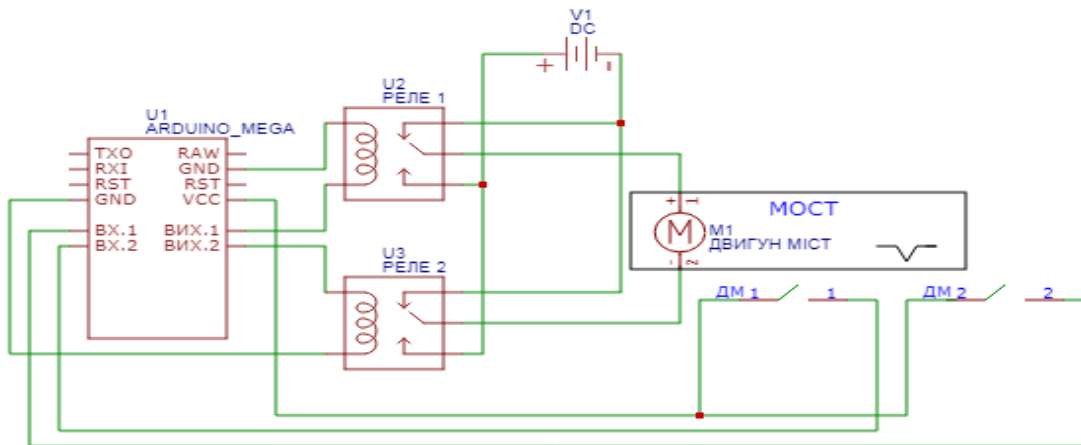


Рис. 5 Принципова електрична схема підключення мікроконтролера до макету мостового крана

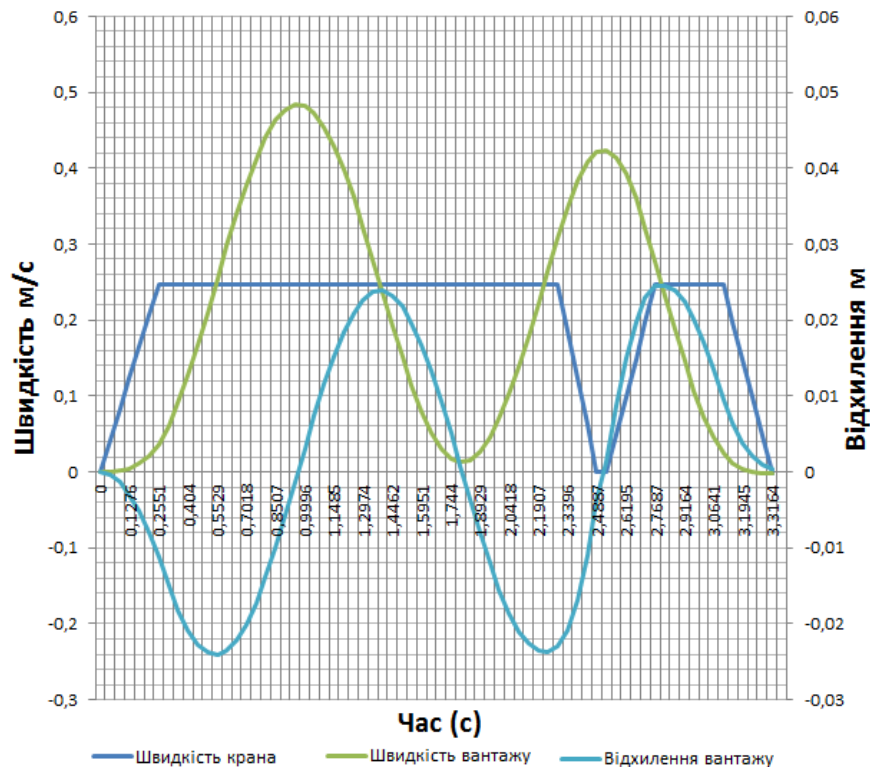


Рис. 6 Перехідні процеси пересування моста за оптимальним законом керування

Але можливе подальше удосконалення розробленої мікропроцесорної системи. Наприклад, здається перспективним побудову системи не по релейній схемі, а по принципу слідкуючою за швидкістю краном схемою, коли через малу дискрету часу йде опитування датчика швидкості i , навіть, при незначному відхиленні реальної швидкості крану від теоретичного, йде коригуюча команда від мікроконтролера на привід у реальному часі. Така система керування буде більш стійкою до можливих перешкод, наприклад, перекіс коліс, коливання напруги у електричній мережі тобто.

Висновки.

