

**Л. К. Поліщук, д.т.н., проф.,  
В. П. Міськов, к.т.н., ст. викл.,  
В. О. Кравчук, магістрант,  
О. В. Піонткевич, інженер**

*Вінницький національний технічний університет*

## **ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА З АДАПТИВНИМ ПРИВОДОМ**

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 РКМ-6 під час зміни автотранспорту, що працює з комбайном, зупиняється 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 невикористані 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 улаштувати 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 [6–8].

Машини та механізми, зокрема такі, що оснащені системами автоматичного керування, за певних параметрів можуть працювати в нестійких режимах роботи. Тому забезпечення динамічної стійкості є однією з основних задач, які необхідно розв'язати при створенні пристроїв з системами автоматичного керування [9]. Особливо це стосується

нестационарних режимів роботи, коли важливим є збереження механічною системою стану рівноваги чи заданого закону руху.

Математичні моделі, які побудовані для вивчення динамічного стану механічних пристроїв з системами автоматичного керування, описуються диференціальними рівняннями вищих порядків. Дослідження математичних моделей, що описані рівнянням вище четвертого порядку, часто супроводжуються труднощами під час їх розв'язання. Основні з них виникають під час вибору параметрів для регулювання коливального режиму роботи. Тому, насамперед, виникає необхідність визначитися з характером перехідного процесу та вирішити задачу стійкості адаптивного приводу.

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

Сучасні програмні продукти MATLAB, а саме Simulink, дозволяють досліджувати динамічну 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.

Таким чином, дослідження стійкості динамічних процесів в машинах та механізмах з системами керування, які описуються системами диференціальних рівнянь вищих порядків доцільно проводити з використанням програмних пакетів, наприклад, MATLAB Simulink.

Побудова розрахункової схеми адаптивного приводу конвеєра проводилась в два етапи. На першому, розроблено розрахункову схему системи керування гідроприводом конвеєра (рис. 1) для дослідження динамічних характеристик його роботи [10]. На другому етапі проведено її удосконалення за рахунок приєднання розрахункової моделі транспортувальної частини стрічкового конвеєра, в якій враховано пружно-інерційні характеристики стрічкового конвеєра невеликої довжини.

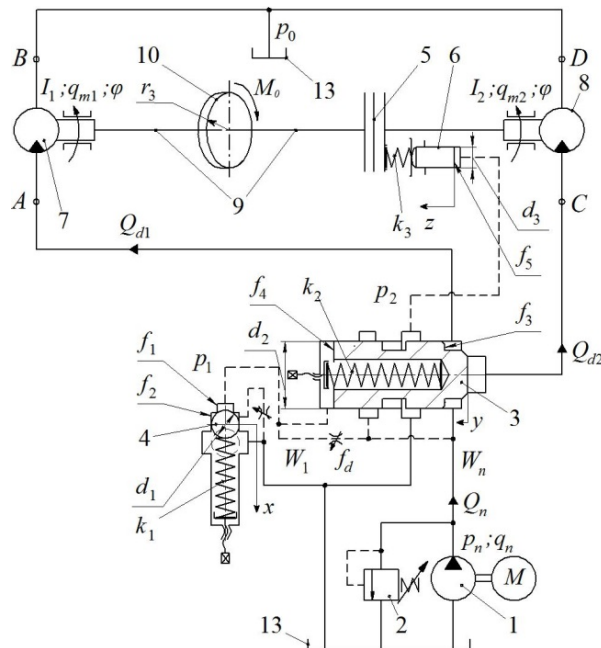


Рисунок 1 – Розрахункова схема гідроприводу конвеєра без врахування пружно-інерційних характеристик його транспортувальної частини

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.

Отримані графіки (рис. 2) дозволили визначити параметри адаптивного приводу конвеєра в діапазонах, що забезпечують стійку роботу:  $k_1=(28\dots46)\cdot 10^3$  Н/м;  $b_1=(400\dots860)$  кг/с;  $k_2=(15\dots22)\cdot 10^3$  Н/м;  $b_2=(25\dots80)$  кг/с;  $f_d=(1,8\dots5)\cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>;  $W_n=(0,4\dots1,2)\cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>.

