

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** // 19th 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** // 11th 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.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Надійність конвеєрної установки в цілому визначається надійністю її основних елементів: привід, стрічка, натяжна станція, вихід з ладу яких приводить у неробочий стан всю установку. Несправність інших елементів (роликів, підшипників) значно знижує надійність установки і її працездатність.

Питаннями діагностики механізмів загального й спеціального призначення займався ряд авторів, які визначили загальні положення й принципи технічної діагностики. Визначення технічного стану стрічкового конвеєра має свою специфіку у виді великої довжини, наявності складних вузлів і механізмів, зв'язаних між собою гнучким тяговим органом. Тому дуже важливо здійснювати постійний діагностичний контроль за технічним станом цих елементів і прогнозувати залишковий ресурс із урахуванням ступеня їхнього впливу на загальний ресурс до установки.

Наявність автоматичної системи керування режимами роботи стрічкового конвеєра розширює можливості підвищення показників надійності, тому що застосування регульованого приводу зі змінною швидкістю транспортування, можливість регулювати запуск конвеєра, натяг стрічки, розподіляти тягове зусилля між барабанами, дозволяє впливати на термін служби окремих елементів і всього конвеєра в цілому

Аналіз досліджень та публікацій. Аналіз теоретичних й експериментальних робіт вітчизняних та закордонних вчених і досвід експлуатації показав, що режими роботи конвеєра й характеристики вантажу мають великий вплив на технічний стан його основних вузлів: стрічки, роликів, барабанів. Однак, застосування регульованого приводу для підвищення коефіцієнта готовності й коефіцієнта технічного використання стрічкового конвеєра дотепер не виконувалося.

Для вирішення цього завдання необхідно знайти залежності зміни основних діагностичних ознак механізмів конвеєра від режимів його роботи й сформулювати принципи побудови алгоритмів і системи керування за критерієм технічного стану устаткування. Ряд авторів у різних організаціях України (УкрНДІПроект, ІГТМ АН України, ДДА, ДПІ, КНУ) і за кордоном пропонують різні способи керування пуском, швидкістю руху стрічки, розподілом навантажень між приводами.

Результати досліджень в області оптимізації пускових режимів стрічкових конвеєрів узагальнені в роботах [1,2,3,4,6,10,12]. Отримано оптимальні залежності зміни тягового й окружного зусилля на приводному барабані при пуску. Рекомендується діаграма зміни окружного зусилля на приводному барабані, що складається з декількох періодів: період рушіння, період розгону, перехід у режим роботи зі сталою швидкістю.

Постановка завдання. Таким чином, багатьма авторами розглянуті питання аналізу й синтезу систем автоматичного керування конвеєром при пуску, регулюванні швидкості, а також побудова систем керування багатоприводними конвеєрами.

Необхідно розглянути всі ці питання у взаємозв'язку, з урахуванням наявності автоматичної системи діагностики й прогнозування технічного стану конвеєра.

Аналіз розглянутих робіт показує, що у всіх випадках, при будь-яких способах керування режимами роботи конвеєра критеріями є: продуктивність, швидкодія (при запуску великої кількості конвеєрів) або плавність (при запуску із великокусовим вантажем на стрічці), енергозбереження. Підвищення показників надійності конвеєра за допомогою автоматизованих режимів роботи є новим підходом до питань керування.

У відомих дослідженнях недостатньо розглянуте 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.

Викладення матеріалу та результати. Створення автоматизованих систем діагностики стрічкових конвеєрів у теперішній час стримується відсутністю теоретичних й експериментальних досліджень з питання визначення взаємозв'язку між інформативними параметрами й технічним станом стрічкового конвеєра.

Дослідниками у якості інформаційного діагностичного параметра пропонується коефіцієнт опору руху стрічки й коефіцієнт опору обертанню роликів. Ці параметри розглядаються залежно від енергоємності транспортування.

