

УДК 62 – 83:621.313.333

Д. О. Махортова

### ВПЛИВ ДОВЖИНИ ЛИНВИ НА ТРИВАЛІСТЬ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЗМІВ ПОВОРОТУ ПРИ ОБМЕЖЕННІ РОЗГОЙДУВАННЯ ВАНТАЖУ

*Досліджується специфічне керування електроприводом механізму обертання за умови забезпечення щонайбільшої швидкодії та одночасно гасіння коливань підвішеного вантажу. Розглядається та аналізується залежність часу перехідного процесу механізму обертання від зміни довжини линви підвішеного вантажу, надаються рекомендації щодо вибору довжини линви для мінімального часу і керування в один етап.*

**Ключові слова:** двомасова обертальна механічна частина, час перехідного процесу, довжина линви, механізм обертання, відносна похибка середнього значення швидкості обертання платформи, керування в три етапи, керування в один етап, діапазон відхилення, частота власних коливань, фіктивний час

D. O. Makhortova

### INFLUENCE OF THE CABLE LENGTH ON THE TRANSIENT PROCESS TIME OF THE ROTATING MECHANISMS WHEN LIMITING THE LOAD BOUNCING

*Specific control of electric drive of rotating mechanism for high processing speed guaranteeing and for damping of the suspended load oscillations is researched. Dependence of rotating mechanism's transient process time on cable length is considered and analyzed, recommendations according to the choice of cable length of suspended load for the minimal time and one step control are given.*

**Keywords:** transient process time, length of the cable, rotating mechanism, relative error of the average rate of platform rotation, three steps control, one step control, deviation scope, natural frequency, fictitious time, two masses rotational mechanical part

Д. О. Махортова

### ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ КАНАТА НА ВРЕМЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЗМОВ ПОВОРОТА ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ РАСКАЧИВАНИЯ ГРУЗА

*Исследуется специфическое управление электроприводом механизма поворота для обеспечения наилучшего быстрого действия и одновременно гашения колебаний подвешенного груза. Рассматривается и анализируется зависимость времени переходного процесса механизма поворота от изменения длины каната подвешенного груза, приводятся рекомендации по выбору длины каната для минимального времени и управления в один этап.*

**Ключевые слова:** двухмассовая поворотная механическая часть, время переходного процесса, длина каната, механизм поворота, относительная ошибка среднего значения скорости вращения платформы, управление в три этапа, управление в один этап, диапазон отклонений, частота собственных колебаний, фиктивное время

**Вступ.** Важливу роль у підйомно-транспортних та інших операціях відіграє кранове обладнання, яке дуже важливе при виконанні різноманітних монтажних операцій, при підйомі та пересуванні вантажу у цехах та портах, на складах та будівельних майданчиках. Особливої уваги заслуговує питання про взаємодію багатомасового у загальному випадку кранового механізму горизонтального переміщення та закріпленого на гнучкому підвісі вантажу. Під час пуску та гальмування механізмів переміщення і повороту кранів виникають коливання підвішеного на канаті вантажу. Завданням гасіння коливань підвішеного вантажу займався багато вчених. Так, у роботах [2, 4, 5] вже доведена необхідність специфічного

керування у три етапи електроприводом механізму обертання за умови забезпечення максимальної швидкодії і гасіння коливань підвішеного вантажу, а у роботі [3] запропоновано скорегований алгоритм розрахунку часу етапів при одночасній роботі механізмів обертання та підйому.

**Метою даної роботи** є визначення впливу довжини линви на тривалість перехідного процесу механізму обертання при обмеженні розгойдування вантажу та надання рекомендацій щодо вибору довжини линви для забезпечення мінімального часу перехідного процесу.

