

УДК 62-83

Р. П. Герасимьяк, д-р техн. наук,
С. П. Савич, канд. техн. наук,
О. Б. Бабійчук, В. С. Савич

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ МЕХАНІЗМІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ІНЕРЦІЙНІСТЮ

Анотація. Представлено методіку розрахунку динамічних режимів електромеханічної системи, зокрема, кранового механізму обертання, який характеризується значною механічною інерційністю робочого органу поворотної платформи. Показано, що впровадження корегуючого зворотного зв'язку за різницею швидкостей обох мас такої ЕМС значно поліпшує показники якості перехідної функції, і головне – суттєво зменшує сплески моменту пружності кінематичної передачі.

Ключові слова: електромеханічна система, двомасова механічна частина, робочий орган, люфт, корегуючий зв'язок, показники якості, пружний зв'язок, в'язке тертя

R. P. Gerasymiak, Sc.D.,
S. P. Savich, Ph.D.,
O. B. Babychuk, V. S. Savich

QUALITY IMPROVEMENT OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF HIGH INERTIA MECHANISMS

Abstract. The technique of dynamic modes of electromechanical systems, in particular, the crane rotation mechanism, which is characterized by significant mechanical inertia of the working body - the turntable. It is shown that the use of corrective feedback saints according to the difference of velocities of the two masses significantly improves the quality of the transition function, and most importantly reduces the torque peaks elasticity.

Keywords: electromechanical system, two-mass mechanical part, the working body, correcting sviyes, quality indicators, the gap, elastic connection, viscous friction

Р. П. Герасимьяк, д-р техн. наук,
С. П. Савич, канд. техн. наук,
О. Б. Бабійчук, В. С. Савич

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕХАНИЗМОВ С ПОВЫШЕННОЙ ИНЕРЦИОННОСТЬЮ

Аннотация. Представлена методика расчёта динамических режимов электромеханической системы, в частности, кранового механизма поворота, который характеризуется существенной механической инерционностью рабочего органа – поворотной платформы. Показано, что применение корректирующей обратной связи по разности скоростей обеих масс такой ЭМС существенно улучшает показатели качества переходной функции, и главное, значительно уменьшает всплески момента упругости кинематической передачи

Ключевые слова: электромеханическая система, двухмассовая механическая часть, рабочий орган, зазор, корректирующая связь, показатели качества, упругая связь, вязкое трение

Вступ. До механізмів, у яких момент інерції робочого органу значно більше за момент інерції ротора двигуна, відносяться різноманітні транспортні механізми: візки, вагон-терези, мости мостових кранів, козлові крани, а також поворотні механізми стрілових кранів та екскаваторів. Останні характеризуються тим, що момент інерції поворотної платформи, приведений до валу двигуна, може в 10 – 25 разів перевищувати момент інерції ротора двигуна. А враховуючи, що такі механізми працюють у повторно –

короткочасному режимі, а у їх кінематичних ланках обов'язково присутні люфти, можна очікувати деяких неприємних наслідків роботи у перехідних режимах. Такими наслідками можуть бути значні механічні переваантаження передаточного пристрою між двигуном та поворотною платформою крана або екскаватора. Цьому питанню були присвячені різні роботи [2, 3, 5, 6], але дослідження, яке пропонується стосовно механізмів обертання, приводить до конкретних позитивних результатів.

Постановка задачі. Для дослідження електромеханічної системи (ЕМС) цих механізмів розглянемо їх розрахункову схему двомасової

© Герасимьяк Р.П., Савич С.П.,
Бабійчук О.Б., Савич В.С., 2014

механічної частини (ДМЧ), яка наведена на рис. 1. Вона складається з двох зосереджених мас (двигуна з моментом інерції J_1 і поворотної платформи з J_2), між якими існує гнучкий передаточний пристрій з коефіцієнтом жорсткості C_{12} та еквівалентним повітряним зазором δ ; останній реально існує в зубчатих передачах – в редукторі, а також в парі вал-триб – зубчастий вінець поворотної платформи.

