

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кривоноса Олександра Михайловича «Синтез систем оптимального керування електроприводами зі змінними параметрами та пружними зв'язками»,
що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії
зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми. Проблема підвищення статичних та динамічних показників систем автоматичного керування електромеханічним обладнанням повстала водночас з появою перших електричних машин і не втрачає своєї важливості та актуальності до теперішнього часу.

Автоматичне керування підйомно-транспортних механізмів суттєво ускладняється нестационарним характером параметрів механічної частини підйомно-транспортних механізмів, що зумовлено зміною геометричних розмірів та ваги окремих елементів механічної частини при русі гнучкого підвісу. Також на роботу підйомно-транспортних механізмів суттєвий вплив створюють як коливання вантажу на гнучкому підвісі, так і повздовжні коливання, зумовлені кінцевою жорсткістю підвісу.

Тому подальший розвиток систем керування електроприводів підйомно-транспортних механізмів, розробка методів оптимізації для таких механізмів, ураховуючи їх широке поширення у різних галузях промисловості, є актуальною науковою задачею.

Наукова новизна. Наукова новизна отриманих автором результатів сформульована наступним чином:

- запропоновано метод ідентифікації математичної моделі одного класу лінійних динамічних систем зі змінними параметрами, в якому, на відміну від існуючих рішень, враховано змінність в часі приведеного моменту інерції махових мас і змінність в часі моменту навантаження тягового електродвигуна при підніманні (опусканні) вантажу вантажопідіймальним механізмом. Шляхом порівняльного аналізу доведено що використання класичного рівняння динаміки системи

електропривода, яке містить сталій момент інерції і сталій момент навантаження, приводить до суттєвих похибок;

- уперше здійснено синтез системної математичної моделі та створено алгоритм моделювання процесу переміщення вантажу підйомним краном, з використанням синтезованої моделі що, на відміну від існуючих рішень, враховує і зміну параметрів математичної моделі цього процесу у часі, зумовлену змінами приведеного моменту інерції системи електропривода та моменту навантаження, і вплив поздовжніх коливань, які виникають у тросі, на який підвішується вантаж;

- на основі синтезованої математичної моделі процесу переміщення вантажу підйомним краном проведено комп'ютерне моделювання динаміки системи електропривода при розгоні, гальмуванні, усталеній швидкості. Шляхом зіставлення отриманих результатів моделювання з результатами експериментальних досліджень цього ж класу динамічних систем, отриманих іншими авторами, доведена адекватність синтезованих математичних моделей;

- уперше синтезовано закон оптимального керування одним класом об'єктів з параметрами, змінними в часі та просторі, реалізацією якого є досягнення таких характеристик процесу переміщення вантажів, які унеможливлюють руйнування як вантажів, так і майданчиків, на яких ці вантажі встановлюються;

- уперше доведено, що статична характеристика трансформатора струму є не просто нелінійною з насиченням, як вважалось раніше, а нелінійною з початковим лінійним наростианням та наступною спадною ділянкою, внаслідок чого одному і тому ж струму первинної обмотки трансформатора струму фактично відповідають два різних значення струму у його вторинній обмотці, на що ніхто з науковців, які досліджували процеси в трансформаторах струму, раніше не звертав уваги.

Оцінюючи дисертаційну роботу в цілому на предмет наукової новизни, вважаю, що є достатньо підстав визнати у роботі наявність наукової новизни, яка і становить предмет захисту.

З переліком наукових досягнень автора, які складають наукову новизну одержаних результатів, можна погодитись.

Практична цінність результатів роботи полягає в наступному : розроблено

закон оптимального керування класом об'єктів з параметрами, змінними у часі та просторі, та у застосуванні його в системах керування електроприводами вантажопідймальної техніки для досягнення характеристик процесу переміщення вантажів, які унеможливлюють руйнування як вантажів, так і майданчиків, на яких ці вантажі встановлюються, оскільки процес переміщення вантажу здійснюється без їх ударних співдотиків, спричинених виникненням повздовжніх коливань в тросі, до якого підвішений вантаж.

Практична цінність результатів дисертаційного дослідження підтверджується впровадженням на промислових підприємствах: АТ «Хмельницькобленерго», «ДП Старокостянтинівський лісгосп», ТОВ «Шпон Шепетівка» та ТОВ «Велес-АгроЛТД», а також впровадженням результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес Вінницького національного технічного університету при навчанні студентів магістерського рівня підготовки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та достовірність результатів.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач досліджень є логічними, не суперечать фундаментальним фізичним і математичним закономірностям та підтверджуються достатньою апробацією основних положень і висновків на науково-технічних конференціях та впровадженням результатів дисертаційного дослідження у промисловості та навчальному процесі.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел зі 151 найменування, і додатків. Загальний обсяг дисертації складають 165 сторінок, з яких основний зміст дисертації викладено на 123 сторінках, на яких розміщено 26 рисунків, що є достатнім для дисертації доктора філософії.

Дисертація написана у науковому стилі і оформлена відповідно до чинних вимог. У дисертації чітко сформульовану наукову задачу, мету роботи, наукову новизну та практичне значення наукових результатів.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, відзначено наукову новизну та практичну цінність

отриманих в роботі результатів, а також наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень і публікації щодо роботи.

