

## Список літератури

1. Сборник трудов ДНТУ, 2004. - Вып. 72. – 47 с.
2. **Лысиков Б.А., Большинский М.И.** Разработка кафедры по созданию легкого и удобного крепеукладчика простого и надежного резерва повышения безопасности и производительности труда проходчиков. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Гірничо-геологічна". Вип. 72 / Ред.: Машков Є.О.(голова) та ін. - Донецьк, ДонНТУ, 2004 – 198 с.
3. О направлении развития технологии сооружения горизонтальных и наклонных горных выработок в сложных горно-геологических условиях / **В.В. Гамаюнов, В.П. Друцко, В.Г. Гнездилов, Б.В. Алферов, Ю.С. Шаповал** // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2004. – Вип. 51. – С. 92-102.
4. Устойчивость и крепление горных выработок. Взаимодействие крепи и пород в сложных условиях / Л.: изд. ЛГИ, 1984. – 111 с.
5. **М.Н. Гелескул.** Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок./ **Гелескул М.Н., Каретников В.Н.** – М.: Недра, 1982. – 473 с.
6. Буровзрывные работы, проведение и крепление горных выработок/ **С.П. Ананьев, Е.В. Китайский, И.Д. Насонов, В.Е. Нейенбург.** –М.: ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1961. – 97 с.
7. Основы горного дела: Учебник для вузов. — 2-е изд., стер./ **П.В. Егоров, Е.А. Бобер, Ю.Н. Кузнецов** [и др.] - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — С. 78-79.
8. Проведение и крепление горных выработок/ **В.В. Орлов, А.М. Янчур, Н.С. Бабичев, А.М.** [и др.] – М.: Недра, 1965. – 496 с.
9. **Тарасов Л.Я.** Проведение и крепление горных выработок./ Л.Я. Тарасов. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1957. – 516 с.
10. **Гиленко В.А., Федотов В.Н., Цветков В.К.** Способы и средства возведения временной крепи в подземных горизонтальных выработках. – М., 1989. – 28 с.

Рукопис подано до редакції 21.03.17

УДК 621.382.333

І. А. КОЗАКЕВИЧ, Ю. Г. ОСАДЧУК, канд. техн. наук, доц., Р. А. ІЛЬЧЕНКО, студент  
Криворізький національний університет

## КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ ПОТУЖНОСТІ ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Мета.** Метою даної роботи є дослідження можливостей використання електричної машини з двома роторами в якості засобу керування потоками потужності гібридного транспортного засобу, аналіз шляхів підвищення її енергоефективності. Для досягнення зазначеної мети в роботі виконано аналіз існуючих структур гібридних транспортних засобів, переваг та недоліків використання планетарної передачі, як засобу розділення потужності гібридного транспорту, виконано вивчення конструкційних особливостей та режимів роботи чотирипортових асинхронних машин з двома електричними портами та двома механічними портами, розробка математичної моделі та структури системи керування такою машиною.

**Методи дослідження.** У роботі використані методи теорії автоматичного керування, методи теорії оптимального керування й методи дослідження нелінійних систем автоматичного керування, варіаційне й матричне обчислення, чисельні методи та методи дискретно-польового моделювання.

**Наукова новизна.** Розроблено дискретно-польову модель асинхронного двигуна з двома роторами та структуру системи керування, що дозволяє реалізувати усі основні процеси розділення потужності, що спостерігаються при роботі гібридних транспортних засобів.

**Практична значимість.** Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці алгоритмів керування двороторною машиною, що дозволяє виконувати гнучке керування потоками потужності гібридного транспортного засобу з необхідною швидкістю.

**Результати.** Проаналізовано існуючі структури гібридних транспортних засобів. Шляхом вивчення особливостей послідовно-паралельної топології доведена значна роль планетарної передачі, як засобу розділення потужності, що фігурує в різних структурних частинах системи – двигун внутрішнього згорання, генератор, електричний тяговий двигун. Шляхом вивчення конструкційних особливостей та режимів роботи електричних машин з двома роторами доведено, що їх використання має значну кількість переваг проти аналогічного використання планетарної передачі, оскільки розділення потужностей в даному випадку відбувається не на рівні механічної енергії, а на рівні електромагнітної.