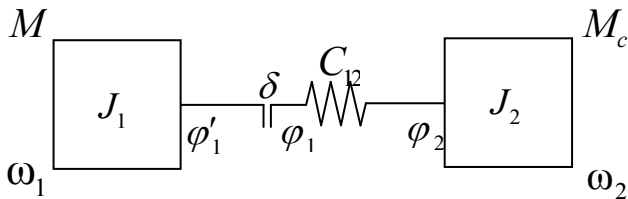


Рис. 1. Розрахункова схема ДМЧ ЕМС механізмів повороту

Узагальненими координатами на схемі є кути повороту φ_1 зосередженої маси з моментом інерції J_1 та φ_2 з моментом інерції робочого органу-поворотної платформи J_2 . Похідні від φ_1 та φ_2 є відповідно кутовими швидкостями ω_1 і ω_2 ; M – момент двигуна, M_c – статичний момент, прикладений до робочого органу (момент тертя під час руху поворотної платформи).

Проведене дослідження. Структурна схема ЕМС механізму обертання наведена на рис. 2. В ній всі величини приведені до обертального руху валу двигуна. До складу електричної частини входять перетворювач частоти ПЧ і електрична частина асинхронного двигуна АД (електромеханічний перетво-

рювач), на виході якої діє електромагнітний момент M_{Π} . Від'ємні зворотні зв'язки за швидкістю формують певні завдання на ПЧ для частоти і напруги.

Механічна частина – це друга частина двигуна (ротор), на виході якої маємо кутову швидкість ω_1 , крім того, на схемі показані дві ланки, на виході яких діє момент пружної ланки M_{12} і кутова швидкість другої маси ω_2 з відповідними внутрішніми зворотними зв'язками. На схемі нелінійним елементом НЕ враховано еквівалентний повітряний зазор δ . Саме завдяки йому кут обертання валу двигуна φ_1 не в будь-який момент часу дорівнює куту φ_2 – куту повороту тихохідного валу редуктора. Вважаємо, що рух другої маси може початися лише тоді, коли вибрана половина зазору $\delta/2$ (в одну або іншу сторону), тому при $|\varphi_1 - \varphi_2| < \delta/2$ в системі діє зазор, а момент пружного зв'язку $M_{12} = 0$. Тоді кожна зосереджена маса з моментами інерції J_1 і J_2 рухається окремо у відповідності зі своїми рівняннями:

$$\begin{cases} M = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} \\ -M_c = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} \end{cases} \quad (1)$$

І лише коли $|\varphi_1 - \varphi_2| > \delta/2$, тобто зазор виявляється вибраним, починає змінюватися кут φ_1 , а $M_{12} \neq 0$, тоді дійсна наступна система рівнянь для ДМЧ:

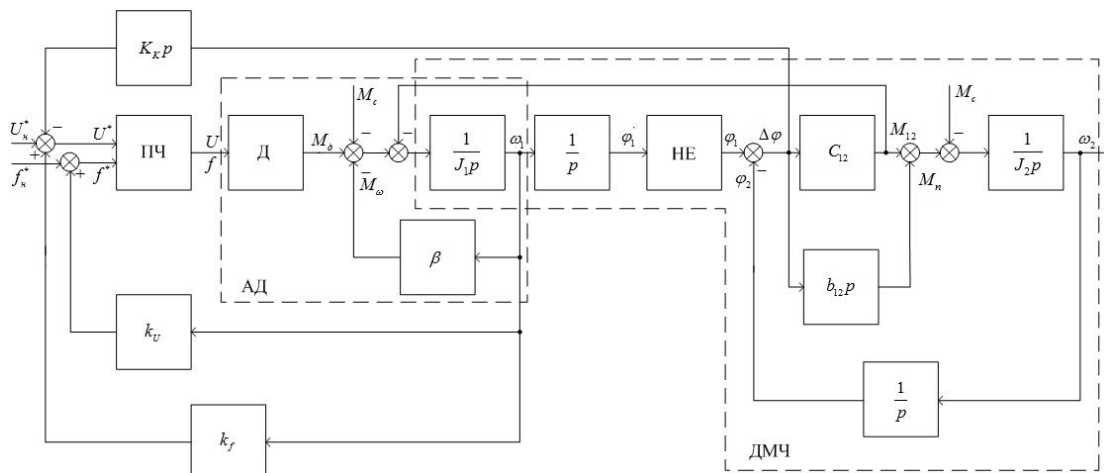


Рис. 2. Структурна схема ЕМС механізму обертання

$$\begin{cases} M = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} + C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + b_{12}(\omega_1 - \omega_2) \\ C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + b_{12}(\omega_1 - \omega_2) = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + M_c \end{cases} \quad (2)$$

На рис. 2 і в рівняннях (2) коефіцієнтом b_{12} враховано в'язке тертя при деформації (втрати на дисипацію).