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). Інтегральні методи оцінки технічного стану є досить простими в реалізації, але в теперішній час не повністю задовольняють завданням, що розв'язують системи діагностування й прогнозування. Основним недоліком їх є неможливість оцінки технічного стану окремих елементів конвеєра, а відповідно, неможливість точного й достовірного прогнозування залишкового ресурсу установки в цілому. Диференціальний підхід до діагностики гірських машин припускає проведення комплексних експериментальних досліджень, що дозволяють оцінити отримані результати по їх нормативних значеннях і зробити висновок про технічний стан установки. Однак комплексні експериментальні дослідження через велику трудомісткість проводяться рідко, що не дозволяє прогнозувати працездатність устаткування на певний строк. Крім того, при періодичній діагностиці (характерно для диференціального методу) не враховується ступінь впливу технічного стану окремих елементів конвеєра, як складної електромеханічної системи, на загальний ресурс. У зазначеному методі не враховується також вплив швидкості зміни стану окремих елементів на швидкість зміни працездатності системи в цілому, що також знижує вірогідність прогнозування.

Загальні принципи керування стрічковим конвеєром за технічним станом його електромеханічного устаткування формуються залежно від поточного технічного стану основних вузлів і механізмів та прогнозування його на певні (задані) проміжки часу. Діагностування технічного стану стрічкового конвеєра, забезпеченого регульованим приводом, прогнозування його залишкового ресурсу й створення автоматизованої системи діагностики припускає розробку узагальненої моделі технічного стану і діагностування, що враховує наявність регульованого приводу й можливості впливу на режими експлуатації установки.

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.

При синтезі моделі технічного стану вирішуються два основних питання: які вузли конвеєра підлягають діагностуванню і які параметри найкраще характеризують технічний стан цих вузлів? Для рішення цих завдань використовується статистичний матеріал з досвіду експлуатації й ремонту аналогічного устаткування. Для порівняння ресурсних характеристик різних вузлів устаткування конвеєра використовуємо коефіцієнт варіації ресурсу [4]

$$K_B = (\sigma/T_p),$$

де $T_p = \sum_{j=1}^n T_{pj} n^{-1}$ - очікуваний ресурс вузла (T_{pj} - ресурс вузла в j -му механізмі до капітального

ремонту; n - загальне число механізмів, що підлягають обстеженню): $\sigma = \left[\frac{\sum_{j=1}^n (T_{pj} - \bar{T}_p)^2}{(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}}$ - середньоквадратичне відхилення ресурсу вузла.

При визначенні вузлів, що підлягають діагностуванню, пріоритет належить елементам із більшими коефіцієнтами варіації і гірших показників надійності. У табл. 1 наведені показники надійності основних вузлів 26 конвеєрів ВО «Кривбасруда». Більше 80% часу всіх простоїв у робочі зміни припадає на ліквідацію відмов стрічки, електроустаткування, роликів, редукторів і барабанів, на підставі цього для названих вузлів розробляються моделі технічного стану і діагностичні моделі [1,2].

Відомо, що сукупність структурних параметрів, які характеризують технічний стан окремих вузлів стрічкового конвеєра, повинна задовольняти таким умовам: функціональна незалежність (кожен структурний параметр S_i , може змінюватися незалежно від параметрів S_j); не повинна існувати функція, що дозволяла б однозначно визначати параметр S_j за відомим значенням параметра S_i ; зовнішні обмеження на зміну обраних структурних параметрів.

Діагностичні моделі конвеєрної установки й окремих її вузлів одержують із моделі технічного стану, у результаті встановлення функціональної залежності між діагностичними ознаками A_i й відповідними структурними параметрами S_i , тобто $A_i=f_i(S_i)$. Діагностичні параметри вважаються відомими, тому що можуть бути виміряні, а структурні параметри S_i підлягають визначенню. Вид функції f_i можна визначити аналігічним шляхом при деяких допущеннях.

Таблиця 1

Показники надійності основних вузлів стрічкового конвеєра

Вузол конвеєра	Число відмов	Напрацювання на відмову, год.	Середній час ліквідації відмови, год.	Число замін при ППР	Середній час за одну заміну, год.	Частка часу на ліквідацію відмов у загальному часі простоїв, %
Стрічка	106	2741	8,4	120	8,1	22,1
Електроустаткування	44	6620	1,76	10	2,1	18,0
Ролики верхньої гілки	34	8550	1,3	481	2,5	14,9
Перевантажувальний пристрій	76	3822	4,12	205	3,94	13,3
Ролики нижньої гілки	64	4550	2,3	452	1,95	12,2
Редуктор	53	5500	4,68	75	3,8	6,3
Барабани	48	6070	4,2	68	4,5	6,0

На підставі зазначеного необхідно провести дослідження вузлів із більшими коефіцієнтами варіації і низькою надійністю, установити функціональні залежності між діагностичними ознаками й відповідними структурними параметрами.