**Ключові слова:** гібридні силові установки, асинхронний двигун, двороторна машина, двигун внутрішнього згорання.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-124-129

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В даний момент система електричної змінної передачі стає основною технологією для повних гібридних елек-

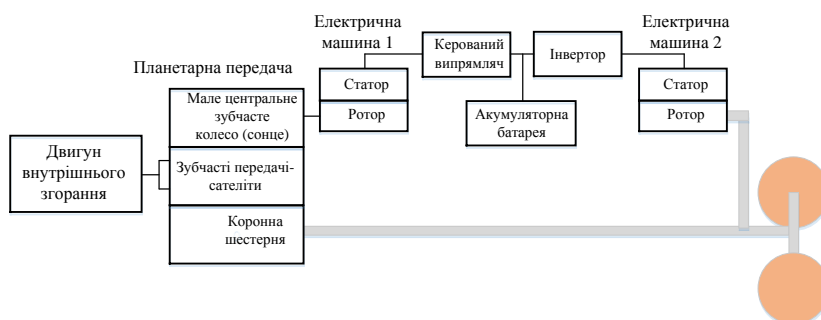
тричних транспортних засобів, що призводить до її постійних еволюційних змін. Існуючі системи базуються на використанні планетарної зубчастої передачі, що має ряд недоліків, які пов'язані з втратами потужності в передачі, наявністю шумів та необхідністю регулярного змащування. Для усунення вказаних недоліків було розроблено новий клас пристроїв електричної змінної передачі, в основі якої є використання машини з двома роторами для реалізації розділення потужності. У роботі проаналізовано функціонування вузлів розподілу потужності на основі вивчення конфігурації системи керування та конструкції машини з двома роторами.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Розвиток електричних та гібридних транспортних засобів є актуальною задачею сьогодення [1], оскільки дозволяє більш ефективно використовувати кінцевий запас природних ресурсів, вирішувати екологічні проблеми міст, проте за певними експлуатаційними показниками дані види рухомих засобів поступаються традиційним, що базуються на використанні двигуна внутрішнього згорання. Оскільки поширення чисто електричних транспортних засобів залежить від розвитку автономних джерел живлення [2], то основна увага фахівців в галузі електромеханіки в даний час направлений на розвиток структур гібридних транспортних засобів [3]. У структурі послідовно-паралельних гібридних транспортних засобів ключове місце займає розділювач потужності, що називається планетарною передачею [4]. Проте, їй властиві втрати потужності [5], шум при роботі та необхідність змащування. Актуальний напрямок модернізації даної передачі – заміна на електричну машину з двома роторами, що дозволяє виконувати гнучке розділення потужності між компонентами гібридного автомобіля [6].

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження можливостей використання електричної машини з двома роторами в якості засобу керування потоками потужності гібридного транспортного засобу, аналіз шляхів підвищення її енергоефективності.

**Викладення матеріалу та результати.** Електрична змінна передача, що базується на використанні планетарної передачі виконує функції розділення вхідної потужності, що надходить від електричного двигуна та двигуна внутрішнього згорання. Оскільки при цьому планетарна передача представляє собою механічний вузол, то її використання пов'язане з втратами потужності, акустичним шумом, необхідністю постійного змащування, можливістю виникнення люфтів та ексцентриситету. Тому цілком виправданою є ідея використання електричного пристрою для розподілу потужності замість механічної передачі, оскільки такий підхід здатний усунути усі вказані недоліки. Основним елементом даної системи є електрична машина з двома роторами.

На рис. 1 представлена структура приводу з використанням електричної змінної трансмісії на базі планетарної передачі, що містить у своєму складі електричну машину, яка, як правило, працює в якості генератора, та іншої електричної машини, що працює як двигун, силового перетворювача, що містить керований випрямляч та інвертор, а також акумуляторну батарею. Коли двигун внутрішнього згорання приводить в дію зубчасті передачі-сателіти, потужність розділяється на дві частини: механічну та електричну. Механічна потужність від двигуна внутрішнього згорання до трансмісії передається через коронну шестерню планетарної передачі. Електрична частина потужності проходить через мале центральне зубчасте колесо (сонце), генератор, керований випрямляч, акумуляторну батарею, інвертор, електричний двигун 2: сонячна шестерня обертає ротор генератора, при цьому генератор виробляє електричну енергію. Керований випрямляч здійснює узгодження вихідної напруги генератора та ланки постійного струму, контролюючи потік потужності, а акумуляторна батарея виступає в ролі буфера енергії. Інвертор здійснює керування потоком потужності між ланкою постійного струму та статором машини, а ротор даної машини приводить у рух транспортний засіб.