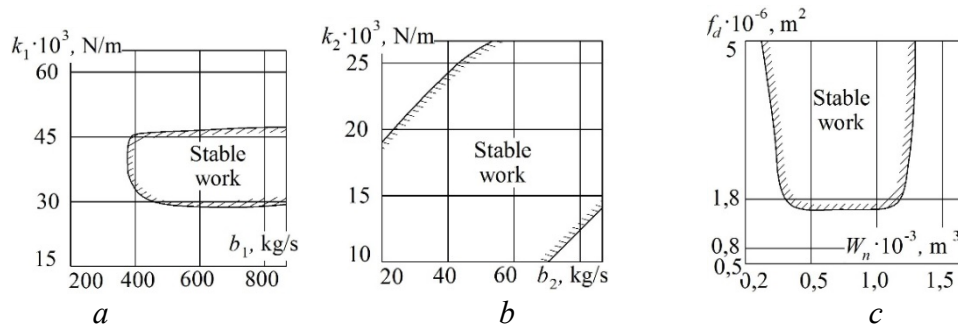


Рисунок 2 – Вплив параметрів адаптивного приводу конвеєра на стійкість його роботи:  
*a* – жорсткості пружини  $k_1$  та коефіцієнту демпфування  $b_1$  для сенсора;  
*b* – жорсткості пружини  $k_2$  та коефіцієнту демпфування  $b_2$  для клапана-розподільника;  
*c* – площі  $f_d$  робочого вікна дроселя та об'єм напірної магістралі  $W_n$

За результатами досліджень сформовано рекомендації щодо вибору параметрів адаптивного приводу з системою керування стрічкового конвеєра та розроблено технічну документацію на вмонтований гідравлічний привід приймального конвеєра буртоукладника К-65М2БЗ-К для ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» (Україна), продукція якого експлуатується на цукрових заводах України та Європи.

## Висновки

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, площі робочого вікна дроселя системи керування і об'єму напірної магістралі виявлено області стійкої роботи адаптивного приводу конвеєра. 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 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. 98–11.

6. Поліщук Л. К. Динаміка вмонтованого гідроприводу конвеєрів мобільних машин: монографія / Л. К. Поліщук. – Вінниця.: ВНТУ, – 2018. – 240 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. 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.

9. Попов Д. Н. Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». – М.: Машиностроение. 1991. – 384 с.

10. Поліщук Л. К. Дослідження динамічних процесів в системі керування гідропривода стрічкових конвеєрів із змінними вантажопотоками / Л. К. Поліщук, Є. В. Харченко, О. В. Піонткевич, О. О. Коваль // Восточно-Европейский журнал передових технологий. Технологии машиностроения, – 2016. – 2/8(80). – С. 22–29.

УДК 621.777.01

**Р. Д. Іскович-Лотоцький, д.т.н., проф.,**

**І. В. Коц, к.т.н., проф.,**

**Я. В. Іванчук, к.т.н., доц.,**

**О. Д. Манжілевський, к.т.н., доц.**

*Вінницький національний технічний університет*

## **НАВІСНИЙ ІНЕРЦІЙНИЙ ВІБРОМОЛОТ**

У різних галузях народного господарства широко застосовуються вібраційні та віброударні машини для виконання робіт, зв'язаних із збудженням в оброблювальному середовищі значних по величині зусиль, які призводять до руйнування матеріалу або його деформації (машини для штамповки деталей, ковки, руйнування гірських порід, бетонних перекриттів, занурення паль тощо). Ефективність застосування таких машин зумовлена тим, що руйнування матеріалу або його деформація у багатьох технологічних процесах визначається рівнем виникаючих напружень, а не часом їх дії [1, 2].

Одним із сформованих напрямків по створенню нової техніки, головним чином для машин із зворотно-поступальним рухом робочого органу, є розробка вібраційних і віброударних машин по зануренню і витяганню паль [3]. Вібраційним зануренням прийнято називати занурення твердого тіла в опорне середовище під дією постійної і знакозмінної сил [4].

Введенням знакозмінної складової можна суттєво знизити постійну складову сили, необхідну для ефективного занурення. Це дає можливість за допомогою вібраційних машин відносно невелику масу занурювати переважно в піщані і глинисті ґрунти елементи, опір зануренню яких в багато разів перевершує силу тяжіння віброуючої системи. У випадках значної зміни властивостей ґрунту під дією вібрації, що має місце у водонасичених ґрунтах, можна добитися не тільки зниження необхідної для занурення постійної сили, але й енергії, що тратиться на занурення [5].