Моделювання проводилось для двигуна 4МТКН-225М8, 30 кВт. Електропривод ПЧ-АД забезпечує постійний момент при пуску $M=1,2M_n = 491,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Постійний момент отримуємо завдяки зворотним зв'язкам з коефіцієнтами K_f і K_u , які належним чином корегують завдання для частоти і напруги ПЧ (рис.2). Моделювання здійснюється для режиму, коли приведений момент інерції робочого органу (платформи) у 16 разів більше моменту інерції двигуна, а приведений зазор дорівнює 0,5 рад. Результати моделювання показані на рис. 3, де наведені осцилограми моменту пружності і швидкостей на початку пуску.

Аналізуючи наведені результати моделювання, можна зробити певні висновки: максимальне значення моменту пружної деформації при пуску $M_{12\text{max}} = 1790 \text{ Н}\cdot\text{м}$, що відповідає майже 4,5 номінального моменту двигуна. Характер цих коливань – затухаючий, але кількість коливань $n = 18$.

Для зниження піків моменту, які негатив

но впливають на поведінку різних ланок кінематики, доцільно використати корегуючий зв'язок – від'ємний гнучкий зв'язок за пружним моментом, як це показано на структурній схемі рис. 2.

Логічно припустити, що введення жорсткого від'ємного зворотного зв'язку за різницею швидкостей $\omega_1 - \omega_2$ який еквівалентний гнучкому зв'язку за пружним моментом M_{12} , дозволить додатково демпфувати коливання. Відзначимо, що саме втрати від в'язкого тертя пропорційні різниці швидкостей $M_{12} = b_{12}(\omega_1 - \omega_2)$. Реалізується зворотний зв'язок за $\Delta\omega$ з коефіцієнтом передачі K_K (коефіцієнт корекції).

Для визначення коефіцієнта корекції скористаємось формулою [7]:

$$K_K = \frac{1}{K_0} \left[\frac{3}{\gamma} \left(\frac{2}{27} \frac{T_m^2}{T^2} + 1 \right) - 1 \right] \quad (3)$$

де T – стала часу, яка є оберненою величиною власної частоти коливань двомасової механічної частини; T_m – електромеханічна стала часу ЕМС, коли $C_{12} = \infty$; $\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$ – відношення моментів інерції; K_0 – коефіцієнт передачі перетворювача частоти і електро-механічного перетворювача. Для заданих параметрів $K_K = 0,134 \text{ В}\cdot\text{с}$.