1. Створено оригінальну мікропроцесорну систему керування макетом мостового крана на базі Arduino та проведені її експериментальні дослідження. Реалізовані на практиці оптимальні за швидкодією закони керування, які передбачають усунення коливань вантажу після зупинки крана та точне його позиціонування за найкоротший час і з мінімальною кількістю перемикачів режимів управління.

2. Перехідні процесів, які були отримані під час експериментальних досліджень, дозволяють зробити висновок про ефективність запропонованого методу. Залишкові коливання вантажу після зупинки крана, складають не більше 2 мм, а точність позиціонування – не більше 1 мм. Досягнута головна мета – тривалість перевантажувального циклу мінімальна із можливих. Кількість перемикачів приводу всього два.

Література

1 Сvirгун В.П. Разработка оптимальных законов управления мостовым грейферным краном и применение микропроцессорной системы для их реализации: автореф дисс. на соиск. степ. канд техн. наук: спец. 05.05. 05 „Подъемно-транспортные машины”, 1989.

2 Optimale Steuerung für Hebe- und Fördermaschinen : навч. посіб. / О. Grigorow, W. Swirgun, G. Anishchenko u.a. – Х. : НТУ "ХПІ", 2013. – 240 с. – Нім. Мовою

3 Сvirгун В.П., Сvirгун О.А. Улучшение качества управления краном с минимизацией времени перегрузочного цикла // Вісник СевНТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь: СевНТУ, 2012. — Вип. 133. — С. 34–36.

4 Сvirгун В.П., Сvirгун О.А. Квазиоптимальный закон управления крановой тележкой // Вісник СевНТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь: СевНТУ, 2012. — Вип. 137. — С. 96-98.

5 Сvirгун В.П., Сvirгун О.А. Квазиоптимальный закон управления крановой тележкой // Вісник СевНТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — Севастополь: СевНТУ, 2013. — Вип. 137. — С. 96-98.

6 Сvirгун В. П., Сvirгун В. В. Реалізація оптимальних законів керування макетом мостового

крану на сучасній елементній базі. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація", 8 грудня, 2020 р. Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 80-81.

7 Ромасевич Ю.О. Оптимізація перехідних режимів руху вантажного візка прольотних кранів: Дисертація на здобуття наукового ступеня к. т. н. Київ-2010, 199с.

8. Ловеїкін В.С. Динамічна оптимізація підйомних машин / В.С. Ловеїкін, А.П. Нестеров. - Х.: ХНАДУ, 2002. - 291 с.

9. Кравцов М.В. Современные системы управления крановыми приводами Konecranes / М.В. Кравцов // Подъемные сооружения. Специальная техника. - 2006. - №6. - С. 16-18.

10. Лимонов Л.Г. Электроприводы и автоматизация промышленных кранов / Л.Г. Лимонов, В.П. Моргулис, Н.А. Нетеса // Подъемные сооружения. Специальная техника. - 2008 №3(79). - С. 18-20.

References:

1. Svirgun, V.P., 1989. Razrabotka optimalnykh zakonov upravleniya mostovym greyfernym kranom i primeneniye mikroprotsessornoy sistemy dlya ikh realizatsii. kandidat tekhnicheskikh nauk. NTU "KhPI.."

2. Grigorow, O., Swirgun, W. and Anishchenko, G., 2013. Optimale Steuerung für Hebe- und Fördermaschinen. NTU "KhPI", p.240.

3. Svirgun, V.P. and Svirgun, O.A., 2013. Uluchsheniye kachestva upravleniya kranom s minimizatsiyei vremeni peregruzochnogo tsikla. Visnik SevNTU, (133), pp.34-36.

4. Svirgun, V.P. and Svirgun, O.A., 2012. Uluchsheniye kachestva upravleniya kranom s minimizatsiyei vremeni peregruzochnogo tsikla. Visnik SevNTU, (133), pp.34-36.

5. Svirgun, V.P. and Svirgun, O.A., 2012. Kvazioptimalnyy zakon upravleniya kranovoy telezhkoy. // Visnik SevNTU. Ser. Mekhanika, energetika, ekologiya: Zbirnyk naukovykh robit, (137), pp.96-98.

6. Svirghun, V.P. and Svirghun, V.V., 2020. Realizatsiya optymalnykh zakoniv keruvannja maketom mostovogho kranu na suchasnij elementnij bazi. Mizhnarodnoji naukovo-praktychnoji konferenciji "Avtomobilijnyj transport v aghrarnomu sektori: proektuvannja, dyzajn ta tekhnologichna ekspluatatsija", pp.80-81.