**Матеріали дослідження.** У роботах [2, 4, 5] вже детально описано специфічне керування електроприводом механізму обертання за умови гасіння коливань підвішеного вантажу та забезпечення максимальної швидко-

© Махортова Д.О., 2013

дії. Це керування здійснюється у три етапи, тривалість яких розраховується за виразами:

$$t_1 = t_3 = \frac{T_p + t_2}{2}, \quad (1)$$

час другого етапу отримуємо після вирішення рівняння

$$\sin \Omega \cdot \left( t_2 + \frac{T_p}{2} \right) = 2 \cdot \sin \frac{\Omega \cdot t_2}{2}, \quad (2)$$

де  $T_p = \frac{\omega_{зад} \cdot (J_1 + J_2)}{M_m}$  – фіктивний час розго-

ну до заданої швидкості  $\omega_{зад}$  жорстко зв'язаних поворотної платформи і вантажу при дії постійного моменту  $M_m$ ;

$$\Omega = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{(J_1 + J_2) \cdot g}{J_1 \cdot l}}$$

– частота власних коливань вантажу, де  $J_1$  – момент інерції поворотної частини крана (першої маси), приведений до вала двигуна;  $J_2$  – момент інерції вантажу (другої маси), приведений до вала двигуна;  $l$  – довжина линви.

Для досягнення поставленої в роботі мети спочатку було перевірено, як впливає довжина линви на час перехідного процесу. Ця залежність представлена на рис. 1.

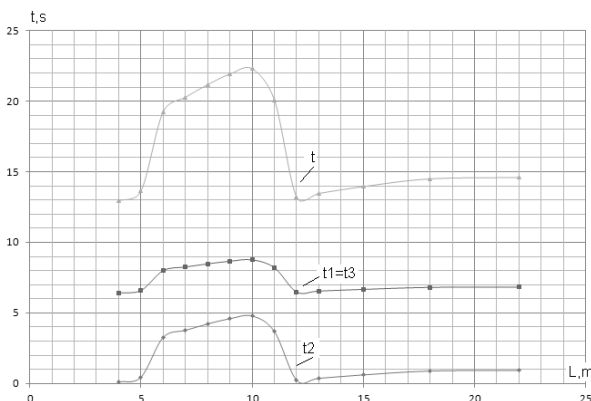


Рис. 1. Залежність часу перехідного процесу пуску механізму обертання від довжини линви, тут  $t$  – сумарний час перехідного процесу

З рис. 1 видно, що будь-яка зміна довжини линви впливає на час перехідного процесу. Але не просліджується ніякої закономірності, що є наслідком особливостей вирішення рівняння для визначення  $\varphi_n = \Omega t_2$  з (2).

Було проаналізоване це рішення при заданні початкового значення лівої частини, а саме

$$\frac{\Omega T_p}{2} = n \frac{\pi}{2}, \quad (3)$$

де  $n = 0, 1, 2, 3 \dots$

Тоді вираз для визначення часу другого етапу  $t_2$  (2)

$$\sin \left( \Omega t_2 + n \frac{\pi}{2} \right) = 2 \sin \frac{\Omega t_2}{2}. \quad (4)$$

Результати аналізу рівняння (4) при різних значеннях  $n$  наведено на рис. 2.

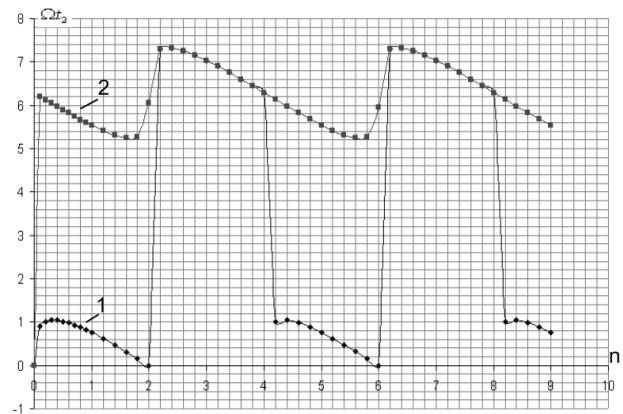


Рис. 2. Корені рівняння (4) при різних значеннях  $n$

Рішення рівняння (4) для кожного даного значення  $n$  дає декілька значень коренів. В даному випадку рівняння прораховувалось в діапазоні кута  $0 - 6,28$  рад, в результаті чого маємо для кожного значення  $n$  два кореня рівняння (крива 1 на рис. 2 є першим розв'язком, а крива 2 – другим).

На рис. 2 нас цікавлять корені кривої 1, адже ці значення є першими розв'язками рівняння (4) і найменшими.

