

УДК 62 – 83:621.313.333

Р. П. Герасимьяк, д-р техн. наук,
Д. О. Махортова,
С. П. Савич, канд. техн. наук

ОПТИМАЛЬНОЕ КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КРАНУ З ПІДВІШЕНИМ ВАНТАЖЕМ ПРИ ЗАДАНОМУ ЗНАЧЕННІ ШЛЯХУ

Анотація. Досліджується специфічне керування електроприводом механізму горизонтального переміщення крану з підвішеним вантажем за умови забезпечення щонайбільшої швидкодії та гасіння коливань підвішеного вантажу наприкінці перехідного процесу. Пропонується новий метод оптимального керування, якщо задається необхідний шлях проходження візка.

Ключові слова: значення шляху, перехідний процес, переміщення крану, керування, механізм, чотири етапи

R. P. Gerasymiak, ScD.,
D. O. Makhortova,
S. P. Savich, PhD.

OPTIMAL CONTROL OF CRANE MOVEMENT MECHANISM WITH SUSPENDED LOAD WHEN THE VALUE OF WAY IS GIVEN

Abstract. Specific control of electric drive of crane horizontal movement mechanism with suspended load for high processing speed guaranteeing and for damping of the suspended load oscillations is researched. The new method of optimal control is suggested when the necessary value of way is given.

Keywords: value of way, transient process, crane movement, control, mechanism, four steps

Р. П. Герасимьяк, д-р техн. наук,
Д. О. Махортова,
С. П. Савич, канд. техн. наук

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОМ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА С ПОДВЕШЕННЫМ ГРУЗОМ ПРИ ЗАДАНОМ ЗНАЧЕНИИ ПУТИ

Аннотация. Исследуется специфическое управление электроприводом механизма горизонтального передвижения крана с подвешенным грузом при условии обеспечения максимального быстродействия и гашения колебаний подвешенного груза в конце переходного процесса. Предлагается новый метод оптимального управления, если задается необходимый путь прохождения тележки.

Ключевые слова: значение пути, переходной процесс, перемещение крана, управление, механизм, четыре этапа

Вступ. Як відомо, кранове обладнання є дуже важливим при виконанні різноманітних монтажних операцій, при підйомі та пересуванні вантажу у цехах, портах, на складах та будівельних майданчиках, тобто відіграє важливу роль у підйомно-транспортних та інших операціях. Завданням гасіння коливань підвішеного вантажу крану, які виникають при пуску і гальмуванні механізмів переміщення і повороту, займалося багато учених. Вже були досягнуті умови забезпечення мінімуму часу перехідних процесів при обмеженні розгойдування вантажу [2, 7, 8,]. Було показано, що для розгону до заданої швидкості або гальмування необхідно забезпечити постійний момент на трьох етапах зі зміною його знаку. Розраховано час цих етапів. Показано, що наприкінці перехідних процесів кут відхилення линви з підвішеним вантажем від вертикалі, а також похідна цього кута мають дорівнювати нулю (рис. 1, 2).

Метою даної роботи є розробка методики керування електроприводом для демпфування підвішеного вантажу, якщо необхідно забезпечити заданий шлях проходження візка.

© Герасимьяк Р.П., Махортова Д.О.,
Савич С.П., 2014

Матеріали дослідження. Попередньо був виконаний розрахунок з трьома етапами, тобто наприкінці перехідного процесу кут відхилення ниті з вантажем від вертикалі та швидкість дорівнюють нулю, а шлях досягає заданого значення. Але не була задана умова, що похідна кута відхилення ниті з вантажем від вертикалі наприкінці перехідного процесу також має дорівнювати нулю. Результат зображено на рис. 3.