**Рис. 1.** Структура приводу гібридного транспортного засобу з використанням планетарної передачі

На рис. 2 представлена структура гібридного електричного транспортного засобу при використанні машини з двома роторами. За рахунок того,

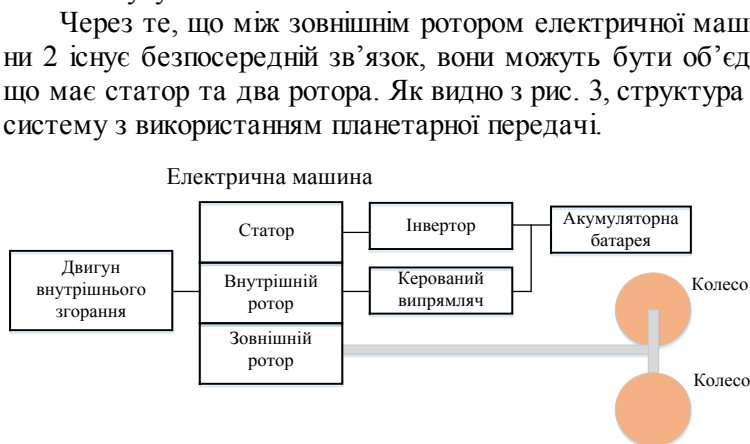
що статор і ротор електричної машини 1, що в першу чергу розглядається в якості генератора, можуть вільно обертатися, електрична машина 1 може розглядатися, як проста машина з подвійним ротором, що може в той же час виконувати функцію планетарної передачі, здійснюючи розділення потужності двигуна внутрішнього згорання та виконуючи функцію генератора, виробляючи електричну потужність. Електрична машина 1 ділить потужність двигуна внутрішнього згорання на дві частини.



**Рис. 2.** Структура приводу гібридного транспортного засобу з використанням електричної машини з двома роторами

Одна частина проходить від двигуна внутрішнього згорання через внутрішній та зовнішній ротори електричної машини 1 та ротор електричної машини 2, що в першу чергу розглядається в якості двигуна. Інша частина проходить через внутрішній ротор електричної машини 1, керований випрямляч, батарею, інвертор та електричну машину 2 так: двигун внутрішнього згорання обертає внутрішній ротор електричної машини 1, внутрішній ротор генерує електричну енергію, що через керований випрямляч, який здійснює контроль потоку потужності, надходить до ланки постійного струму. Отже, у даній системі всі недоліки, що властиві системам з використанням планетарної передачі, можуть бути повністю усунені.

Через те, що між зовнішнім ротором електричної машини 1 та ротором електричної машини 2 існує безпосередній зв'язок, вони можуть бути об'єднані для формування однієї машини, що має статор та два ротора. Як видно з рис. 3, структура такої системи є значно простішою за систему з використанням планетарної передачі.



**Рис. 3.** Структура приводу гібридного транспортного засобу з використанням однієї електричної машини

У даній системі двигун внутрішнього згорання обертає внутрішній ротор, його потужність розділяється на дві частини. Одна частина через внутрішній ротор та зовнішній ротор передається на колеса, а інша частина проходить через внутрішній ротор, керований випрямляч, акумуляторну батарею, інвертор, статор та через зовнішній ротор передається на колеса. Отже, зовнішній ротор є точкою, де здійснюється складання двох обертальних моментів.

Для поліпшення експлуатаційних характеристик, таких як гнучкість управління, та оптимізації коефіцієнту корисної дії деякі електричні машини мають два електричних входи. Наприклад, асинхронна машина з подвійним живленням має трифазні обмотки на статорі, як один електричний вхід, та трифазні обмотки на роторі, як інший електричний вхід, тому є можливість керування рекуперацією енергії ковзання. Оскільки ці машини мають два електричних входні порти і один механічний вихід, вони можуть бути класифіковані як трипортові машини з двома входами та одним виходом.