Загальний час перехідного процесу

$$t_m = T_p + 2t_2, \quad (5)$$

з нього видно, що зі зменшенням часу другого етапу зменшується і загальний час перехідного процесу механізму обертання.

При зміні довжини линви  $L$  змінюється частота власних коливань двомасової обертальної механічної частини  $\Omega$ , а значення фіктивного часу  $T_p$  залишається незмінним. За допомогою виразу (3) було встановлений взаємозв'язок значення  $n$  і довжини линви. Результати зображено на рис. 3.

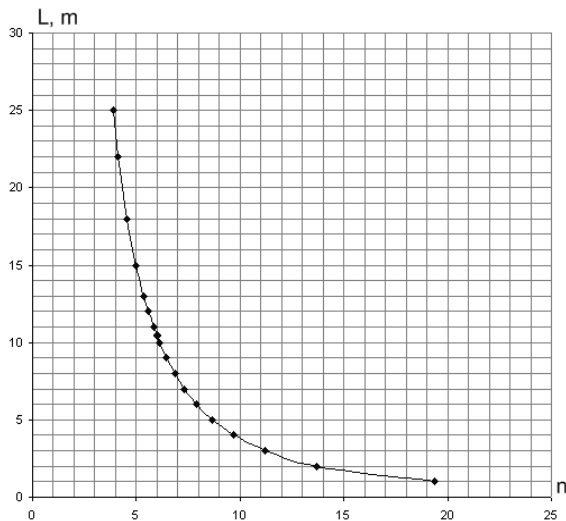


Рис. 3. Залежність реальної довжини линви  $L$  від значення  $n$

Далі, використовуючи рис. 3, можна знайти необхідне значення  $n$  при певній довжині линви, потім з рис. 2 робити висновки щодо часу другого етапу при цій довжині, а за виразом (5) – і часу загального перехідного процесу.

Так, з рис. 2 видно, що мінімальна тривалість другого етапу, а отже, і перехідного процесу взагалі, спостерігається при значеннях  $0 < n \leq 2$  (що відповідає дуже великій, нереальній довжині линви відповідно до рис.3, яка нас не цікавить), а також при  $4 < n < 6$  (що відповідає довжині линви  $11 < L < 22$ ) і при  $8 < n < 10$  (довжина линви  $L < 6$ ) і т.д.

Далі були досліджені значення  $n=2$  та  $6$ , адже в цих точках перший розв'язок рівняння (4) має незначне значення (крива 1, рис. 2). Так при  $n=2$  маємо  $\Omega t_2 = 0,0008$  рад, а при  $n=6$   $\Omega t_2 = 0,0024$  рад.

Однак значення  $n=2$  відповідає нереальній для заданого механізму довжині линви (див. рис. 3), тому розглядалось тільки значення  $n=6$ .

Значенню  $n=6$  відповідає довжина линви  $L=10,43$  м (рис. 3). З  $\Omega t_2 = 0,0024$  рад отримаємо, що час другого етапу перехідного процесу механізму обертання становить  $t_2=0,0016$  с. Це значення часу є дуже незначним, тому зроблено спробу ним знехтувати. Залишаються тоді лише два етапи:

$t_1 = t_3 = 6,37012$  с. Момент на першому та третьому етапах перехідного процесу має однакове значення, тому керування спрощується всього лише до одного етапу перехідного процесу. Графік перехідного процесу пуску механізму обертання крана для цього випадку зображено на рис. 4.