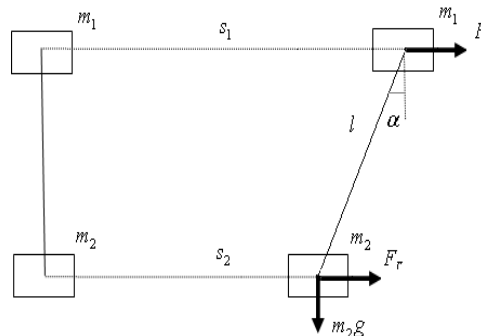


Рис. 1. Розрахункова схема механізму горизонтального переміщення

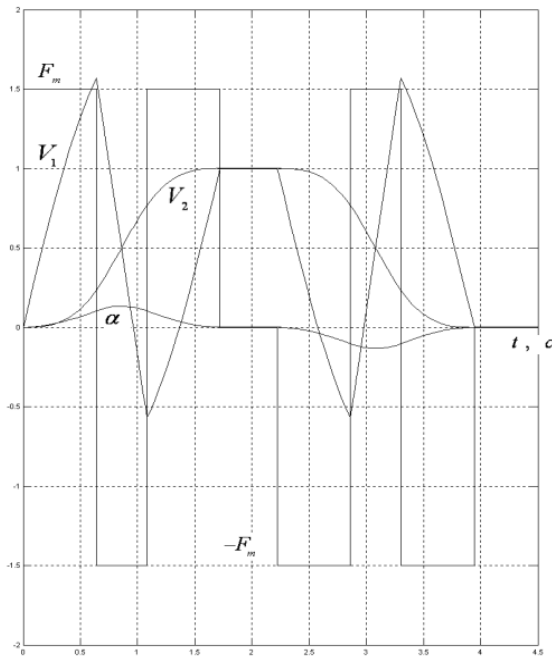


Рис. 2. Графік оптимального перехідного процесу пуску та гальмування механізму горизонтального переміщення

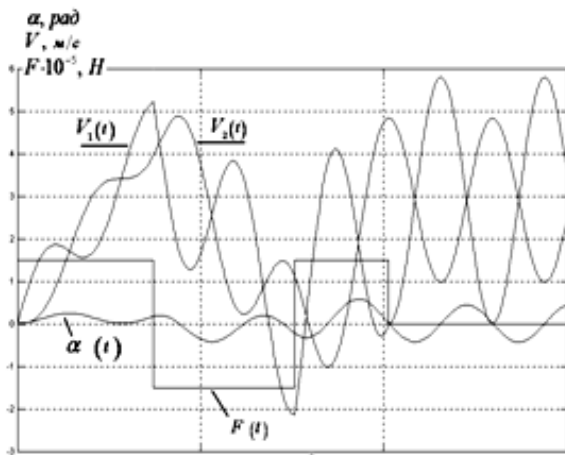


Рис. 3. Графік перехідного процесу переміщення візка за умови забезпечення заданого шляху у три етапи

З рис. 3 видно, що рівність похідної кута відхилення ниті з вантажем від вертикалі також є необхідною умовою, адже без неї не досягається бажаний результат. Саме тому, що в кінці процесу переміщення необхідно задовольнити чотири умови, записуємо виведені раніше вирази [2] чотирьох величин для чотирьох етапів:

$$\alpha(t) = \frac{F_m}{mg}(1 - \cos \Omega t) + \alpha_H \cos \Omega t + \frac{\alpha'_H}{\Omega} \sin \Omega t$$

$$\alpha'(t) = \alpha'_H \cos \Omega t - \Omega \left(\alpha_H - \frac{F_m}{mg} \right) \sin \Omega t$$

$$V_1(t) = V_{1H} + \frac{F_m}{m} t + \frac{m_2}{m_1 \Omega} \left(\frac{F_m}{m} - \alpha_H g \right) \sin \Omega t - \alpha'_H \frac{l}{\gamma_2} (1 - \cos \Omega t)$$

$$S(t) = \int V_1(t) dt = S_{1H} + V_{1H} \cdot t + \frac{F_m}{2m} \cdot t^2 + \frac{m_2}{m_1 \Omega^2} \left(\frac{F_m}{m} - \alpha_H g \right) \cdot (1 - \cos \Omega t) - \alpha'_H \frac{l m^2}{m} \left(t - \frac{1}{\Omega} \sin \Omega t \right)$$

Тепер запишемо ці загальні вирази на кінець четвертого етапу для кута відхилення (1), його похідної (2), швидкості (3) та шляху (4).