Для поліпшення експлуатаційних характеристик, таких як гнучкість управління, та оптимізації коефіцієнту корисної дії деякі електричні машини мають два електричних входи. Наприклад, асинхронна машина з подвійним живленням має трифазні обмотки на статорі, як один електричний вхід, та трифазні обмотки на роторі, як інший електричний вхід, тому є можливість керування рекуперацією енергії ковзання. Оскільки ці машини мають два електричних входні порти і один механічний вихід, вони можуть бути класифіковані як трипортові машини з двома входами та одним виходом.

На відміну від швидкого розвитку електричних машин з двома входами та одним виходом, розвиток машин з одним входом та двома виходами відбувається досить повільно. Основною причиною є відсутність попиту з боку промислових підприємств, які не мають у своєму користуванні технологічних установок, що вимагають від електричної машини двох механічних виходів. Оскільки останнім часом збільшується кількість механізмів, що використовують обертання двох тіл, наприклад, у випадку транспортного засобу – два колеса, подвійних робочих колес у випадку промислових змішувачів, розробка трипортових машин з одним входом та двома виходами дещо прискорюється. Ці трипортові машини з одним входом та двома виходами

ми мають два вали, які розміщені концентрично або мають бокове зміщення. Отже, при додаванні ще одного електричного порту для покращення експлуатаційних характеристик легко отримати чотирипортову машину з двома входами та двома виходами.

Як і у всіх електромеханічних пристроїв, усі порти є двонаправленими. Тобто, вхідні і вихідні порти є взаємозамінними, тому і електричні, і механічні порти дозволяють проходження потоку потужності у обидва боки. Існують три основні частини, які можна назвати внутрішньою, середньою та зовнішніми частинами, які розділені повітряними зазорами, проте мають магнітний зв'язок. У загальному випадку усі ці частини можуть бути обладнані обмотками. Обмотки внутрішньої та зовнішньої частин служать в якості двох електричних портів, в той час як вали внутрішньої та середньої частини служать в якості механічних портів. Крім того, є певні унікальні особливості такої машини з двома роторами: 1. Два механічні порти можуть вільно розподілятися між трьома частинами в залежності від того, які обертаються частини є найбільш сприятливими для конкретного застосування. 2. Для реалізації двох електричних портів, обмотки одного розміщують на нерухомій частині машини, в той час як інший розміщують на одній з двох частин, що обертаються. 3. Середня частина машини затиснута між внутрішнім та зовнішнім повітряними зазорами таким чином, що відповідний крутний момент дорівнює сумі електромагнітних складових крутного моменту, що створюються з боку двох повітряних зазорів. 4. Дві механічні частини можуть приводити у рух два механічних тіла, бути приведеними у рух від двох механічних тіл або одна частина може приводити у рух, а інша – приводитися у рух іншими тілами. Два електричних порти можуть одночасно споживати або генерувати електричну енергію або один може приймати її, а інший – генерувати. Вони також можуть бути з'єднані один з одним через напівпровідниковий перетворювач для здійснення внутрішнього контролю потужності. 5. Коли електричний порт розташований на частині, що обертається, необхідно використання контактних кілець або щіток.

Як уже згадувалося раніше, два механічні порти можуть вільно розподілятися між трьома частинами машини. Незалежно від того, як ці частини використовуються, існують два можливих режими роботи, що залежать від відносних швидкостей двох частин, що обертаються (зовнішній та внутрішній ротори). Для подальшого ілюстрування приймемо, що зовнішня частина є статором, середня частина є зовнішнім ротором, а внутрішня частина представляє собою внутрішній ротор. По-перше, коли обидва ротори мають однакову швидкість, відносна швидкість дорівнює нулю і, отже, електромеханічна передача енергії між ними не відбувається. В такому режимі її роботу можна розглядати, як роботу традиційної машини, у якій ротор має два виводи. По-друге, коли швидкість внутрішнього ротора відрізняється від зовнішнього ротора, виникає ковзання між ними. В такому випадку внутрішній ротор потрібно збуджувати з частотою ковзання, а потік потужності через внутрішній ротор внаслідок ковзання може бути як негативним, так і позитивним, в залежності від того, який знак має величина ковзання.