Аналіз процесу пошкодження стрічки, роликів, двигуна, редуктора, барабанів показав необхідність визначення узагальненого показника технічного стану обладнання, за який прийнята сумарна міра пошкодження від різних ушкоджуючих чинників за основними видами дефектів. Принципи керування стрічковим конвеєром, забезпеченим автоматизованою системою діагностики і прогнозування, формуються з урахуванням залишкового ресурсу його елементів, оскільки режими роботи конвеєра, а саме: швидкість транспортування, натяг, тягове зусилля приводу - впливають на міру пошкодження стрічки, роликів, барабанів, приводу.

У цьому зв'язку перспективними є методи комплексної оцінки технічного стану конвеєра, як складної механічної системи, засновані на оцінці сукупності технічних станів окремих його елементів з урахуванням їх впливу на загальний ресурс установки, і доповнюють методи, що враховують інтегральні показники (наприклад, загальний час роботи й час роботи під навантаженням, загальна кількість перевезеного вантажу та ін.), які дозволяють виконати довгострокове прогнозування технічного стану й залишкового ресурсу установки. Тому окремий конвеєр або система конвеєрів повинні бути обладнані автоматизованою системою діагностики й прогнозування технічного стану.

Для вирішення поставлених завдань розроблено функціональну схему системи діагностики конвеєра, на підставі якої розроблено програму для ЕОМ, що дозволяє при зміні інформативного параметра знайти причину зниження працездатності. Основними в цій схемі є:

блок діагностики, що дозволяє виконувати безперервний контроль зміни енергетичних параметрів конвеєрів і порівняння отриманого значення із припустимим;

блок пошуку несправностей, що складається з послідовного ряду діагностичних пристроїв; системи оцінки й порівняння отриманих значень прийнятого параметра із припустимими.

Відповідно до функціональної схеми [11] діагностики кожний окремий вузол конвеєра може діагностуватися по конкретних інформативних параметрах, що характеризують його технічний стан.

Для рішення поставлених завдань розроблена функціональна схема системи діагностики конвеєра, на підставі якої розроблена програма для ЕОМ, що дозволяє по зміні інформативного параметра знайти причину зниження працездатності. Головним у цій схемі є: блок діагностики, що дозволяє робити безперервний контроль зміни енергетичних параметрів конвеєрів і порівняння отриманого значення із припустимим; блок пошуку несправностей, що складає з послі-

довного ряду діагностичних пристроїв і системи оцінки й порівняння отриманих значень прийнятого параметра із припустимими. Відповідно до функціональної схеми діагностики, фрагмент якої наведений на рис. 1, кожен окремий вузол конвеєра може діагностуватися по конкретним інформативним параметрам, що характеризують його технічний стан.

Однак існуюча система не передбачає визначення в комплексі технічного стану окремих елементів конвеєра одночасно зі ступенем їхнього впливу на загальний ресурс, що знижує вірогідність системи. Крім того, у системі безперервний контроль здійснюється за обмеженим числом інформативних параметрів, при цьому контролюється досягнення граничного їхнього рівня, що не дозволяє виявляти дефекти на ранній стадії розвитку окремих елементів й отже, прогнозувати їхній технічний стан. Пошук несправностей і причин відмов у відомій системі здійснюється в результаті обробки діагностичної інформації від окремих елементів і порівняння її із припустимими значеннями вже після виникнення несправності й у певній мері не дозволяє запобігти розвитку цих дефектів. Аналіз відомих систем діагностики указує на необхідність розробки автоматизованих систем діагностики й прогнозування, заснованих на методах, у яких одночасно враховується комплексна оцінка технічних станів окремих елементів конвеєра.

