

ОСОБЛИВОСТІ КОРЕКЦІЇ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНИХ ДВИГУНІВ ІЗ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА СТРУМОМ

Мета. Дослідження можливостей покращення статичних характеристик двофазного вентильного двигуна з зворотним зв'язком за фазними струмами, котрі формує його комутатор. Отримання аналітичних залежностей, що пов'язують передатні функції каналів датчика положення ротора з амплітудно – частотних, з амплітудно – фазовими характеристиками, а також параметрами схеми заміщення двигуна, залежності електромагнітного моменту вентильного двигуна від значення вагового коефіцієнта.

Методи дослідження. Досліджуються способи параметричної корекції, які покращують статичні характеристики досліджуваного вентильного двигуна. Вони слугували підґрунтям для одержання математичних залежностей, що описують можливості зменшення часу датчика положення ротора на порядок і спрощує будову і налаштування електронних вузлів.

Наукова новизна. Встановлено залежності електромагнітного моменту вентильного двигуна від значення вагового коефіцієнта та часу вентильного двигуна, що забезпечує спрощення будову і налаштування електронних вузлів. Розв'язання даного завдання складає актуальність даної роботи. Її метою є математичне моделювання передатних функцій фільтрів низької частоти, розрахунок сталих часу для фільтрів низької частоти, амплітудо – частотних та фазочастотних характеристик для вентильного двигуна.

Практична значимість. Практична цінність отриманих статичних характеристик вентильного двигуна полягає у можливості побудови набагато точніших систем на основі вентильних двигунів з істотним спрощенням електричних схем та налаштуванням відповідних ним електронним вузлам. В результаті чого зменшуються капітальні затрати на обслуговування даного вентильного двигуна та його системи керування, та збільшує економічну ефективність самого підприємства.

Результати. Отримані статичні характеристики вентильного двигуна можуть зменшити постійні часу фільтру низьких частот без збільшення відносної амплітуди пульсацій вихідної напруги датчика положення ротора та зменшення постійної часу датчика положення ротора майже на порядок.

Ключові слова: вентильний двигун зі зворотним зв'язком за фазними струмами, датчик положення ротора, синусно – косинусний обертовий трансформатор, фазочутливий випрямляч, фільтр низьких частот.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-71-76

Проблема та її зв'язок з практичними завданнями. Проблема корекції статичних характеристик електроприводів з ВД завжди була і є актуальним напрямком, котрий необхідно досліджувати як в цілому, так і в конкретних реалізаціях [1]. Достатньо ефективним методом корекції статичних характеристик є компенсаційний [2]. Особливо важливим це питання стає під час побудови компактної та енергоефективної системи з простою побудовою та налаштуванням [3]. При цьому існують проблеми, без вирішення котрих корекція статичних характеристик ВД не є ефективним.

Аналіз дослідження і публікацій. Дослідження корекції статичних характеристик ВД присвячена велика кількість публікацій. При цьому автори вивчали побудову ВД з зворотними зв'язками по фазним струмам та безперервним керуванням вентильних двигунів. Це, в свою чергу не дозволяє в повній мірі реалізувати просту схемну реалізацію та налаштування системи ВД з зворотним зв'язком за струмом.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження особливостей корекції статичних характеристик вентильних двигунів з зворотним зв'язком за струмом.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: 1) отримання аналітичних залежностей, що пов'язують електромагнітний момент від вагового коефіцієнта; 2) виявлення граничних умов існування параметричної та компенсаційної корекцій, визначення оптимального часу перехідного процесу.

Викладення матеріалу та результати. Вентильні двигуни (ВД) з магнітоелектричним збудженням внаслідок малого числа фазних обмоток й дискретного характеру їх перемикавання мають нерівномірний електромагнітний момент [4], котрий ускладнює використання їх у слідкуючих системах й автоматизованих електроприводах з широким діапазоном регулювання кутової швидкості.

Найбільш ефективним й самим розповсюдженим способом підвищення електромагнітного моменту ВД є живлення його фазних обмоток струмами синусоїдної форми. Для їх завдання у ВД встановлюють синусно-косинусний датчик положення ротора (ДПР) [2–9, 11–15], за вихідними напругами котрого напівпровідниковим комутатором (НК) у ВД формуються фазні струму відповідної їм форми й амплітуди.

У якості таких ДПР у ВД найчастіше встановлюють безконтактні синусно – косинусні обертіві трансформатори (СКОТ) вбудованого виконання типу індуктивного редуктосина [2–4, 7, 8, 10] або револьвера [9, 11–15], виготовленого з однаковим числом пар полюсів.

