

СТІЙКІСТЬ ГІДРОПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА, ЧУТЛИВОГО ДО ЗМІНИ НАВАНТАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація: Досліджено стійкість гідроприводу стрічкового конвеєра, чутливого до зміни навантаження, з врахуванням параметрів гідромеханічної системи приводу, його системи керування та пружно-інерційних характеристик транспортувальної частини конвеєра з використанням комп'ютерного програмного пакета MATLAB Simulink. Виявлено області стійкої та нестійкої роботи приводу за зміни параметрів жорсткості та коефіцієнту демпфування для сенсора, клапана-розподільника і натискного плунжера системи керування. Аналізом теоретичних графіків визначено характерний об'єм додаткового гідромотора, співвідношення площ герметизації запірнього елемента сенсора, що впливають на стійкість приводу. Визначено, що характер зміни навантаження не впливає на стійкість роботи адаптивного приводу стрічкового конвеєра.

Ключові слова: стійкість, гідропривід, стрічковий конвеєр, змінне навантаження.

Abstract: The stability of the hydraulic drive of a conveyor belt sensitive to change in load, taking into account the parameters of the hydromechanical drive system, its control system and the elastic-inertial characteristics of the conveyor belt conveyor using the computer software package MATLAB Simulink, is researched. The areas of stable and unstable operation of the drive for changing the parameters of rigidity and damping coefficient for the sensor, valve-distributor and pressure plunger of the control system are revealed. The analysis of theoretical graphs specifies the characteristic volume of the additional hydromotor, the ratio of the areas of sealing of the stopper element of the sensor, which affect the stability of the drive. It is determined that the nature of the load change does not affect the stability of the adaptive drive of the belt conveyor.

Keyword: stability, hydraulic drive, belt conveyor, variable load.

Вантажопотоки, що надходять на стрічки конвеєрів різного технологічного призначення, характеризуються великою нерівномірністю як за амплітудою навантаження, так і за перервами в надходженні вантажу. Коефіцієнт нерівномірності вантажопотоків може коливатися в межах $K_n=1,97...2,02$ [1]. З цієї причини коефіцієнт використання конвеєрів, наприклад, на гірничих підприємствах становить в середньому 50...70% за потужністю і 60...70% за тривалістю роботи. Приводи транспортерів сільськогосподарських мобільних машин сприймають навантаження, інтенсивність яких суттєво відрізняється у різних фазах технологічного циклу. Так, вивантажувальний і поперечний транспортери коренезбиральної машини під час зміни автотранспорту, що працює з комбайном, зупиняються і в бункері накопичується буряк. За подальшого пуску приводів транспортерів технологічне навантаження на них зростає в 2,5...3 рази у порівнянні з номінальним. Аналогічні режими роботи характерні й для приймального конвеєра буртоукладника під час розвантаження коренеплодів в бункерний пристрій з автотранспорту. В такому випадку, в електромеханічному приводі транспортерів можливим є вихід з ладу елементів приводу, а в гідрофікованому [2] – аварійне відмикання через спрацьовування запобіжного клапана і зупинка гідромотора. Для подальшого відновлення роботи конвеєра вручну зменшують навантаження на його робочому органі, після чого здійснюють повторний пуск приводу.

Такі режими роботи конвеєра спричиняють невиправдані затрати електроенергії, зношування стрічки, роликкоопор, збільшення холостого вибігу стрічки, простоювання обладнання. Тому значна кількість досліджень [3–5] спрямована на забезпечення узгодження параметрів роботи приводів стрічкових конвеєрів із змінними режимами вантажопотоків. Одним з напрямків досліджень є вивчення роботи приводів з регуляторами швидкості руху стрічки за періодичного надходження вантажу, іншим – з автоматичним адаптуванням його параметрів за значної зміни навантаження для уникнення нетехнологічних зупинок конвеєра.

З метою забезпечення безупинної роботи приводу конвеєра, що піддається короткочасним або тривалим перевантаженням, та підвищення за рахунок цього продуктивності машини неперервного транспорту доцільно улаштовувати привід додатковим мотором, встановленим паралельно до основного, що дозволить застосувати активне резервування крутного моменту на

приводному барабані. При цьому привід необхідно оснастити пристроєм чи системою керування, чутливими до зміни навантаження на робочому органі, що дозволить миттєво адаптувати його параметри до змінних режимів роботи. Розв'язку таких задач присвячені роботи [6–9].