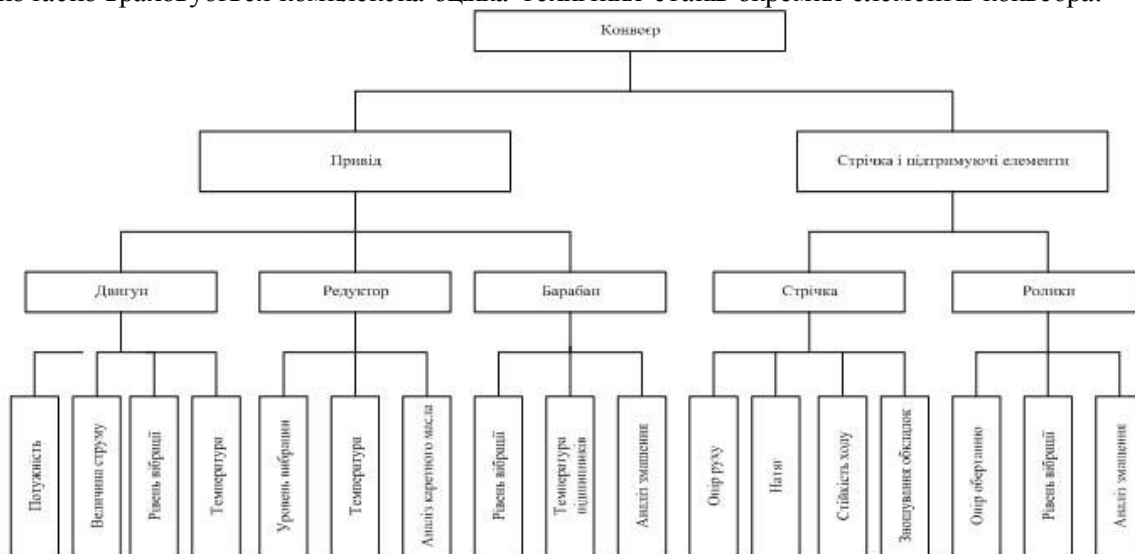


Рис. 1. Функціональна схема діагностики

Наявність автоматичної системи керування режимами роботи стрічкового конвеєра розширює можливості підвищення показників надійності, тому що застосування регульованого приводу зі змінною швидкістю транспортування, можливість регулювати запуск конвеєра, натяг стрічки, розподіляти тягове зусилля між барабанами, дозволяє впливати на термін служби окремих елементів і всього конвеєра в цілому.

Аналіз теоретичних й експериментальних робіт вітчизняних та закордонних вчених і досвід експлуатації показав, що режими роботи конвеєра й характеристики вантажу мають великий вплив на технічний стан його основних вузлів: стрічки, роликів, барабанів. Однак, застосування регульованого приводу для підвищення коефіцієнта готовності й коефіцієнта технічного використання стрічкового конвеєра дотепер не виконувалося.

Для вирішення цього завдання було визначено залежності зміни основних діагностичних ознак механізмів конвеєра від режимів його роботи й сформувані принципи побудови алгоритмів і системи керування за критерієм технічного стану устаткування.

У відомих роботах розглянуто результати досліджень в області оптимізації пускових режимів стрічкових конвеєрів, отримано оптимальні залежності зміни тягового й окружного зусилля на приводному барабані при пуску. Рекомендується діаграма зміни окружного зусилля на приводному барабані, що складається з декількох періодів: період рушання, період розгону, перехід у режим роботи зі сталою швидкістю.

Багатьма авторами розглянуті питання аналізу й синтезу систем автоматичного керування конвеєром при пуску, регулюванні швидкості, а також побудова систем керування багатопривідними конвеєрами.

Необхідно розглянути всі ці питання у взаємозв'язку, з урахуванням наявності автоматич-

ної системи діагностики й прогнозування технічного стану конвеєра.

Питання узгодження системи керування режимами роботи й системи діагностування технічного стану конвеєра на основі аналіз розглянутих робіт та власних досліджень показує, що у всіх випадках, при будь-яких способах керування режимами роботи конвеєра критеріями є: продуктивність, швидкодія (при запуску великої кількості конвеєрів) або плавність (при запуску із крупно кусковим вантажем на стрічці), енергозбереження. Підвищення показників надійності конвеєра за допомогою автоматизованих режимів роботи є новим підходом до питань керування.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У роботі визначено принципи побудови моделей технічного стану вузлів конвеєра і установки в цілому і визначено шляхи розробки структурно-наслідкових моделей приводного двигуна, редуктора, приводних і відхиляючих барабанів, роликів, що дозволяють встановити взаємозв'язок різних параметрів технічного стану окремих вузлів із діагностичними ознаками.