$$\alpha(t_4) = -\frac{F_m}{mg}(1 - \cos \Omega t_4) + \alpha(t_3) \cdot \cos \Omega t_4 + \frac{\alpha'(t_3)}{\Omega} \cdot \sin \Omega t_4 = 0 \quad (1)$$

$$\alpha'(t_4) = \Omega \left(\frac{-F_m}{mg} - \alpha(t_3) \right) \cdot \sin \Omega t_4 + \alpha'(t_3) \cdot \cos \Omega t_4 = 0 \quad (2)$$

$$V_1(t_4) = V_1(t_3) - \alpha'(t_3) \frac{l}{\gamma_2} (1 - \cos \Omega t_4) + \frac{m_2}{m_1 \Omega} \left(\frac{-F_m}{m} - g \alpha(t_3) \right) \cdot \sin \Omega t_4 - \frac{F_m}{m} t_4 = 0 \quad (3)$$

$$S(t_4) = S_1(t_3) + V_1(t_3) \cdot t_4 - \frac{F_m}{2m} t_4^2 + \frac{m_2}{m_1 \Omega^2} \left(\frac{F_m}{m} - \alpha(t_3) \cdot g \right) \cdot (1 - \cos \Omega t_4) - \alpha'(t_3) \frac{l m^2}{m} \left(t_4 - \frac{1}{\Omega} \sin \Omega t_4 \right) = S_{зад} \quad (4)$$

З виразів (2), (3), (4) виводимо формулу

$$\frac{S_{зад} m}{F_m} = (t_1 + t_3)^2 - 2t_2 t_3, \quad (5)$$

з якої визначаємо час трьох етапів, а з виразу, отриманого з рівнянь (2) та (3) системи, знаходимо час четвертого етапу $t_4 = t_1 - t_2 + t_3$. Далі перевіряємо, чи досягається за знайдений час задане значення шляху, швидкості, кута відхилення ниті з вантажем від вертикалі та його похідної за виразами (1) – (4).

За таким алгоритмом було розраховано час чотирьох етапів для досягнення заданого значення шляху. Графіки перехідного процесу переміщення візка показані на рис. 4.

Отримані графіки ілюструють оптимальний за швидкістю для заданих мас візка та вантажу, а також довжини линви перехідний процес механізму переміщення у чотири етапи, що враховує підвищений на гнучкій линві вантаж та забезпечує його повне заспокоєння наприкінці цього процесу, а також забезпечує досягнення заданого значення шляху візка.

З виразу (5) бачимо, що залишаючи незмінним час етапів, є можливість задавати різне значення шляху візка або змінюючи масу, або пропорційно змінюючи значення діючої сили (моменту).

Для прикладу збільшимо значення пройденого шляху до 30 м. З виразу (5) очевидно, що для цього необхідно збільшити також значення сили у 1,5 рази. Отримані графіки перехідного процесу зображені на рис. 5.

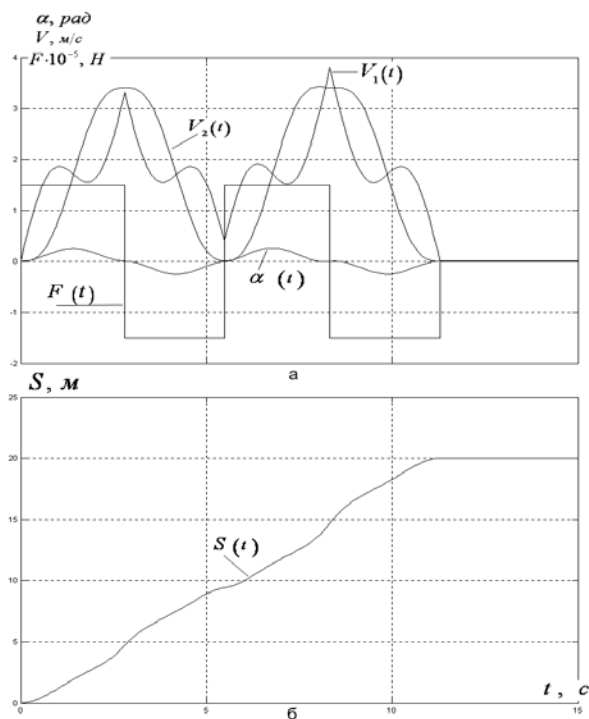


Рис. 4. Графік перехідного процесу переміщення візка за умови забезпечення заданого шляху у чотири етапи