Інші типи синусно-косинусних ДПР [8], принцип дії котрих заснований на гігантському магніторезистивному ефекті [13–15], у ВД мають поки що обмежене використання.

Для виділення огибаючих напруг СКОТ застосовують також пристрої вибірки – зберігання [3, 7], а для перетворення у цифровий код – спеціальні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) [1] або АЦП мікроконтролерів [2, 9, 10]. Після їх оброблення за заданими алгоритмами мікроконтролером системи керування ВД вони перетворюються цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП) знову у гармонічні напруги.

Усі вказані пристрої працюють за принципом зчитування, тому внаслідок дискретизації по часу й квантуванню за рівнем вносять у надходячі з виходів ЦАП на входи комутаторів напруги й, відповідно у фазні струми ВД чисте запізнення й додаткові високочастотні складові [2, 7, 10, 15].

Зниження впливу цих негативних явищ досягається підвищенням розрядності й тактової частоти АЦП, ЦАП й мікроконтролера. Однак усе це не дає позитивних результатів, якщо надходячі на входи АЦП вихідні напруги ФЧВ не будуть попередньо згладжені ФНЧ. При відсутності ФНЧ частота зчитування вихідних напруг ФЧВ не перевищує $2f_0$, а квантування за рівнем буде малим тільки при дуже малій кутовій швидкості ВД [3, 7]. Тому ФНЧ є необхідними ланками ДПР на основі СКОТ.

Коефіцієнт передачі ВД як ланцюга його системи автоматичного керування (САК) залежить від кутової швидкості, що ускладнює налаштування її регуляторів, особливо при широкому діапазоні регулювання кутової швидкості ВД.

Зменшення негативного впливу інерційності електронних вузлів й фазних обмоток на статичні характеристики ВД з ДПР на основі СКОТ можливо 2 способами: компенсаційним; параметричним.

Компенсація фазних струмів ВД, викликано однією з постійних часу, наприклад, постійної часу фазних обмоток, може бути здійснена введенням в ВД блоку корекції, котрий складається з: тахогенератора й модулятора, до виходу котрого підключена квадратурна обмотка СКОТ [7, 10].

Іншим варіантом часткової компенсації впливу постійних часу ВД є введення у його САК контуру адаптивного керування з еталонною моделлю з сигнальним само налаштуванням [2].

Реалізація компенсаційних способів корекції статичних характеристик ВД ускладнює його конструкцію й налаштування електричної частини й тим самим звужує область його використання.

Параметричні способи корекції статичних характеристик ВД можуть бути не менш ефективні, ніж компенсаційні способи, й використовуватися як спільно з ним, так й самостійно.

Вони залежать від способу формування фазних струмів ВД і поєднують у собі раціональний вибір структури й параметрів ФНЧ з удосконаленням схемотехнічного виконання електричних вузлів електродвигуна.

У ВД з зворотним зв'язком по фазним струмам при неперервному способі їх формування, як показано у [11], постійні часу фазних обмоток не впливають на його статичні характеристики.

Тоді основною причиною запізнення фазних струмів ВД відносно ЕРС обертання будуть постійні часу ФНЧ синусно-косинусного ДПР й каналів комутатора.

Отримані вирази статичних характеристик ідеалізованого ВД з двофазною чотирьохсекційною обмоткою, з'єднаною зіркою зі спільним проводом, синусно-косинусним ДПР й комутатором, котрий здійснює зворотний зв'язок по фазним струмам, не враховуючи інерційність вказаних вузлів.

Застосовувані у синусно-косинусних ДПР фільтри – зазвичай першого чи другого порядку [2, 3], причому у останньому випадку ФНЧ може бути дволанковим.

Зробимо припущення, що його першою ланкою є безпосередньо що входить у ДПР ФНЧ, а другою ланкою – канал комутатора, виконаний за схемою аперіодичного ланцюга.

З урахуванням цього передатні функції каналів ДПР й комутатора будуть мати вид

$$W_{\text{дп}}(p) = \frac{K_{\text{дп}}}{T_{\text{дп}} p + 1}; \quad (1)$$

$$W_{\text{к}}(p) = \frac{K_{\text{к}}}{T_{\text{к}} p + 1}, \quad (2)$$

де $K_{\text{дп}}$ – коефіцієнт передачі ДПР при нерухомому роторі ВД; $T_{\text{дп}}$ – постійна часу ДПР; $K_{\text{к}}$ – коефіцієнт передачі комутатора при нерухомому роторі ВД; $T_{\text{к}}$ – постійна часу комутатора.