Існуюча система діагностики не передбачає визначення в комплексі технічного стану окремих елементів конвеєра одночасно зі ступенем їхнього впливу на загальний ресурс, що знижує інформативність системи та вірогідність прогнозу. Крім того, безперервний контроль у системі здійснюється за обмеженим числом інформативних параметрів, при цьому контролюється досягнення граничного їхнього рівня, що не дозволяє виявляти дефекти окремих елементів на ранній стадії розвитку і, отже, прогнозувати їхній технічний стан.

Пошук несправностей і причин відмов у відомій системі здійснюється за результатом обробки діагностичної інформації від окремих елементів і порівняння її з припустимими значеннями вже після виникнення несправності й у певній мері не дозволяє запобігти розвитку цих дефектів. Аналіз відомих систем діагностики указує на необхідність розробки автоматизованих систем діагностики й прогнозування заснованих на методах, в яких одночасно враховується комплексна оцінка технічних станів окремих елементів конвеєра.

У відомих дослідженнях не розглянуте також питання раціонального узгодження системи керування режимами роботи й системи діагностування й прогнозування технічного стану конвеєра. Тому розробка принципів керування конвеєром по технічному стану його елементів є доцільною з технічної й експлуатаційної точок зору.

Список літератури

1. Гуленко Г.Н. Совершенствование средств для предупреждения разрушения и контроля целостности конвейерных лент в СССР и за рубежом. - М.: Черметинформация. - 1986.-37с.
2. Полуниин В.Т., Гуленко Г.Н. Эксплуатация мощных конвейеров. - М.: Недра, 1986.-344 с.
3. Монастирський В.Ф., Плахотник В.И. Прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів за допомогою діагностики. Шахтний і кар'єрний транспорт. - М.: Недра, 1986.-Вып.10.-С.38-42.
4. Экспериментальные исследования влияния технического состояния роликов и ленты на энергоёмкость транспортирования/ В.Ф. Монастырский, И.И.Плахотник, А.Н.Смирнов и др. // Шахтный и карьерный транспорт.-М.: Недра, 1990.-Вып.11.-С.68-71.
5. Назаренко В.М., Тиханский М.П., Ефименко Л.И. Методы вибродиагностики механизмов ленточного конвейера. Вибрация и вибродиагностика. Проблемы стандартизации. Тез.докл. 3 Всесоюз. конф.- Нижний Новгород 1991.с. 78-79.
6. Технічні засоби діагностування: Довідник. В.В. Ключев, П.П. Пархоменко, В.Л. Абрамчук й ін.; Під заг.ред. В.В. Ключова. - М.: Машинобудування, 1989.- 672 с.
7. Маренич М.К., Дубинина С.В. К вопросу о стабилизации производительности конвейерной линии техническими средствами автоматизации / VII Международная научно-техническая конференция «Автоматизация технологических объектов и процессов» / Сб. научных трудов Донецкий национальный технический университет, Донецк – 2007.- С.26-28.
8. Воробйов В.А., Тубис А.Б., Нікітіна І.В. Стан і перспективи вдосконалювання температурного захисту електродвигунів. Електротех. пр-сть. Сірий.07. Електр. апарати й пристрої низької напруги: Огляд інформ.- 1990.- Вип.15. - 36 с.
9. Тиханський М.П., Єфіменко Л.І. Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів / Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Вип.21.- Кривий Ріг-2008.- С.163-167
10. Савицький О.І., Єфіменко Л.І. Вплив вибору конструктивних параметрів конвеєра на його експлуатаційні характеристики / Механобрчермет «Енергозбереження в технології, техніке при переробці мінерального сиров'язу» Сб. научных трудов ОАО НИПИ - Кривой Рог: Изд-во Механобрчермет.-2010.-Вып.46.- С.59-68.
11. Тиханський М.П., Єфіменко Л.І. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Вип.25.- Кривий Ріг-2010.- С.250-254
12. Єфіменко Л.І., Тиханський М.П. Діагностическіє признакі і моделі техніческогo состояния приводного двигателя / Вісник КТУ. Збірник наукових праць. Вип.28.- Кривий Ріг-2011.- С.213-218
13. Савицький А.І., Єфіменко Л.І. Діагностика електродвигателів і параметрів конвеєра по сигналу потужності (тока) / Новое в технології і техніке переробки мінерального сиров'язу» Сб. научных трудов ПАО НИПИ «Механобрчермет» - Кривой Рог: Изд-во Механобрчермет.-2011.- С.208-215