Машини та механізми, зокрема такі, що оснащені системами автоматичного керування, за певних параметрів можуть працювати в нестійких режимах роботи. Тому забезпечення стійкості є однією з основних задач, які необхідно розв'язати при створенні пристроїв з системами автоматичного керування [10]. Особливо це стосується нестационарних режимів роботи, коли важливим є збереження механічною системою стану рівноваги чи заданого закону руху.

Для дослідження стійкості незбуреного та збуреного рухів системи, стан якої описується системою диференціальних рівнянь, часто застосовується метод Ляпунова, критерії Рауса-Гурвіца, Найквіста-Михайлова тощо [11–14].

Наведені методи дослідження стійкості є досить складними і трудомісткими для дослідження систем вище п'ятого порядку.

Сучасні програмні продукти MATLAB, а саме Simulink, дозволяють досліджувати стійкість роботи приводу під час налагодження математичної моделі. Розрахунок перехідних процесів відбувається за лічені хвилини та за результатами підбору параметрів системи керування, наприклад, гідроприводом легко визначити параметри, що забезпечують затухаючі коливальні процеси.

Побудовано розрахункову схему адаптивного приводу конвеєра, яка складається з розрахункової схеми системи керування гідроприводом конвеєра та транспортувальної частини стрічкового конвеєра, в якій враховано пружно-інерційні характеристики стрічкового конвеєра невеликої довжини.

На основі циклограми, на якій послідовно показано спрацювання елементів системи керування гідроприводом конвеєра [15], побудовано математичну модель для розрахунку перехідних процесів в системі керування адаптивного приводу конвеєра, в якій враховано пружно-інерційні характеристики його транспортувальної частини.

Під час складання математичної моделі використано загальноприйняті припущення [16], коректність яких підтверджена порівнянням результатів теоретичних та експериментальних досліджень подібних систем [6].

Математична модель адаптивного приводу з системою керування конвеєра містить рівняння рівноваги сил, що діють на сенсор, клапан-розподільник та плунжер, рівняння умови нерозривності потоків для напірної магістралі гідроприводу та гідролінії сенсора і плунжера, рівняння рівноваги моментів на валах привідної та транспортувальної частини стрічкового конвеєра.

Математична модель, яка складається з системи нелінійних диференціальних рівнянь п'ятнадцятого порядку, розв'язувалась за допомогою комп'ютерного програмного пакета MATLAB Simulink з використанням методу Розенброка 2-го порядку. Цей метод забезпечує високу швидкість обчислень у порівнянні з методами, наприклад, Рунге-Кутти та Адамса, за точності розрахунків 0,001, якої достатньо для отримання достовірних результатів обчислень. Розрахунок одного перехідного процесу тривав близько 3 хв.

Дослідження динамічних характеристик механічної системи конвеєра виконувалося на основі перехідних процесів по тиску p_n в напірній магістралі гідроприводу [17]. Визначено вплив параметрів системи керування, гідромеханічного приводу з врахуванням пружно-інерційних характеристик транспортувальної частини конвеєра.