Передатні функції (1), (2) відповідають амплітудно-фазові характеристики

$$W_{\text{дп}}(j\omega_{\epsilon}) = k_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon})^{-j\psi_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon})}, \quad W_{\text{к}}(j\omega_{\epsilon}) = k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon}); \quad (3)$$

$$W_{\text{к}}(j\omega_{\epsilon}) = k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})^{-j\psi_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})}, \quad (4)$$

у котрих $k_{\text{дп}}(\omega)$, $k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})$ являють собою амплітудно-частотні, а $\psi_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon})$, $\psi_{\text{к}}(\omega_{\epsilon})$ – фазочастотні характеристики розглянутих вузлів. Вони описуються виразами

$$k_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon}) = \frac{K_{\text{дп}}}{\sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}})^2}}; \quad (5)$$

$$k_{\text{к}}(\omega_{\epsilon}) = \frac{K_{\text{к}}}{\sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{к}})^2}}; \quad (6)$$

$$\psi_{\text{дп}}(\omega_{\epsilon}) = \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}}); \quad (7)$$

$$\psi_{\text{к}}(\omega_{\epsilon}) = \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{к}}), \quad (8)$$

де $\omega_{\epsilon} = p_{\epsilon} \nu \omega_{\epsilon}$ – кутова частота фазних струмів; p_{ϵ} – число пар полюсів ВД; $\nu = \omega/\omega_0$ – відносна кутова швидкість ВД; ω_0 – кутова швидкість ВД; $\omega_0 = U_n/C_{\epsilon}$ – базове значення кутової швидкості ідеального холостого ходу; C_{ϵ} – конструкційна постійна ВД; U_n – напруга джерела живлення.

Із (1) – (8) випливає, що кут зсуву фаз струмів відносно ЕРС обертання ВД дорівнює

$$\psi(\omega_{\epsilon}) = \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}}) + \arctg(\omega_{\epsilon} T_{\text{к}}). \quad (9)$$

Коефіцієнт завантаження його по струму визначається із виразу

$$k_{mn}(\omega_{\epsilon}) = \frac{K_{mn}}{\sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{дп}})^2} + \sqrt{1 + (\omega_{\epsilon} T_{\text{к}})^2}}, \quad (10)$$

де $K_{m.n.} = I_{\text{сmax}}/I_{\text{сн}}$ – коефіцієнт завантаження ВД за струмом при нерухомому роторі; $I_{\text{сmax}} = K_{\text{дп}} K_{\text{к}} U_{\text{к}}$ – амплітуда секцій фазних обмоток; $U_{\text{к}}$ – напруга керування ВД; $I_{\text{сн}} = U_n/R_{\text{с}}$ – пусковий струм секції фазної обмотки; $R_{\text{с}}$ – активний опір секції фазної обмотки ВД.

Тоді струму у ввімкнених секціях фазних обмоток розглянутого ВД будуть змінюватися за наступними залежностями

$$i_{c1}(\alpha) = k_{mn}(\omega_{\epsilon}) I_{\text{сн}} \sin(\alpha - \psi(\omega_{\epsilon})); \quad (11)$$

$$i_{c2}(\alpha) = k_{mn}(\omega_{\epsilon}) I_{\text{сн}} \cos(\alpha - \psi(\omega_{\epsilon})). \quad (12)$$

При ЕРС обертання у цих секціях фазних обмоток ВД

$$E_{c1}(\alpha) = U_n \nu \sin(\alpha); \quad (13)$$

$$E_{c2}(\alpha) = U_n \nu \cos(\alpha), \quad (14)$$

де α – кут повороту ротору ВД (у електричних радіанах), відлічуваний від моменту природної комутації.

Виразу напруги на силових транзисторах комутатора, працюючих у активному режимі, визначаємо із рівнянь, складених за другим законом Кірхгофа для комутації секцій фазних обмоток ВД.