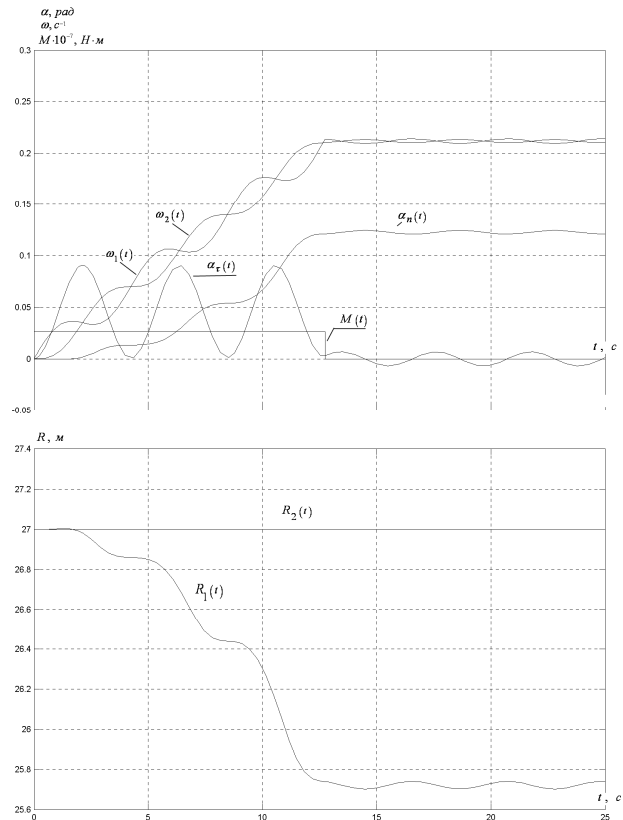


Рис. 4. Графіки перехідного процесу пуску механізму обертання крана при керуванні в один етап:

$\omega_1, \omega_2$  – швидкість обертання платформи, вантажу,  $M$  – динамічний момент двигуна,  $\alpha_\tau$  – тангенціальна складова кута відхилення линви від вертикалі,  $\alpha_n$  – нормальна складова кута відхилення линви від вертикалі,  $R_1$  і  $R_2$  – радіус точки підвісу вантажу та радіус його обертання

З рис. 4 бачимо, що мають місце коливання. Так, похибка відносно середнього значення швидкості обертання платформи, зведена до значення заданої швидкості,

$$\delta_2 = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\text{сер}}}{\omega_{\text{зад}}} \cdot 100 = \frac{\Delta\omega_1}{\omega_{\text{зад}}} \cdot 100 = 1,07\% , \text{ тоб-}$$

то для  $n=6$  не перевищує і 2 %, тому такий варіант керування можна рекомендувати.

1. Похибка середнього значення швидкості, зведена до заданої швидкості, при різних значеннях довжини линви, якщо керування відбувається в один етап

$L, м$	10,4	10,41	10,42	<b>10,43</b>	11	11,2	11,5	11,7	12
$n$	6,008	6,005	6,002	<b>6</b>	5,842	5,79	5,714	5,665	5,593
$t2, с$	4,5076	4,4487	0,00032	<b>0,0016</b>	0,0877	0,117	0,1607	0,1894	0,2317
$t1=t3, с$	8,6231	8,5937	6,3695	<b>6,37012</b>	6,413	6,428	6,45	6,464	6,4852
$\delta2, \%$	6	5,12	1,095	<b>1,07</b>	1,76	2,7	4,02	4,97	6,2

Було визначено діапазон відхилення від довжини линви  $L=10,43$  м, при якому керування в один етап ще є можливим. Результати дослідження занесені в таблицю.

З неї видно, що похибка середнього значення швидкості, зведена до заданого значення швидкості, не перевищує 2 % у діапазоні довжини линви  $10,42 \leq L \leq 11$  м та не перевищує 5 % у діапазоні  $10,41 < L \leq 11,7$  м.

Отже, для даного механізму рекомендовано використовувати довжину линви не менше, ніж 10,42 м, та не більше, ніж 11,7 м, тоді можна використовувати спрощене керування в один етап.

**ВИСНОВКИ.** В ході роботи була знайдена залежність часу оптимального перехідного процесу від довжини линви підвищеного вантажу. Залежність на рис.2 є загальною і відповідає кожному окремому механізму. Тобто завжди точкам  $n=2$  та 6 для будь-якого механізму відповідає мінімальний час перехідного процесу та незначний час другого етапу, яким можна нехтувати і таким чином використовувати спрощене керування в один етап. А от для того, щоб визначити довжину линви, яка відповідає точкам  $n=2$  та 6, залежність на рис. 3 вже має бути побудована для кожного окремого механізму.

Список використаної літератури

1. Булгар, В. В. Теорія електроприводу / В. В. Булгар; збірник задач. – 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 обер-

тання при одночасній роботі механізму підйому / Р. П. Герасимьяк, Д.О. Махортова // Електротехнічні та комп'ютерні системи – К. : Техніка. – 2011. – № 03(79).