7. Romasevych, J.O., 2010. Optymizatsija perekhidnykh rezhymiv rukhu vantaznogho vizka proljotnykh kraniv. kandidat tekhnichnykh nauk. KhNADU.

8. Lovejkin, B.C and Nesterov, A.P., 2002. Dynamichna optymizatsija pidjomnykh mashyn. KhNADU, p.291.

9. Kravtsov, M.V., 2006. Sovremennye sistemy upravleniya kranovymi privodami Konecranes. Podemnye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika., (9), pp.16-18.

10. Limonov, L.G., Morgulis, V.P. and Netesa, H.A., 2008. Elektroprivody i avtomatizatsiya promyshlennykh kranov. Podemnye sooruzheniya. Spetsialnaya tekhnika, 79(3), pp.18-20.

Аннотация

**Микропроцессорная система управления
мостовым краном на базе Arduino**

В.В. Свіргун, В.П. Свіргун, Р.В. Антощенко

В работе представлены описания и результаты испытаний оригинальной микропро-цессорной системы управления макетом мостового крана на базе Arduino. Макет имеет 3 короткозамкнутых привода – механизмы передвижения тележки, моста и подъема груза. Захватным органом является электромагнит. В качестве алгоритма использованы оптимальные по быстродействию законы управления для двухмассовой математической модели крана. Исследования направлены на решение проблемы устранения колебаний груза после остановки крана в кратчайшие сроки с минимальным переключением режимов работы, а также, точное позиционирование крана. Была разработана программа, позволяющая получить оптимальные законы управления для любой маятниковой системы, например мостового крана. В программе учитываются следующие параметры крана: масса тележки и груза, длина каната, скорость устойчивого движения, усилие статического сопротивления, движущее и тормозное усилие. На выходе программы получаем в развертке по времени следующие параметры: передвижение и скорость тележки, передвижение и скорость груза. Поставленная задача достигается изменением скорости точки подвеса (торможение/разгон) на конечном этапе перегрузочного цикла. Относительное фазовое состояние системы теле-жка-груз может быть любое. Это позволяет не тратить время на устранение колебаний груза при разгоне крана, чтобы иметь нулевые фазовые координаты перед торможением. Установлено, что для удачного результата нужно точно найти характеристики крана. Остаточные колебания груза после остановки крана составляют не более 2 мм, точность позиционирования крана 1 мм. Количество переключений режимов тоже минимально и равно трем. Это при том, что привод крана, который использовался, не регулируется. В дальнейшем можно добиться лучших результатов при использовании регулируемого привода с обратной связью.

Ключевые слова: автоматизация подъемного крана, arduino, гашение колебаний груза, макет, мостовой кран, микроконтроллер, автоматическое управление.

Abstract

Arduino-based microprocessor bridge crane control system

V.V. Svirghun, V.P. Svirghun, R.V. Antoshhenkov

The paper describes and tests the results of the original microprocessor control system of the bridge crane layout based on Arduino. The model has 3 short-circuited drives - mechanisms for moving the cart, bridge and lifting loads. The gripping body is an electromagnet. The optimal control laws for the two-mass mathematical model of the crane are used as an algorithm. Research is aimed at solving the problem of eliminating load oscillations after stopping the crane in the shortest time with minimal switching modes, as well as accurate positioning of the crane. A program has been developed that allows to obtain optimal control laws for any pendulum system, such as a bridge crane. The program takes into account the following parameters of the crane: the weight of the truck and the load, the length of the rope, the speed of constant movement, the force of static resistance, driving and braking force. At the output of the program we get the following parameters in the time scan: movement and speed of the cart, movement and speed of the load. This task is achieved by changing the speed of the suspension point (braking / acceleration) at the final stage of the overload cycle. The relative phase state of the truck-cargo system can be any. This makes it possible not to waste time on eliminating load oscillations during crane acceleration in order to have zero phase coordinates before braking. It is established that for a successful result it is necessary to accurately determine the parameters of the crane. Residual oscillations of the load after stopping the crane are not more than 2 mm, and the positioning accuracy of the crane is 1 mm. The number of mode switches is also minimal and equal to three. This is despite the fact that the drive of the used tap is not adjustable. In the future, you can achieve better results when using an adjustable feedback drive.

Keywords: crane automation, arduino, stopping load swing, layout, overhead crane, microcontroller, automatic control

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Svirghun, V. V., Svirghun, V. P. and Antoshhenkov, R. V. (2022) 'Arduino-based microprocessor bridge crane control system', *Engineering of nature management*, (1(23)), pp. 87 - 91.

Подано до редакції / Received: 09.09.2021