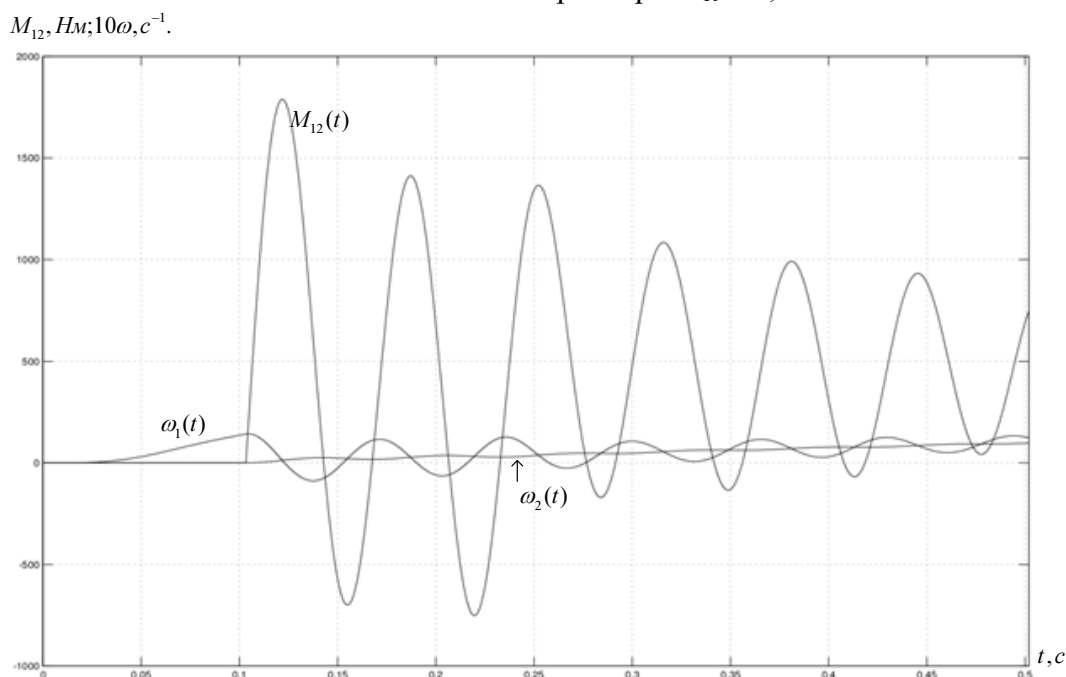


Рис. 3. Осцилограми ЕМС на початку пуску

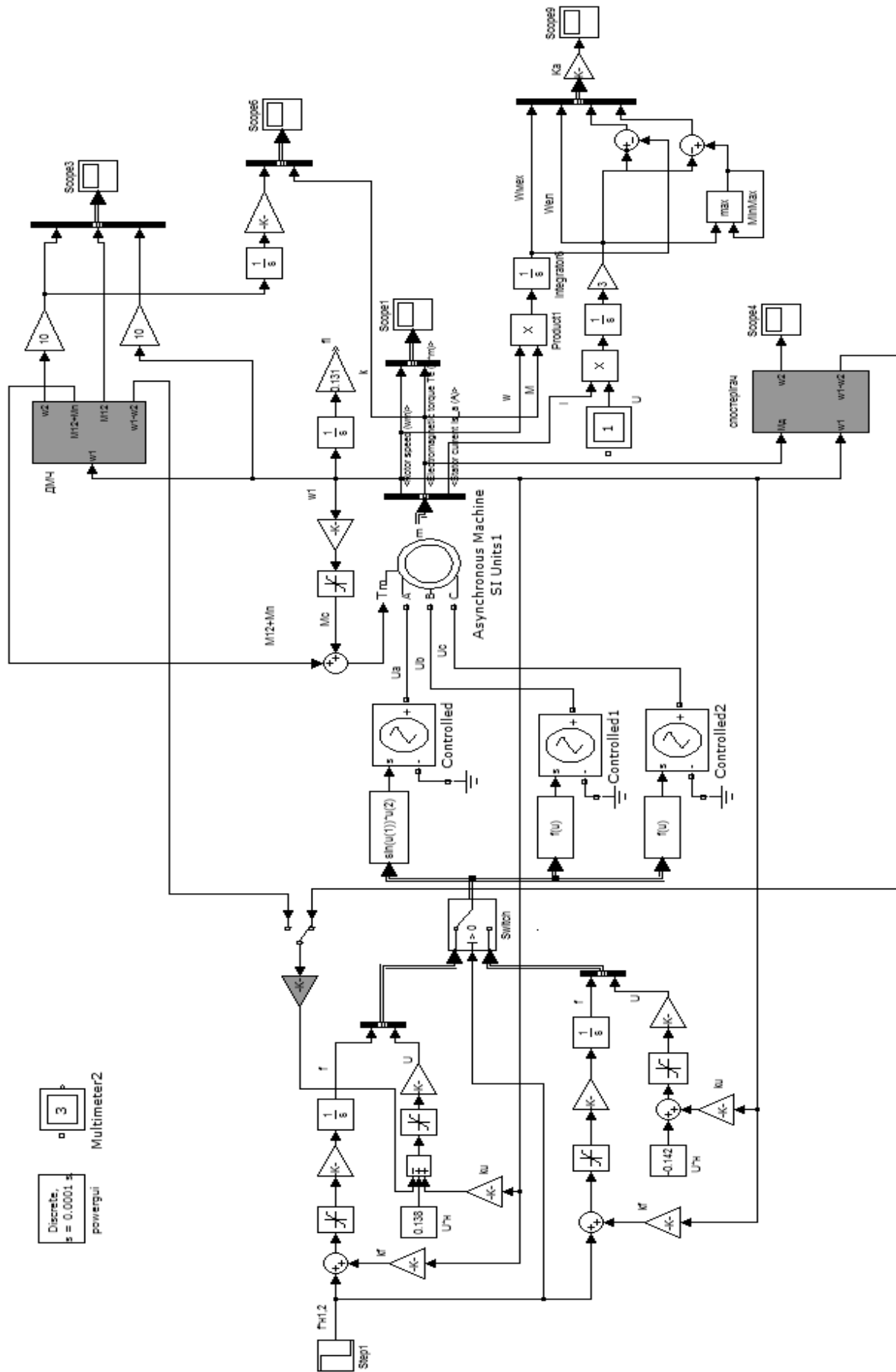


Рис.4. Блок-схема моделі ЕМС зі спостерігачем

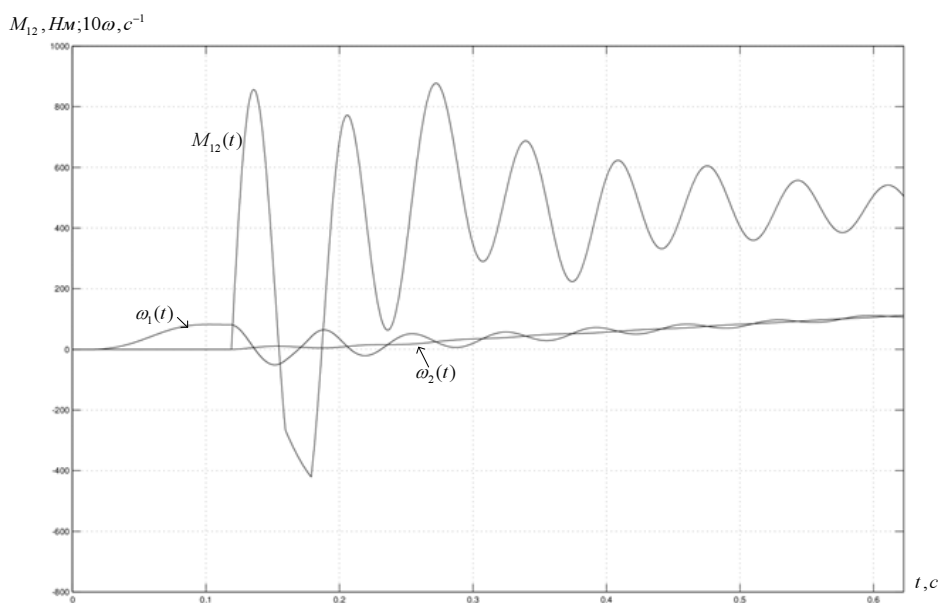


Рис. 5. Графіки пуску $M_{12}(t)$, $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$ з коригуючим зв'язком

Для здійснення запропонованого зворотного зв'язку за різницею швидкостей безпосереднє вимірювання швидкості другої маси (робочого органу) ω_2 технічно майже неможливе. Саме тому постає завдання її штучного відтворення, або її відновлення за допомогою спостерігаючого пристрою – спостерігача. Модель електромеханічної системи механізму повороту з електроприводом ПЧ-АД і спостерігачем представлено на рис.4.

На рис. 5 показані результати моделювання ЕМС з корекцією – графіки пружного моменту і швидкостей обох мас. На основі цього та деяких інших результатів моделювання очевидно, що для конкретного механізму повороту з запропованою корекцією максимальне значення моменту пружної деформації при пуску $M_{12,max} = 877$ Нм що не перевищує 2,14 номінального моменту двигуна. Характер цих коливань – затухаючий, з кількістю коливань лише $n = 7$. Графік швидкості двигуна ω_1 має коливальний, але швидко затухаючий характер, швидкість другої маси ω_2 змінюється монотонно.

Висновки. Таким чином, при використанні електропривода ПЧ-АД саме корекція – від'ємний зворотний зв'язок за різницею швидкостей $\omega_1 - \omega_2$ дозволила при роботі механізму повороту з люфтами в передачі знизити максимальне значення амплітуди

M_{12} в 2...2,5 рази і значно зменшити кількість коливань, що безумовно має збільшити працездатність всіх ланок електромеханічної системи інерційних механізмів обертання. Необхідно зауважити, що збільшення зазору приводить до ще більшого перевантаження ланок механізму. Тому запропонований корегуючий зв'язок і в цьому випадку сприяє покращенню якості перехідних процесів ЕМС.