Асинхронний двигун з двома роторами має статор, зовнішній та внутрішній ротори, які розташовані концентрично. На статорі, як правило, розташована трифазна розподілена обмотка, яка аналогічна тій, що використовується у традиційних асинхронних машинах. Зовнішній ротор обладнаний короткозамкненим ротором, що складається з двох замикаючих кінцевих кілець, які схожі на звичайний короткозамкнений ротор асинхронної машини. Внутрішній ротор також має трифазну розподілену обмотку з окремими фазними клемми, які окремо з'єднані з трьома контактними кільцями, що схоже за конструкцією на будову фазного ротору асинхронного двигуна.

Для полегшення пояснення принципу роботи та аналізу електричної змінної трансмісії з двома роторами асинхронна машина з двома роторами розділяється на дві каскадно з'єднані асинхронні машини: машина 1 представляє собою примітивну машину з двома роторами, а машина 2 є традиційною машиною. Зовнішній ротор машини 1 механічно з'єднаний з ротором машини 2. У даному випадку існує два шляхи для проходження потоку потужності. Одним шляхом є механічний зв'язок між зовнішнім ротором машини 1 та ротором машини 2. Іншим шляхом є електричний зв'язок між внутрішнім ротором машини 1 та статором машини 2 через силовий перетворювач та акумуляторну батарею. Тому, коли двигун внутрішнього згорання приводить у рух машину 1, то машина 1 працює в якості генератора, в той час як машина 2 працює в якості двигуна.

При моделюванні машини 1 необхідно прийняти до уваги наявність двох роторів, в той час

як моделювання машини 2 є таким же, як і для традиційної асинхронної машини. Розширенням координатних перетворень для традиційної асинхронної машини напрямом потокозчеплення зовнішнього ротора машини 1 приймається за напрямом додатного напрямку вісі  $d$ . Тоді рівняння електричної рівноваги машини 1 можуть бути записані так

$$u_{d1} = R_1 i_{d1} + \frac{d\psi_{d1}}{dt} - \omega_s \psi_{q1} - p\omega_{m1} \psi_{d1}; \quad u_{q1} = R_1 i_{q1} + \frac{d\psi_{q1}}{dt} + \omega_s \psi_{d1} - p\omega_{m1} \psi_{q1}; \quad 0 = R_2 i_{d2} + \frac{d\psi_{d2}}{dt};$$

$$0 = R_2 i_{q2} + \omega_{ck} \psi_{d2},$$

де  $u_{d1}$  та  $u_{q1}$  - фазні напруги внутрішнього ротора в проекціях на вісі  $d$  та  $q$ ,  $R_1$  - активний опір обмоток внутрішнього ротору,  $i_{d1}$  та  $i_{q1}$  - фазні струми внутрішнього ротора в проекціях на вісі  $d$  та  $q$ ,  $\omega_{d1}$  та  $\omega_{q1}$  - потокозчеплення внутрішнього ротора в проекціях на вісі  $d$  та  $q$ ,  $\omega_s$  - синхронна швидкість,  $p$  - число пар полюсів,  $\omega_{m1}$  - механічна швидкість внутрішнього ротора,  $R_2$  - активний опір обмоток зовнішнього ротору,  $i_{d2}$  та  $i_{q2}$  - фазні струми зовнішнього ротора в проекціях на вісі  $d$  та  $q$ ,  $\omega_{d2}$  - потокозчеплення зовнішнього ротора в проекції на вісі  $d$ ,  $\omega_{ck}$  - частота ковзання.

Відповідні потокозчеплення можуть бути розраховані за наступними залежностями

$$\psi_{d1} = L_1 i_{d1} + L_m i_{d2}; \quad \psi_{q1} = L_1 i_{q1} + L_m i_{q2}; \quad \psi_{d2} = L_m i_{d1} + L_2 i_{d2}; \quad 0 = L_m i_{q1} + L_2 i_{q2},$$

де  $L_1$  - власна індуктивність обмоток внутрішнього ротора,  $L_2$  - власна індуктивність обмоток зовнішнього ротора, а  $L_m$  - взаємна індуктивність. Отже, синхронна швидкість та частота ковзання можуть бути розраховані так

$$\omega_s = p\omega_{m1} + \omega_1 = p\omega_{m2} + \omega_{ck}; \quad \omega_{ck} = s\omega_s = \frac{L_m i_{q1}}{T_e \psi_{d2}},$$

де  $\omega_1$  - кутова швидкість обертання внутрішнього ротора, а  $T_e$  - електрична стала часу обмоток внутрішнього ротора.