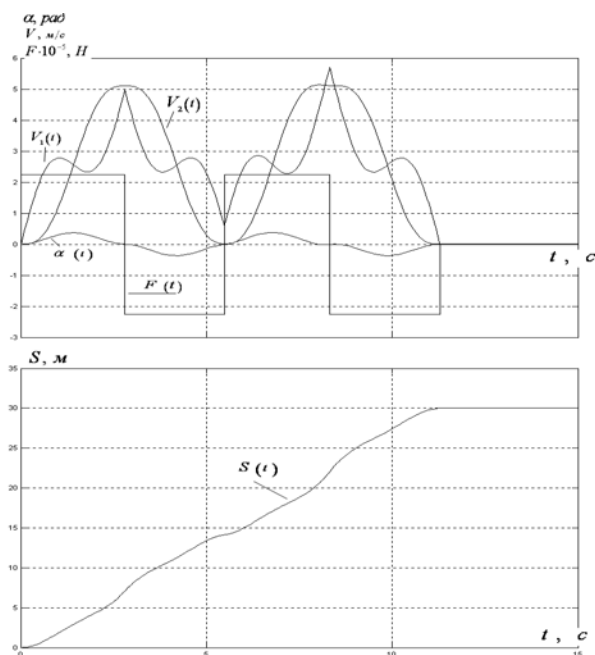


Рис. 5. Графік перехідного процесу переміщення візка при $S_{зад} = 30 \text{ м}$

На рис. 6 зображені графіки перехідного процесу із збільшенням часу етапів у два рази. Видно, що як і очікувалось, при збільшенні часу етапів у два рази пройдений шлях збільшився до 80 м, тобто у чотири рази, а максимальне значення швидкості збільшилось у два рази.

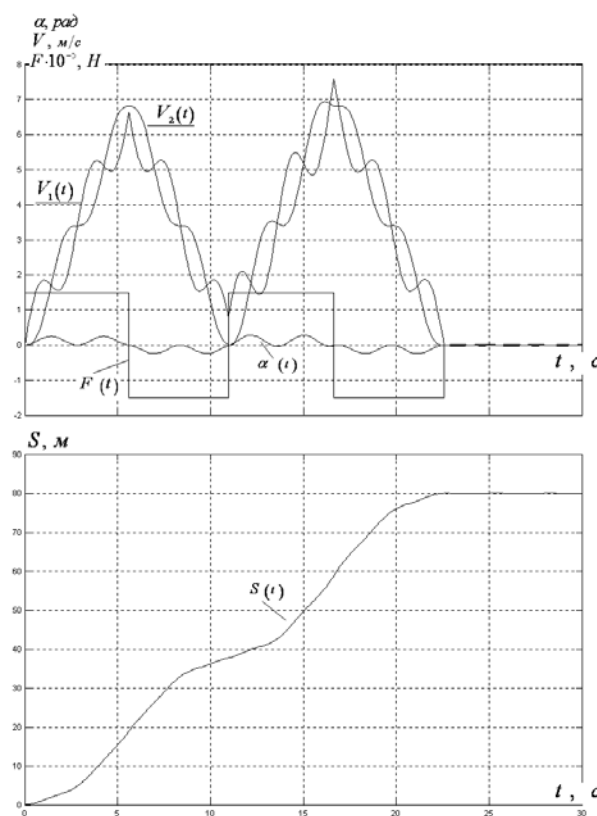


Рис. 6. Графік перехідного процесу переміщення візка при збільшенні часу етапів у два рази

ВИСНОВКИ

У ході роботи було запропоновано метод оптимального керування механізмом переміщення візка крану при заданому значенні шляху за умови забезпечення щонайбільшої швидкості та гасіння коливань підвищеного вантажу наприкінці перехідного процесу. У всіх випадках максимальне значення кута відхилення ниті з підвішеним вантажем від вертикалі у перехідних процесах не перевищує 0,4 рад (23 градуси).

Список використаної літератури

1. Булгар В. В. Теорія електроприводу; збірник задач / В. В. Булгар. – Одеса : ОНПУ, Поліграф, 2006. – 408 с.
2. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещев. – Одесса : СМІЛ, 2008. – 192 с .
3. Герасимьяк Р. П. Динамічні режими електроприводу кранового механізму обертання при одночасній роботі механізму підйому/ Р. П. Герасимьяк, Д. О. Махортова // Електротехнічні та комп'ютерні системи – К. : Техніка. – 2011. – № 03(79).
4. Драчев Г. И. Теория электропривода/ Г. И. Драчев; учебное пособие, 2 ч. – Челябинск : Изд – во ЮУрГУ, 2006. – 193 с.
5. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7 / В. П. Дьяконов // Самоучитель – ДНК-Пресс, 2008. – 784 с.
6. Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев– М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

7. Масандилов Л. Б. Электропривод подъёмных кранов / Л. Б. Масандилов. – М. : Изд-во МЭИ, 1998. – 72 с.