12. Коллакот А.Р. Диагностирование механического оборуования: Пэр с англ. - Л.: Судостроение. 1990. 296 с..
13. Применение регулируемого электропривода в шахтных ленточных конвейерах". Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.ntc-esp.ru/art3.html>
Рукопис подано до редакції 21.03.17

УДК 621.382.333

І. А. КОЗАКЕВИЧ, канд. техн. наук, доц., І.І. ШЕВЧЕНКО, студент
Криворізький національний університет

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНИМИ РЕАКТИВНИМИ ДВИГУНАМИ

Мета. Метою даної роботи є розробка теоретичних аспектів створення бездатчикової системи ідентифікації кутової частоти обертання та положення ротора вентильного реактивного двигуна тягової електромеханічної системи шляхом використання похідних струмів, що протікають в обмотках.

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. Бездатчикове оцінювання кутової швидкості та положення ротора ВРД на основі виміру індуктивності обмоток при збудженні їх короткочасними імпульсами напруги при тому, що індуктивність розглядають як функцію струму та кута повороту ротора, та за відомих значень її максимальної та мінімальної величини дає можливість оцінювати механічні змінні стану електропривода без встановлення датчику на валу двигуна, що є суттєвим в контексті підвищення надійності тягових електромеханічних систем. В свою чергу, існуючі методи передбачають необхідність завчасного визначення електричних параметрів обмоток двигуна та кривої намагнічення сталі машини в залежності від струму та кута повороту ротора, що вносить суттєві складнощі в налаштування системи.

Практична значимість. Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці алгоритмів керування вентильним реактивним двигуном без необхідності встановлення датчика положення ротора на валу двигуна, що суттєво спрощує структуру електромеханічної системи.

Результати. Визначення кутової швидкості та положення ротора ВРД на основі виміру індуктивності обмоток при збудженні їх короткочасними імпульсами напруги є можливим при аналізі індуктивності як функції струму та кута повороту ротора, та за відомих значень її максимальної та мінімальної величини дає можливість оцінювати механічні змінні стану електропривода без встановлення датчику на валу двигуна, що є суттєвим в контексті підвищення надійності тягових електромеханічних систем.

Ключові слова: вентильний реактивний двигун, бездатчикове керування, збудження обмоток, струмове керування.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-135-139

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Вентильні реактивні типи електричних двигунів (ВРД) в теперішній час знаходять своє гідне втілення в практику створення різноманітних електромеханічних систем і комплексів [1-4]. При цьому, технологічність, масогабаритні показники, проста конструкція, низька собівартість при серійному виготовленні, відсутність обмоток чи постійних магнітів на роторі, висока надійність, ремонтпридатність та високий коефіцієнт корисної дії при регулюванні кутової швидкості у великому діапазоні дозволяють зробити висновок про те, що перспективним напрямком широкого використання ВРД є тягові електромеханічні комплекси широкому спектру електрифікованих видів транспортних засобів. Можливості масового впровадження даного типу двигунів є і в палітрі видів гірничо-металургійних транспортних засобів.

Аналіз досліджень і публікацій. В підприємствах гірничо-металургійної галузі з підземними способами видобутку корисних копалин експлуатується більше ніж 3 тис. одиниць 20-ти типів електровозів. Усі тягові електромеханічні комплекси рудникових видів електровозів обладнані двигунами постійного струму послідовного збудження. Вищезазначені системи при цьому є неефективними з точки зору енерговитрат та потребують заміни на більш сучасні типи. Між тим, слід пам'ятати, що дані комплекси в підземних умовах рудників і шахт працюють в важких умовах та складнопідпорядкованих режимах експлуатації, що ставить на вищий щабель критерій простоти конструкції та відсутності додаткових контактних пристроїв, у т.ч. датчиків, необхідних для функціонування системи. Між тим, одним з найбільш суттєвих недоліків використання даного типу двигунів у тягових електромеханічних системах є необхідність вимірювання положення ротора [3-4] для здійснення струмового керування, що призводить до