Таким чином, удосконалено математичну модель адаптивного приводу конвеєра за рахунок врахування пружно-інерційних характеристик транспортувальної частини конвеєра. За допомогою цієї моделі з використанням програмного продукту MATLAB Simulink визначено параметри адаптивного приводу, що впливають на стійкість досліджуваної системи з автоматичним регулюванням параметрів руху за умови зміни навантаження. За зміни параметрів жорсткості та коефіцієнту демпфування для сенсора, клапана-розподільника і натискного плунжера системи керування виявлено області стійкої та нестійкої роботи. Аналізом теоретичних графіків з'ясовано, що для стійкої роботи адаптивного приводу характерний об'єм додаткового гідромотора q_{m2} не повинен перевищувати 75% характерного об'єму q_{m1} основного гідромотора, а співвідношення площ герметизації запірного елемента сенсора – значення $f_1/f_2=0,9$. Визначено, що характер зміни навантаження не впливає на стійкість роботи адаптивного приводу стрічкового конвеєра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / В. Г. Дмитриев, Л. Г. Шахмейстер. – М.: Машиностроение, – 1978. – 392 с.
2. Поліщук Л. К. Гідрофікація транспортних засобів буртоукладальних машин / Л. К. Поліщук, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. П. Коцюбівський. – Вібрації в техніці і технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Вінниця: ВГАУ. – 2002. – №5 (26)
3. Заика В. Т. Влияние регулируемого привода на грузопотоки и энергоэффективность системы шахтного конвейерного транспорта / В. Т. Заика, Ю. Т. Разумный, В. Н. Прокуда // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту, – 2015. – №3. – С. 82–88.
4. Wheeler, C. A. Evolutionary Belt Conveyor Design — Optimizing Coasts / C. A. Wheeler. – Bulk Material Handling by Conveyor Belt. 7, Littleton, Colorado, – 2008. – 108 p.

5. Bing Xua. Pump valves coordinate control of the independent metering system for mobile machinery / X. Bing, D. Ruqi, Z. Junhui, C. Min, S. Tong // *Automation in Construction*, – 2015. – P. 98–111.
6. Поліщук Л. К. Вмонтовані гідравлічні приводи конвеєрів з гнучким тяговим органом, чутливі до зміни навантаження: монографія / Л. К. Поліщук, О. О. Адлер. – Вінниця.: ВНТУ, – 2010. – 184 с.
7. Forental V., Forental M., Nazarov F., (2015). Investigation of Dynamic Characteristics of the Hydraulic Drive with Proportional Control. *Procedia Engineering. International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2015)*, – № 129, – P. 695–701.
8. Cheng G. Adaptive sliding mode control of electro-hydraulic system with nonlinear unknown parameters / G. Cheng, P. Shuangxia // *Control Engineering Practice*, – 2008. – P.1275 – 1284.
9. Burennikov, Y., Kozlov, L., Pyliavets, V., & Piontkevych, O. L. E. H. (2017, June). Mechatronic Hydraulic Drive with Regulator, Based on Artificial Neural Network. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 209, No. 1, p. 012071). IOP Publishing.
10. Попов Д. Н. *Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика»*. – М.: Машиностроение. 1991. – 384 с.
11. Skjong S., Pedersen E. Model-based control designs for offshore hydraulic winch systems // *Ocean Engineering*. – 2016. – Т. 121. – С. 224-238.
12. Chentouf B., Smaoui N. Stability analysis and numerical simulations of a one dimensional open channel hydraulic system // *Applied Mathematics and Computation*. – 2018. – Т. 321. – С. 498-511.
13. Liu P. et al. 1-D dynamic stability analysis of mixed-spectrum supercritical water reactor core // *Annals of Nuclear Energy*. – 2017. – Т. 101. – С. 278-292.
14. Halanay, A., Safta, C. A., Ursu, F., & Ursu, I. (2009). Stability analysis for a nonlinear model of a hydraulic servomechanism in a servoeelastic framework. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 10(2), 1197-1209.
15. Polishchuk L. Mathematical modeling of dynamic processes of control device of hydraulic drive of belt conveyor with variable load / L. Polishchuk, O. Koval – *Tehnomus. New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*, – 2015 – №1. – P. 141–147.
16. Поліщук Л. К. Дослідження динамічних процесів в системі керування гідропривода стрічкових конвеєрів із змінними вантажопотоками / Л. К. Поліщук, С. В. Харченко, О. В. Піонткевич, О. О. Коваль // *Восточно-Европейский журнал передових технологій. Технологии машиностроения*, – 2016. – 2/8(80). – С. 22–29
17. Polishchuk, L. K., Piontkevych, O. V. (2017). Dynamics of adaptive drive of mobile machine belt conveyor. In *22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017», 19 May 2017: 307–311..* Kaunas University of Technology.

Поліщук Леонід Клавдійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. E-mail: leo.polishchuk@gmail.com

Polishchuk Leonid K. – Doctor of Engineering, Professor of Industrial Engineering department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. E-mail: leo.polishchuk@gmail.com