Вони мають вид

$$U_{mp1}(\alpha) = U_n [1 - v \sin(\alpha) - k_{mn}(\omega_c) \sin(\alpha - \psi(\omega_c))]; \quad (15)$$

$$U_{mp2}(\alpha) = U_n [1 - v \cos(\alpha) - k_{mn}(\omega_c) \cos(\alpha - \psi(\omega_c))]. \quad (16)$$

Підставивши (11)–(16) у відповідні базові вирази основних статичних характеристик ВД [11], отримуємо залежності його середнього електромагнітного моменту M_{cp} , споживаної потужності P_c , потужностей втрат у комутаторі ΔP_k і міді фазних обмоток ΔP_m , електромагнітного ККД ВД η й ККД комутатора η_k від постійних часу ФНЧ ДПР й комутатора

$$M_{cp} = \frac{U_n}{\omega_0} I_{cn} k_{mn}(\omega_c) \cos(\psi(\omega_c)); \quad (17)$$

$$P_n = \frac{4}{\pi} U_n I_{cn} k_{mn}(\omega_c); \quad (18)$$

$$\Delta P_k = \frac{4}{\pi} U_n I_{cn} k_{mn}(\omega_c) \left\{ 1 - \frac{\pi}{4} [k_{mn}(\omega_c) + v \cos(\omega_c)] \right\}; \quad (19)$$

$$\Delta P_m = U_n I_{cn} k_{mn}^2(\omega_c); \quad (20)$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} v \cos(\omega_c); \quad (21)$$

$$\eta_k = \frac{\pi}{4} [v \cos(\omega_c) + k_{mn}(\omega_c)]. \quad (22)$$

Аналіз виразів (17)–(22) спільно с (9), (10) показує, що електромагнітний момент M_{cp} , ККД ВД η й ККД комутатора η_k зменшуються як із збільшенням T_{dnp} й T_k , так і кутової швидкості двигуна.

Це викликано не тільки впливом зсуву фаз струмів й ЕРС обертання ВД, але й зменшенням амплітуди фазних струмів.

Слідє відмітити, що на крутизну регульовальної характеристики й погіршення енергетичних показників ВД з ДПР на основі СКОТ впливають не тільки значення постійних часу T_{dnp} й $T_{\omega d}$, але й їх відношення.

Для вибору оптимального відношення цих постійних часу представимо їх у наступному вигляді

$$T_{dnp} = k_\phi T_{\omega d} \quad \text{та} \quad T_k = (1 - k_\phi) T_{\omega d}, \quad (23)$$

де $T_{\omega d} = T_{dnp} + T_k$; k_ϕ – ваговий коефіцієнт постійної часу ФНЧ ДПР.

Найбільш розповсюдженим рекомендованим способом зменшення постійної часу T_{dnp} є підвищення частоти напруги збудження СКОТ [2, 7].

Здавалося б, що зі збільшенням, зберігаючи постійною відносно амплітуду пульсацій вихідної напруги ФНЧ, постійну часу T_{dnp} можна пропорційно зменшити, однак на практиці маємо протилежний результат.

Було встановлено, що з підвищенням частоти напруги збудження f_z до 2 кГц й вище імпульси вихідних напруг СКОТ приймають вид затухаючих коливань. При чому характер комутаційного процесу зберігається навіть при нульовому положенні ротора. Природно, що при такій формі вихідного СКОТ будуть високі й пульсації вихідної напруги ФЧВ (рис.1). Необхідність їх згладжування і призводить до збільшення постійної часу T_{dnp} .

Пошук причин виникнення коливальної складової у вихідній напрузі ФЧВ ґрунтувався на пропозиції, що ці коливання обумовлені його власною ємністю, утвореної ємнісними зв'язками між первинною й вторинною обмотками, а також між обмотками й магнітопроводом [12].

Для аналізу ступеню впливу власної ємності СКОТ на амплітуду додаткових пульсацій вихідної напруги можна скористатися його схемою заміщення, котра представлена на рис.2.

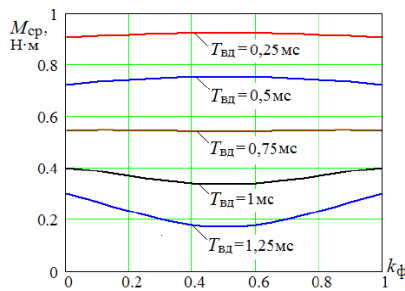


Рис.1. Залежності електромагнітного моменту ВД від значення вагового коефіцієнта k_ϕ при $v = 0,7$ і $K_{с,м} = 0,22$

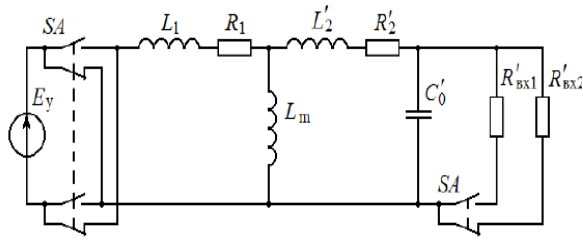


Рис.2 Схема заміщення СКОТ, навантаженого входним опором ФЧВ

Вона складена для положення ротора, при якому напруга на одній вторинній обмотці, наприклад, синусної, – максимально, а на косинусній – дорівнює нулю, і, відповідно, вплив її струму на режими роботи інших обмоток СКОТ – дуже малий. Параметри схеми заміщення СКВТ на рис. 2. позначені загальнопри-

йнятими символами $R_1, L_1, R_2', L_2', L_m$.

