

УДК 622.233.6:-83:68.3

**В. С. Хілов**, д-р техн. наук,  
**К. П. Фофанов**

### ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗОВНІШНЬОГО КОНТУРУ ПРИВОДА ПЕРЕСУВАННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

***Анотація.** Зроблено частотний аналіз характеристик динамічних ланок об'єкта управління контуру частоти обертання електрогідромеханічного приводу лінійних переміщень. Встановлені сталі часу, частоти коливань, коефіцієнти демпфування та коефіцієнти інерційності об'єкта управління. Проаналізовані значення резонансних частот, що дозволило виділити редуковану передатну функцію об'єкта управління зовнішнього контуру регулювання.*

***Ключові слова:** електрогідромеханічна система, смуга пропускання, сталі часу, власна частота коливань, частота зрізу контуру*

**V. S. Khilov**, ScD.,  
**K. P. Fofanov**

### HEAVY-LOAD TRANSPORT FACILITY'S DRIVE MOVEMENT'S EXTERNAL LOOP DYNAMIC FEATURES

***Abstract.** Frequency analysis of the characteristics of the dynamic object units of circuit speed elektrogidromechanic of linear displacement is made. Time constants, vibrational frequencies and damping coefficients and coefficients inertia of control object is set. Values of the resonance frequencies are analyzed that the reduced transfer function of the external loop is allowed to allocate.*

***Keyword:** electrohydromechanical system, pass band, time constant, natural frequency, cutoff frequency of the loop*

**В. С. Хілов**, д-р техн. наук,  
**К. П. Фофанов**

### ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВНЕШНЕГО КОНТУРА ПРИВОДА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ БОЛЬШЕГРУЗОГО ТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА

***Аннотация.** Произведен частотный анализ характеристик динамических звеньев объекта управления контура частоты вращения электрогидромеханического привода линейных перемещений. Установлены постоянные времени, частоты колебаний, коэффициенты демпфирования и коэффициенты инерционности объекта управления. Проанализированы значения резонансных частот, что позволило выделить редуцированную передаточную функцию объекта управления внешнего контура регулювання.*

***Ключевые слова:** электрогидромеханическая система, полоса пропускания, постоянные времени, собственная частота колебаний, частота среза контура*

**Постановка проблеми та її зв'язок із прикладними задачами.** При проектуванні електромеханічної системи транспортного засобу для пересування довгомірного та великовантажного виробу виникають аналогічні проблеми, що розв'язувались при розробці електродгидромеханічної системи лінійного пересування поставу для бурових верстатів [1 – 5].

У кінематичний зв'язок між приводним двигуном і транспортним засобом, що поступально переміщується, входять гідронасос і гідродвигун з редуктором.

У гідравлічній системі використовується стискувана рідина, що піддається пружним деформаціям. При цьому частота обертання вала двигуна й зведена до вала двигуна лінійна швидкість виробу не рівні між собою в нестационарних режимах. У привідній системі застосовується швидкодіючий електропровід зі смугою пропускання контуру частоти обертання до 100 рад/с. При цьому частота власних пружних коливань гідроприводу попадає у смугу пропускання

контуру регулювання частоти обертання. Не врахування стисливості рідини при аналізі об'єкта керування та синтезі системи регулювання призводить до погіршення якості перехідних процесів у електрогидромеханічному приводі.

**Аналіз досліджень і публікацій.** В об'єкт управління контуру частоти обертання попадає замкнений контур регулювання активної складової струму статора асинхронного двигуна, механічна ланка електропривода та додаткова передатна ланка, що враховує пружні властивості трансмісії. Раніше встановлено [6 – 10], що при поступальному переміщенні виробу механічна динамічна ланка об'єкта управління контуру регулювання частоти обертання двигуна. При наявності гідросистеми (ГС) описується передатною функцією з характеристичним рівнянням п'ятого порядку.

Для знаходження передатної функції в зручному для аналізу вигляді вводимо коефіцієнт передачі, сталі часу, коефіцієнт демпфірування та коефіцієнти інерційностей:

© Хілов В.С., Фофанов К.П., 2014

$$W_c(p) = \frac{1}{T_{M1}p} \frac{\sum_{n=0}^4 a_n 2p^n}{\sum_{n=0}^4 b_n 2p^n},$$

де  $T_{M1}$  – механічна стала часу електродвигуна,  $a_n, b_n$  – коефіцієнти передатної функції об'єкта керування.

**Постановка задачі дослідження.** Оцінимо динамічні властивості контуру частоти обертання електродвигуна та додаткових ланок, обумовлених впливом ГС.