Список використаної літератури

1. Онищенко Г. Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г. Б. Онищенко, М. И. Аксенов, В. П. Грехов и др. – М. : РАСХН, 2001. – 520 с.
2. Борцов Ю. А. Тиристорные системы электропривода с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – М. : Энергия, 1979. – 160 с.
3. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В. И. Ключев. – М. : Энергия, 1971. – 320 с.
4. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
5. Комаров М. С. Динамика грузоподъемных машин / М. С. Комаров. – М. : Машгиз, 1962. – 262 с.
6. Шевырев Ю. В. Необходимые и достаточные условия демпфирования колеба-

ний в упругих системах средствами электропривода / Ю. В. Шевырев // *Электромеханика*. – 1989. – № 2. – С.93 – 99.

7. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещев. – Одесса : СМІЛ, 2008. – 192 с .

8. Справочник по кранам: Т.1 / Под ред. М. М. Гохберга. – М. : Машиностроение, 1988. – 536 с.

9. Яуре А. Г. Крановый электропривод: Справочник / А. Г. Яуре, Е. М. Певзнер.–М. : Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.

10. Trzynadlowski A. M. Control of induction motors. – Academic Press, 1999. – 228 p.

Отримано 08.05.2014

References

1. Onishchenko G.B., Aksenov M. I., Grekhov V. P.i dr. *Avtomatizirovanniy elektropriwod promyshlennykh ustanovok* [The Automated Electric Drive of Plants], (2001), Moscow, Russian Federation, *RASKhN Publ.*, 520 p. (In Russian).

2. Bortsov Yu.A., and Sokolovskii G.G. *Tiristornye sistemy elektropriwoda s uprugimi svyazyami*, [Thyristor Systems of the Electric Drive with Elastic Communications], (1979), Moscow, Russian Federation, *Energiya Publ.*, 160 p. (In Russian).

3. Klyuchev V.I. *Ogranichenie dinamicheskikh nagruzok elektropriwoda* [Restriction of Dynamic Loadings of the Electric Drive], (1971), Moscow, Russian Federation, *Energiya Publ.*, 320 p. (In Russian).

4. Klyuchev V.I., and Terekhov V.M. *Elektropriwod i avtomatizatsiya obshchepromyshlennykh mekhanizmov* [Electric Drive and Automation of Common Industrial Mechanisms], (1980), Moscow, Russian Federation, *Energiya Publ.*, 360 p. (In Russian).

5. Komarov M.S. *Dinamika gruzopod"emnykh mashin* [Dynamics of Lad-lifting Cars], (1962), Moscow, Russian Federation, *Mashgiz Publ.*, 262 p. (In Russian).

6. Shevyrev Yu.V. *Neobkhodimye i dostatochnye usloviya dempfirovaniya kolebaniy v uprugikh sistemakh sredstvami elektropriwoda* [Necessary and Sufficient Conditions of Fluctuations Damping in Elastic Systems Mans of the

Eectric Dive], (1989), *Elektromekhanika Publ.*, No. 2, pp. 93 – 99 (In Russian).

7. Gerasimiyak R.P., and Leshchev V.A. *Analiz i sintez kra-novykh elektromekhanicheskikh system* [Analysis and Snthesis of Cane Ectromechanical Systems], (2008), Odessa, Ukraine, *SMIL Publ.*, 192 p. (In Russian).

8. *Spravochnik po kranam*. Pod red. M. M. Gokhberga [Reference Book on Cranes: Spravochnik po Kranam: Ed. M. Hochberg], (1988), Moscow, Russian Federation, *Mashinostroenie Publ.*, Vol.1, 536 p. (In Russian).

9. Yaure A.G., and Pevzner E.M. *Kranoviy elektropriwod: Spravochnik* [Crane Electric Drive: Spravochnik], (1988), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat Publ.*, 344 p. (In Russian).

10. Trzynadlowski A.M. *Control of Induction Motors*, (1999), *Academic Press*, 228 p.



Герасимьяк
Ростислав Павлович
д-р техн. наук,
проф. каф. ЕМС КУ
Одеського нац. політехн. ун-ту
E-mail:
rgerasymiak@gmail.com



Савич Світлана
Павлівна,
к.т.н., каф. електропостачання
і енергоменеджменту
Одеського нац. політехн. ун-ту
E-mail: savich@te.net.ua



Бабійчук
Ольга Борисівна,
ст. викладач каф. ЕМС КУ
Одеського нац. політехн. ун-ту.
E-mail:
babiychuk@ukr.net



Савич
Віталій Святославович, аспірант каф. електропостачання і енергоменеджменту
Одеського нац. політехн. ун-ту
E-mail: savich@te.net.ua