До виходу схеми заміщення СКВТ підключена його власна ємність C_0' , в залежності від напівтакт комутації ФЧВ, його входний опір R'_{ex1} або R'_{ex2} , наведені до первинної обмотці. Двополярні імпульси напруги харчування СКВТ формуються перемиканням джерела ЕРС управління E_y вимикачем SA.

Схему заміщення СКВТ на рис. 2 можна перетворити в еквівалентну по відношенню до джерела ЕРС E_y схему, що складається з послідовно з'єднаних резистора R_e , котушки індуктивності L_e і конденсатора C_e . Характер вільної складової перехідного процесу в цій еквівалентній схемі і, відповідно, зміни вихідної напруги зміни вихідної напруги СКОТ після комутації джерела ЕРС E_y будуть визначатися коренями характеристичного рівняння

$$p^2 + \frac{R_e}{L_e} p + \frac{1}{L_e C_e} = 0, \quad (24)$$

котрі можуть бути дійсними або комплексно-спряженими.

Вид коренів характеристичного рівняння (24) залежить від співвідношення параметрів схеми заміщення СКОТ. З огляду на, що, як в звичайному трансформаторі, так і в СКОТ, для змінного опору гілки намагнічування виконуються умови $L_m \gg L_1, L_m \gg L_2', C_0' = \text{const}$, основним параметром, що визначають чим вид коренів рівняння (24), буде R_e . При незмінних R_1 і R_2' значення R_e буде залежати в основному від входних опорів R'_{ex1}, R'_{ex2} ФЧВ. Резистори R'_{ex1}, R'_{ex2} на схемі заміщення СКОТ підключаються паралельно ємності C_0' , тому R_e при збільшенні їх опорів зменшується, і при певному значенні R'_{ex1} перехідний процес при комутації напруги збудження СКОТ стає коливальним.

За допомогою схеми заміщення СКОТ можна пояснити і виникнення підйомів і провалів в вихідній напрузі ФЧВ, виконаного за типовою схемою [3]. З принципу роботи цього ФЧВ слід, що на кожному напівтакті перетворення вихідної напруги СКОТ його входні опору R'_{ex1}, R'_{ex2} мають різні значення, що відрізняються один від одного в 2–3 рази.

Це призводить до періодичного з частоти f_e зміни коефіцієнта завантаження СКОТ, наслідком якого є різний на кожному напівтакті падіння напруги на його обмотках і, природно, різний вихідна напруга ФЧВ. Тому для зменшення амплітуди пульсацій вихідної напруги ФЧВ і, відповідно, зменшення постійної часу T_{dnp} необхідно використовувати для демодуляції вихідних напруг СКВТ ФЧВ з однаковим на всіх напівтакті перетворення входним опором [5] і вибирати його таким, щоб комутаційний процес носив аперіодичний характер.

Експериментальна перевірка ефективності запропонованих параметричних способів корекції статичних характеристик ВД показала, що без збільшення відносної амплітуди пульсацій вихідної напруги ДПР на основі СКВТ типу ВТ 60 постійної часу його ФНЧ при $f_e = 2000$ Гц можуть бути зменшені до $T_{dnp} = 0,12$ мс, тобто майже на порядок. У зв'язку з цим можна знехтувати їх впливом на статичні характеристики ВД зі зворотним зв'язком по фазним струмів, що спростить будову і налаштування його електронних вузлів.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У роботі виконано дослідження можливостей покращення статичних характеристик двофазного вентильного двигуна з зворотним зв'язком за фазними струмами, котрі формує його комутатор. Отримано аналітичні вирази для статичних характеристик вентильного двигуна, котрі дозволяють оцінити ступінь негативного впливу на них постійних часу фільтрів низьких частот й комутатора. Перевірено експериментально ефективні способи параметричної корекції, з покращенням статичних характеристик досліджуваного вентильного двигуна. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості побудови набагато точніших систем на основі вентильних двигунів з істотним спро-