**Основний матеріал і результати дослідження.** Динаміку керування визначають характеристичні частоти об'єкту управління. Для знаходження в явному вигляді характеристичних частот коливань поліномів чисельника й знаменника зневажаємо демпфуючі властивостями гідросистеми, тоді стає можливим встановити характеристичні частоти: чисельника

$$\omega_{kc1,3} = \sqrt{\frac{T_z \cdot T_{M2} + T_y^2 \cdot K_z}{2 \cdot T_z \cdot T_{M2} \cdot T_y^2} \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot T_z \cdot T_{M2} \cdot T_y^2 \cdot K_z}{\gamma_{23} \cdot (T_z \cdot T_{M2} + K_z \cdot T_y^2)^2}} - 1}$$

і знаменника

$$\omega_{kc2,4} = \sqrt{\frac{T_{M2} \cdot T_z + T_y^2 \cdot \gamma_{12} \cdot K_z}{2 \cdot T_{M2} \cdot T_y^2} \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot K_z \cdot \Gamma \cdot T_y^2 \cdot T_z \cdot T_{M2}}{(T_z \cdot T_{M2} + T_y^2 \cdot \gamma_{12} \cdot K_z)^2 \cdot \gamma_{23}}}} - 1}$$

де позначено:  $K_z, T_z$  – коефіцієнт передачі та стала часу гідросистеми;  $\gamma_{12}, \gamma_{23}, \Gamma$  – часткові та повні коефіцієнти інерційностей електрогідромеханічної системи;  $T_{M2}, T_{M3}$  – механічні сталі часу гідродвигуна й транспортного засобу;  $\xi_y, T_y$  – коефіцієнт демпфірування й стала часу коливань електромеханічної системи.

Частоти  $\omega_{kc3}$  й  $\omega_{kc4}$  близькі за чисельним значенням, а резонансні сплески на амплітудно-частотній характеристиці спрямовані в протилежні сторони, тому в результуючій характеристиці додаткового об'єкта управління контуру частоти обертання резонансні сплески на цих частотах практично взаємно компенсуються. У додатковому об'єкті управління контуру частоти обертання спостерігаються резонансні сплески на частотах  $\omega_{kc1}, \omega_{kc2}$ . Тому можна знизити порядок передатної функції додаткової динамічної ланки контуру частоти обертання із четвертого до другого, залишаючи характеристичні частоти коливань  $\omega_{kc1}, \omega_{kc2}$ , і відкидаючи  $\omega_{kc3}, \omega_{kc4}$ , тому що вони взаємно компенсуються.

**Висновки.** Частотний аналіз одержаних динамічних ланок дозволяє зробити наступні висновки. Наявність податливих ланок у трансмісії зменшує запас по фазі на околицях частоти зрізу контуру, що приводить до збільшення коливальності перехідного процесу. Якщо резонансні сплески перебувають у низько-частотній області частотної характеристики, то регулятор частоти обертання може ефективно подавити коливання, що виникають у контурі. Якщо резонансні сплески перебувають у високочастотній області частотної характеристики, то необхідно здійснити підсумок сталих часу гідромеханічного й пружного коливань електромеханічної системи із малими, які некомпенсовані, сталими часу, чим домагаємося оптимального настроювання контуру шляхом незначного зменшення його швидкодії.

#### Список використаної літератури

1. Белов М. П. Автоматизированный электропривод – современная основа автоматизации технологических процессов [Текст] / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов, А. А. Сушников. // *Електротехніка*. – 2003. – № 5. – С. 12 – 16.
2. Пивняк Г. Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией / Г. Г. Пивняк, А. А. Волков. – Дніпропетровськ : Нац. гірн. ун-т. – 2006. – 470 с.
3. Барский В. А. Об энергосберегающем эффекте от внедрения регулируемых асинхронных электроприводов [Текст] / В. А. Барский, М. Г. Брызгалов, Н. Н. Дубров и др. // *Вестн. ХГПУ: спец. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»*. – 1998. – С. 246 – 247.
4. Браславский И. Я. Опыт внедрения энергосберегающих технологий на основе частотно-управляемых асинхронных электроприводов / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов. [Текст] // *Вестн. НТУ «ХПИ»: спец. вып. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»*. – 2002. – № 12. – Т. 1. – С. 169 – 170.
5. Эпштейн И. И. Автоматизированный электропривод переменного тока / И. И. Эпштейн. – М. : Энергоиздат, 1982. – 192 с.
6. Хілов В. С. Опыт применения частотно-управляемых приводов в буровых станках карьеров Украины. [Текст] / В. С. Хілов, А. С. Бешта, В. Т. Заика // *М. : – Гірн. інфор.-аналит. бюл.* – 2004. – № 10. – С. 285 – 289.
7. Бешта А. С. Принципы построения системы управления электроприводом спуско-подъемных операций. [Текст] / А. С. Бешта, В. С. Хілов. // *Вісник КДПУ*. – 2004. – Вип.6(209). – С. 24 – 29.
8. Хілов В. С. Математическая модель гидропривода подачи станка шарошечного бурения / В. С. Хілов [Текст] // *Гірнична електромеханіка та автоматика*. – Дніпропетровськ : НГУ. – 2003. – Вип.70. – С. 100 – 105.