4. Герасимьяк, Р. П. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения. Автоматика. Автоматизация. Электромеханические комплексы и системы / Р. П. Герасимьяк., Л. В. Мельникова: научн. – техн. журнал. – 1999. – № 1. – С. 87 – 94.

5. Герасимьяк, Р. П. Особливості керування електроприводом механізму вильоту стріли під час обертання крану з підвищеним вантажем / Р. П. Герасимьяк, О. В. Найдено // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2007. – Вип. 68. – С.11 – 15.

6. Драчев, Г. И. Теория электропривода / Г. И. Драчев; учебное пособие, 2 ч. – Челябинск : Изд – во ЮУрГУ, 2006. – 193 с.

7. Дьяконов, В. П. Simulink 5/6/7. Самоучитель / В. П. Дьяконов.– ДНК–Пресс, 2008. – 784 с.

8. Ключев, В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

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

10. Jorg Paschedag. Einfuhrung in Simulink / Jorg Paschedag // Lehrstuhl fur Regelungstechnik, TU Munchen, 2005. – 13 p.

11. Heinz Unbehauen. Regelungstechnik I. Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme, Fuzzy-Regelsysteme. – © Vieweg+Teubner Verlag [GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008. – 420 p. [in Germany].

12. Kurt Reinschke. Lineare Regelungs- und Steuerungstheorie / Kurt Reinschke – Dresden : Springer, 2005. – 450 p.

Отримано 15.04.2013

#### References

1. Bulgar, V. V. The Theory of Electric Drive / V. V. Bulgar. ONPU – Odessa: Polygraf, 2006. – 408 p. [in Ukrainian].

2. Gerasymiak, R. P. The Analysis and Synthesis of crane elektromechanic systems / R. P. Gerasymiak, V. A. Leshev – Odessa : SMIL, 2008. – 192 p. [in Russian].

3. Gerasymiak, R. P. Dynamic modes of electric drive of crane rotating mechanism when hoisting mechanism works at the same time / R. P. Gerasymiak, D. O. Makhortova // Electro-technic and computer systems – Kiev : Technika– 2011. – № 03(79) [in Ukrainian].

4. Gerasymiak, R. P. The optimal control of crane travel mechanism. Automatics. Automation. Electromechanical complexes and systems / R. P. Gerasymiak, L. V. Melnikova– 1999. – №1. – P. 87 – 94 [in Russian].

5. Gerasymiak, R. P. The features of boom reach control when crane with suspended load is rotating / R. P. Gerasymiak, O. V. Naidenko . – 2007. – Iss.. 68. – P.11 – 15 [in Russian].

6. Drachev, G. I. The Theory of Electric Drive / G. I. Drachev; tutorial, 2<sup>nd</sup> part. – Cheliabinsk : UUrGU, 2006. – 193 p. [in Russian].

7. Dyakonov, V. P. Simulink 5/6/7. Teach-yourself-book / V. P. Dyakonov – DNK-Press, 2008. – 784 p. [in Russian].

8. Kluchev, V. I. The Theorie of Electric Drive/ V. I. Kluchev. // Energoatomizdat, 1985. – 560 p. [in Russian].

9. Chee Mun Ong. Dynamic Simulation of Electric Machinery. – Upper Saddle River, New Jersey : PRENTICE HALL. PTR, 1998. – 626 p. [in English].

10. Jorg Paschedag. Einfuhrung in Simulink / Jorg Paschedag // Lehrstuhl fur Regelungstechnik, TU Munchen, 2005. – 13 p. [in Germany].

11. Heinz Unbehauen. Regelungstechnik I. Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelsysteme, Fuzzy-Regelsysteme. – © Vieweg+Teubner Verlag

[GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008. – 420 p. [in Germany].

12. Kurt Reinschke. Lineare Regelungs- und Steuerungstheorie. – Dresden: Springer, 2005. – 450 p. [in Germany].



Махортова  
Дар'я Олегівна,  
аспірант каф. EMC КУ  
Одеського нац. політехн.  
ун-ту