щенням електричних схем та налаштуванням відповідних ним електронним вузлам. Також відбувається спрощення електричної схеми, що тягне за собою спрощення у налаштуванні електронних вузлів у неї. Як наслідок збільшення надійності самого електрообладнання та зменшення капітальних витрат на його обслуговування. Що в свою чергу дозволяє збільшити економічний ефект від впровадження даної системи на металургійному підприємстві. збільшення рентабельності самого підприємства для закупки нового обладнання, або модернізації іншого наявного на ньому обладнання на більш енергозберігаюче за рахунок збільшення ККД, і т.д. Отже, було розроблено ряд рекомендацій, що можуть бути використані проектувальниками електромеханічних систем на основі вентильних двигунів. Перевірено експериментально ефективні способи параметричної корекції, з покращенням статичних характеристик досліджуваного вентильного двигуна.

Список літератури

1. Ануфрієв В., Лужбінін А., Шумилин С. Мікросхема перетворювача кут – код для індуктивних датчиків // Сучасна електроніка. 2015 рік, № 3. С. 2 – 5
2. О.З. Попков Основи перетворювальної техніки, учбовий посібник для вузів, – М. 2007 рік, – 200 с. іл.
3. Бєленький Ю. М., Зеленков Г. С., Мікерена А. Г. Досвід розробки і застосування безконтактних моментних приводів. Л.: ЛДНТП, 1987 рік, 28 с.
4. Герман – Галкін С. Г. Matlab&Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК. СПб.: КОРОНА – Век, 2008 рік, 368 с. іл.
5. Гутников В. С. Інтегральна електроніка в вимірювальних приладах. Л.: Енергія, 1980 рік, 248 с. іл.
6. Овчинников І. Е. Вентильні електричні двигуни і привід на їх основі (мала і середня потужність). СПб.: КОРОНА – Век, 2007 рік, 336 с. іл.
7. Практика приводної техніки. Сервоприводи [Електронний ресурс]. URL: <http://www.sew-eurodrive.ru/files/pdf/11322853.pdf>
8. Соловійов В. А. Вентильний двигун зі зворотним зв'язком по струмів фазних обмоток // Електрика. 1995 рік, № 1. с. 56 – 61
9. Стародубцев Ю. М. Теорія і розрахунок трансформаторів малої потужності. М., 2005 рік 320 с. іл.
10. Драчов Г. І. Теорія електроприводу: навчальний посібник – Челябинськ, ЮУрГУ, 2006 рік, частина 2 – 193 с. іл.
11. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода, навчальний посібник, – К., Кондор, 2012 рік, – 408 с. іл.
12. Косулін В. Д, Михайлов Г. Б., Омельченко В. В., Путніков В. В. Вентильні електродвигуни малої потужності для промислових роботів. Л., Енергоатоміздат, 1988 рік, 184с. іл.
13. Боровіков М. А., Доманов В. І., Нашатиркін В. Е. Слідкуючий електропривод з обчислювачами координат по сигналам датчика положення ротора, Електрика, 1990 рік, №10, с. 76 – 80
14. Е. М. Овсяніков Електричний привід, М., Форум, 2011 рік, 224 с. іл.
15. Петухов С. В., Кришьяніс М. В. Електропривод промислових установок: навчальний посібник – Архангельськ: С (А)ФУ, 2015 рік. – 303 с. іл.

Рукопис подано до редакції 06.04.2018

УДК 622.27: 622.271.4

С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., С.А. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА ОТСТАВАНИЕ ВСКРЫШНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ

Цель. Усовершенствовать научно-методическую базу в области проектирования и планирования открытых горных работ путем разработки новых и корректировки существующих методов определения параметров системы разработки. Обосновать влияние метода определения ширины рабочей площадки, учитывающий ее взаимосвязь с длиной активного фронта горных работ и производительностью по руде на отставание по вскрыше.

Методы исследования. Исследование влияния параметров системы разработки на отставание вскрышных работ необходимо осуществлять с учетом взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ, которые обеспечивают норматив готовых к выемке запасов для принятой производительности карьера по руде. При этом взаимосвязь параметров системы разработки учитывается с помощью графических методов горно-геометрического анализа карьерного поля.

Научная новизна. Несоответствие фактической длины активного фронта горных работ длине фронта принятой при определении максимально возможной производительности карьера по руде и составлении перспективного кале-