9. Khilov V.S., (2012), The Information-Analytical Characteristics of the Busbar Field Parameters, *Materiali Midunarodnoi Konferencii "Forum Gornikiv – 2012"*, Dnipropetrovsk, Ukraine, *NGU*, pp. 90 – 95.

10. Хілов В. С. Системи керування автоматизованими електроприводами кар'єрних верстатів шарошкового буріння / В. С. Хілов. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет. – 2013. – 256 с.

Отримано: 20.06.2014.

#### References

1. Belov M.P., Novikov B.A., Rasudov L.N., and Suchnikov A.A. Avtomatizirovanii elektroprivod – sovremenaia osnova avtomatizacii tehnologicheskikh procesov [Automatic Electric – Modern Base of Process Automation], (2003), *Electritichica*, No. 5, pp. 12 – 16 (In Russian).

2. Pivniak G.G., and Volkov A.A. Sovremeni chastotno-reguliruemii asinhroni electriprivodi s chirotno-impulsnoi moduliasiei [Modern Variable Speed Asynchronous Electric Drives with PWM], (2006), *Nacionalni Gorni Universitet*, Dnepropetrovsk, Ukraine, 470 p. (In Russian).

3. Barski V.A., Brichalov M.G., and Dubrov N.N. Ob energosberegachem efekte ot vnedrenia reguliruemih asinhronih elektroprivodov, [On the Energy-Saving Effect of the Introduction of Controlled Induction Motor Drives], (1998), *Vesnik HGPU: Specialni Vipusk "Problemi Avtomatizirovanogo Elektroprivoda. Teoria i Practica"*, Kharkov, Ukraine, pp. 246 – 247 (In Russian).

4. Braslavski I.Y., and Ishmatov Z.S. Oпит vnedrena energosberegachih tehnologi na osnove chastotno-upravliaemih asinhronih elektroprivodov [Experience Saving Technologies Based on Frequency-Controlled Induction Motor Drives], (2002), *Vesnik HGPU: Specialni Vipusk "Problemi Avtomatizirovanogo Elektroprivoda. Teoria i Practica"*, Kharkov, Ukraine, No. 12, Vol 1, pp. 169 – 170 (In Russian).

5. Epchtein I.I. Avtomatizirovani elektroprivod peremennogo toku [Automatic Electric Drive AC], (1982), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 192 p. (In Russian).

6. Hilov V.S., Beshta A.S., and Zaika V.T. Oпит primeneniia chastotno-upravliaemih privodov v burovih stankah karerov Ukrainy [Experience of Using Frequency-Controlled Drive Drill Rigs in Quarries in Ukraine.], (2004), *Gorni Informaciono-Analiticheski Buletен*, Moscow, Russian Federation, No. 10, pp. 285 –289 (In Russian).

7. Beshta A.S., and Hilov V.S. Principi postroeniia sistemi upravleniia elektroprivodom spusko-podiamnih operacii. [Principles of Construction of Electric Drive Control System Tripping], (2004), *Vesnic KDPU*, Kremenchug, Ukraine, Vip. 6(209), pp. 24 – 29 (In Russian).

8. Hilov V.S. Matemaicheskaia model giroprivoda podachi stanka sharoshechnogo burenia. [A Mathematical Model of the Hydraulic Drive Feed Roller cone Drilling

Machine], (2003), *Girnichia Elektromechanika ta Avtomatika*, Dnipropetrovsk, Ukraine: *NGU*, Vip.70, pp. 100 – 105 (In Russian).

9. Khilov V.S., (2012), The Information-Analytical Characteristics of the Busbar Field Parameters, *Materiali Midunarodnoi Konferencii "Forum Gornikiv – 2012"*, Dnipropetrovsk, Ukraine, *NGU*, pp. 90 – 95 (In English).

10. Hilov V.S.. Sistemi keruvania avtomatizirovanimi elektroprivodami karernih verstativ sharashkovogo burenia, [Automatic Control Automatic Electric career Looms Sharoshkovoho Drilling], (2013), Dnipropetrovsk, Ukraine: *NGU*, 256 p. (In Ukrainian).



Хілов

Віктор Сергійович, д-р техн. наук, проф. каф. метрології і інформаційно-вимірювальних технологій Ін-ту електроенергетики Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет». Дніпропетровськ, пр. К.Маркса,19, т.(0562)3730746.  
E-mail: khilov53@ukr.net.



Фофанов

Костянтин Петрович, магістр, інженер 374 відділу Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. академіка М.К.Янгеля», аспірант.  
Дніпропетровськ, вул. Криворізька, 3, т.(050)5277065.  
E-mail: indigo.kf@mail.ru