Для забезпечення взаємодії між машиною 1 та машиною 2, співвідношення їх моментів можна записати так

$$M_{m1} - M_{e1} = J_1 \frac{d\omega_{m1}}{dt}; \quad M_{m2} - M_n = J_2 \frac{d\omega_{m2}}{dt}; \quad M_{m2} = M_{e1} + M_{e2},$$

де  $M_{m1}$  та  $M_{m2}$  - крутні моменти машини 1 та машини 2 відповідно,  $J_1$  та  $J_2$  - моменти інерції машини 1 та машини 2 відповідно,  $M_{e1}$  та  $M_{e2}$  - електромагнітні моменти, що створюються у повітряних зазорах машини 1 та машини 2 відповідно,  $M_n$  - момент навантаження.

Отже, з цього можна отримати

$$M_{m1} + M_{e2} = M_n + J_1 \frac{d\omega_{m1}}{dt} + J_2 \frac{d\omega_{m2}}{dt},$$

що демонструє той факт, що сума механічних обертальних моментів машини 1 та електромеханічний момент, що створюється у повітряному зазорі машини 2, дорівнює сумі моменту навантаження та моменту прискорення інерційних мас машини 1 та машини 2. Насправді, механічний крутний момент машини 1 є крутним моментом двигуна, а електромеханічний момент, що створюється у повітряному зазорі машини 2 є крутним моментом двигуна даної системи електричної змінної трансмісії.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** У роботі здійснено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі підвищення енергоефективності структур гібридних транспортних засобів. В даний момент існуючі варіанти таких структур використовують у своєму складі планетарну передачу, що дозволяє з'єднати в єдину синергетичну систему двигун внутрішнього згорання, генератор та приводний електричний двигун. Виявлені недоліки таких систем дозволяють констатувати факт, що дана передача є слабкою ланкою даної структури, що робить актуальним пошук шляхів щодо можливої її заміни, а оскільки в ній розділення енергії виконується на механічному рівні, то цілком логічною є спроба виконати аналогічне розділення на електромагнітному рівні, що є можливим завдяки використанню електричних машин з двома роторами.

#### Список літератури

1. Сінолиций А.П. Дослідження спостерігача Люенбергера для бездатчикового векторного керування при роботі на низькій швидкості / А.П. Сінолиций, Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – Вип. 3. – С. 38-39.
2. Тімков О. М. Визначення потужності агрегату для рекуперативної кінетичної енергії та мінімальної швидкості з

якої доцільно починати рекупераційне гальмування для гібридного автомобіля в залежності від їздового циклу / **О. М. Тімков, О. С. Іванов** // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. - 2012. - Вип. 9. - С. 197-201.

3. **Кашуба А. М.** Рекуперация кінетичної енергії в автомобілях з гібридною силовою установкою [Електронний ресурс] / **А. М. Кашуба** // Наукові нотатки. - 2011. - Вип. 35. - С. 93-95.

4. **Осадчук Ю.Г.** Синтез алгоритму векторного керування двома асинхронними двигунами, що живляться від одного інвертора / **Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич** // Вісник Криворізького національного університету. - 2011. - Вип. 28. - С. 150-154.

5. **Тімков О.М.** Аналіз послідовної схеми гібридного автомобіля [Електронний ресурс] / **О.М. Тімков** // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. - 2011. - Вип. 8. - С. 193-197.

6. **Осадчук Ю.Г.** Дослідження топологій багаторівневих інверторів з використанням «плаваючих» конденсаторів / **Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич, Р.В. Сіянюк** // Качество минерального сырья. Сборник научных трудов. - С. 420-428.

7. **Liu J.** An online energy management strategy of parallel plug-in hybrid electric buses base on a hybrid vehicle-road model / **J. Liu, Y. Chen** // 19<sup>th</sup> International conference on intelligent transportation systems. - 2016. - Pp. 927-932.