8. Толочко О. І. Вплив неточного визначення довжини канату на ефективність гасіння коливань вантажу / О. І. Толочко, Д. В. Бажутін // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03(79). – С. 175 – 177.

9. Chee Mun Ong, (1998), *Dynamic Simulation of Electric Machinery*, Upper Saddle River, New Jersey, PRENTICE HALL, PTR, 626 p.

10. Jorg Paschedag, (2005), Einführung in Simulink, *Lehrstuhl für Regelungstechnik, TU Munchen*, – 13 p.

11. Heinz Unbehauen. Regelungstechnik I. Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese Linearer Kontinuierlicher Regelsysteme *Fuzzy-Regelsysteme*. – 20 p.

12. Kurt Reinschke, (2005), *Lineare Regelungs- und Steuerungstheorie*, Dresden, Springer, 450 p.

Отримано 26.06.2014

References

1. Bulgar V.V. *Theoria elektroprivodu* [The Theory of Electric Drive], (2006), Odessa, Ukraine, *ONPU, Polygraf*, 408 p. (In Ukrainian).

2. Gerasymyak R.P., and Leshev V.A. *Analiz i syntes kranovih elektromekhanicheskikh system* [The Analysis and Synthesis of Crane Electromechanic Systems], (2008), Odessa, Ukraine, *SMIL*, 192 p. (In Russian).

3. Gerasymyak R.P., and Makhortova D.O. *Dynamichni regymi elektroprivodu kranovogo mehanizmu obertannya pri odnochasnii roboti mehanizmu pididomu* [Dynamic Modes of Electric Drive of Crane Rotating Mechanism when Hoisting Mechanism works at the Same time], (2011), *Electrotechnic and Computer Systems*, Kiev, Ukraine, *Technika*, No. 03(79) (In Ukrainian).

4. Drachev G.I., (2006), *Theoria elektroprivoda* [The Theory of Electric Drive], tutorial, 2nd part, Cheliabinsk, Russian Federation, *UUrGU*, 193 p. (In Russian).

5. Dyakonov V.P. *Simulink 5/6/7. Samouchitel* – DNK-Press, 2008. – 784 p. (In Russian).

6. Kluchev V. I. *Theoria elektroprivoda* [The Theorie of Electric Drive], (1985), *Energoatomizdat*, 560 p. (In Russian).

7. Masandilov L.B. *Elektroprivod podiomnuh kranov* [Electric Drive of Crane], (1998), *MEI*, 72 p. (In Russian).

8. Tolochko O.I., and Bazhutin D.V. *Vpliv netochnogo isnachennia dovgini kanatu na effektivnist gasinnia kolivann vanagu* [Inaccurate Cable Length Estimation Influence on Load Swing Damping], (2011), *Electrotechnical and Computer Systems*, No. 03(79), pp. 175 – 177.

9. Chee Mun Ong. *Dynamic Simulation of Electric Machinery*, (1998), Upper Saddle River, New Jersey, *PRENTICE HALL, PTR*, 626 p. (in English).

10. Jorg Paschedag. Einführung in Simulink, *Lehrstuhl für Regelungstechnik*, (2005), *TU Munchen*, 13 p. (in Germany).

11. Heinz Unbehauen. *Regelungstechnik I. Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese Linearer Kontinuierlicher Regelsysteme*, *Fuzzy-Regelsysteme*, 20 p. (In Germany).

12. Kurt Reinschke, (2005), *Lineare Regelungs- und Steuerungstheorie*, Dresden, *Springer*, 450 p. (In Germany).



Герасимьяк
Ростислав Павлович, д-р техн.
наук, проф. каф.
електромеханічних систем з
комп'ютерним управлінням
Одеського нац. політехн. ун-ту,
пр. Шевченка 1
тел. 048-7-348-467
E-mail: rgerasymyak@gmail.com



Махортова
Дар'я Олегівна, аспірант каф.
електромеханічних систем з
комп'ютерним управлінням
Одеського нац. політехн. ун-ту,
пр. Шевченка 1
E-mail: macdacha@rambler.ru



Савич
Світлана Павлівна, канд. техн.
наук, ст. викладач каф. елект-
ропостачання та енергомендж-
менту Одеського нац. політехн.
ун-ту.
Тел.: 38 (067)4834606
E-mail: savichsp@gmail.com