8. **Козакевич І.А.** До питання використання анізотропних властивостей асинхронних двигунів для бездатчикового керування / **І.А. Козакевич** // Актуальні питання сучасної науки. Матеріали науково-практичної конференції. - 2014. - С. 60-65.

9. **Xu Q.** Comparison analysis of power management used in hybrid electric vehicle based on electric variable transmission / **Q. Xu, X. Jiang, S. Cui** // 11<sup>th</sup> International conference on control. - 2016. - Pp. 1-7.

10. **Сінчук О.М.** Аналіз струму нульової послідовності асинхронних двигунів для бездатчикового керування / **О.М. Сінчук, Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич** // Гірничий вісник. - 2014. - Вип. 98. - С. 23-27.

11. **Xu Q.** Research on intelligence torque control for the electrical variable transmission used in hybrid electrical vehicle / **Q. Xu, L. Song, D. Tian, S. Cui** // International conference on electrical machines and systems. - 2011. - Pp. 1-6.

12. **Козакевич І.А.** Дослідження адаптивних систем з задаючою моделлю для бездатчикового векторного керування асинхронним двигуном при роботі на низькій швидкості / **І.А. Козакевич, Д.О. Шкурко** // Вісник Криворізького технічного університету. - 2011. - Вип. 29. - С. 204-208.

13. **Осадчук Ю.Г.** Исследование энергетических характеристик частотно-регулируемых электроприводов / **Ю.Г. Осадчук, И.А. Козакевич, А.Н. Зиненко** // Вісник Криворізького технічного університету. - 2008. - Вип. 20. - С. 126-130.

Рукопис подано до редакції 21.03.17

УДК 622.647.2

**М.П. ТИХАНСЬКИЙ, Л.І. ЄФІМЕНКО**, кандидати техн. наук, доц.,  
**А.М. ТИХАНСЬКА**, асистент, Криворізький національний університет

## **УЗГОДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ Й СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНВЕЄРА**

**Метою** цієї роботи є встановлення залежностей і закономірностей зміни діагностичних параметрів від режимів роботи стрічкового конвеєра для формування принципів керування конвеєром за його технічним станом, що підвищить коефіцієнт готовності й коефіцієнт технічного використання установки.

**Методи дослідження.** Виходячи із загальноприйнятих методів діагностування намітилися два головних напрямки діагностування стрічкових конвеєрів: по сумарних витратах енергії на транспортування (інтегральний метод) і по впливу параметрів складальних елементів стрічкового конвеєра на зміну енергоємності транспортування (диференціальний метод).

**Наукова новизна.** На основі аналізу теоретичних й експериментальних робіт і досвіду експлуатації показано, що режими роботи конвеєра й характеристики вантажу мають великий вплив на технічний стан його основних вузлів: стрічки, роликів, барабанів. Застосування регульованого приводу для підвищення коефіцієнта готовності й коефіцієнта технічного використання стрічкового конвеєра дотепер не виконувалося. У відомих дослідженнях не розглянуте також питання раціонального узгодження системи керування режимами роботи й системи діагностування і прогнозування технічного стану конвеєра. Тому розробка принципів керування конвеєром за технічним станом його елементів є доцільною з технічної й експлуатаційної точок зору.

**Практичне значення.** Технічний стан конвеєрної установки визначається, якщо відомі значення структурних параметрів, що однозначно відповідають певним деталям або вузлам устаткування. Взаємозв'язок між окремими деталями або вузлами устаткування і структурних параметрів являє собою модель технічного стану. Модель технічного стану конвеєрної установки складається з моделей основних електромеханічних вузлів. У загальному випадку модель технічного стану може бути представлена в табличній формі, у вигляді n-мірного вектора технічного стану або у вигляді структурної схеми.

**Результати.** Аналіз відомих систем діагностики укажує на необхідність розробки автоматизованих систем діагностики й прогнозування заснованих на методах, в яких одночасно враховується комплексна оцінка технічних станів окремих елементів конвеєра.

**Ключові слова:** конвеєр, коефіцієнт технічного використання установки, електромеханічні вузли, діагностування.