У **першому розділі** виконано огляд наукових робіт, присвячених нейтралізації пружних коливань в системі кранового механізму при підйманні/опусканні вантажу, встановлено, що не враховується змінний момент інерції привідного барабана. Показано, що при сталій швидкості обертання ротора електродвигуна кранового механізму лінійна швидкість підймання/опускання вантажу не є сталою.

Для оцінювання перегріву тягових електродвигунів підйомного механізму, коли той працює неперервному режимі, доцільно проводити вимірювання фазних струмів статора з використанням трансформатора струму.

У **другому розділі** виконано аналіз рівняння руху електропривода, показано, що рівняння руху на основі другого закону Ньютона є непридатним для аналізу електромеханічних систем підйомних механізмів, оскільки параметри систем цього класу в процесі підймання та опускання вантажів змінюються в часі.

Для адекватного опису руху підйомних механізмів запропоновано використання закону збереження імпульсу у обертальному русі. Визначено характер залежності моменту інерції та статичного моменту опору в залежності від геометричних розмірів механічної передачі підйомного механізму.

Розроблено метод ідентифікації математичних моделей підйомних механізмів з детальною покроковою реалізацією його алгоритму.

У **третьому розділі** обґрутовано необхідність системного підходу до аналізу процесів переміщення вантажів підйомним механізмом, який враховував би як несталий характер параметрів механічної частини електроприводу, так і вплив повздовжніх коливань, які виникають у тросі, на який підвішується вантаж.

Запропоновано математичну модель процесу переміщення вантажу підйомним механізмом, яка враховує усі вищеозначені особливості, розроблено алгоритм та практичну реалізацію цієї математичної моделі.

Обґрутовано адекватність запропонованої математичної моделі шляхом порівняння результатів імітаційного моделювання, з результатами експериментальних досліджень інших авторів.

Четвертий розділ присвячено синтезу законів оптимального керування електропривода підйомного механізму з урахуванням особливостей роботи цього класу механізмів. У якості критерія оптимізації використано стандартний функціонал квадратичного відхилення кутової швидкості приводного електродвигуна від заданого значення. Запропоновано алгоритм практичної реалізації синтезованого закону оптимального керування системою електропривода підйомного крана як динамічного об'єкта з параметрами, змінними у часі та просторі. Побудовано структурну схему мікропроцесорної системи автоматичного керування, яка реалізує отриманий закон оптимально керування. Зазначено, що для керування силовим випрямлячем за зворотним зв'язком по струму статора необхідно забезпечити високу точність вимірювання та фільтрацію вихідного сигналу.

П'ятий розділ присвячено аналізу особливостей роботи одно- та двохкаскадних трансформаторів струму як основного вимірювального пристрою, необхідного як для практичної реалізації системи оптимального керування електроприводом підйомного механізму, так і для контроля його теплових режимів.

Повнота викладу в опублікованих працях. Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 9 наукових роботах, із яких 6 опубліковано у наукових журналах, що входять до переліку фахових видань, 1 опубліковано у неперіодичному виданні, що увійшло до НМБ Scopus, 1 опубліковано у періодичному виданні, що видається в країні ЄС, а 1 є тезами науково-практичної конференції, що є цілком достатнім для дисертаційної роботи доктора філософії.

Зауваження до дисертаційної роботи.

До матеріалів дисертаційної роботи необхідно зробити наступні зауваження:

1. У дисертаційній роботі не визначено умови, за яких необхідно враховувати пружні повздовжні коливання вантажу на гнучкому підвісі, оскільки висота підймання вантажів у кранових механізмів може бути відносно незначною.
2. У наведеній на рис. 3.6, стор. 88, залежності зміни динамічного моменту системи електропривода підйомного крана, означений динамічний момент має негативне значення, що може свідчити про неточність розрахунків або ж

термінологічну неточність. Що саме автор розуміє під терміном «динамічний момент»?

3. У дисертаційній роботі не обґрунтовано вибір виразу апроксимаційної залежності пускового моменту від частоти живлячої мережі, вираз (4.4), стор. 94, та не наведено результати аналізу її збіжності з наведеною на рис. 4.1 залежності.

4. З матеріалів дисертації неясно, який саме метод пошуку екстремуму реалізовано у запропонованій автором системі оптимального керування вантажо-підйомного механізму.

5. Текст дисертації містить некоректно оформлені літературні посилання, наприклад, на стор. 93 згадується 19-й розділ 2-го тому «Енергоіздатівського» електротехнічного довідника.

6. По тексту дисертації часто використовується термін «тяговий електропривод», наприклад, стор. 3, 95, 100, та навіть включений до ключових слів дисертації, що протирічить загальновизнаному значенню цього терміну як електропривода пересування електричного транспорту.

7. Недостатньо обґрунтованою виглядає ідея використання трансформаторів струму у кості вимірювального обладнання, оскільки крановий електропривод з огляду на його відносно незначну встановлену потужність, доцільніше було б, на мій погляд, обладнати шунтами.

8. Дисертаційна робота містить синтаксичні неточності та мовні неузгодження, наприклад, назва розділу 5, стор. 104 містить слово «двокаскажних».

Однак, вважаю, що зазначені зауваження не стосуються основних положень та результатів дисертаційної роботи, не знижують її наукової та практичної цінності і не впливають на загальний позитивний висновок по роботі.

Висновок. Детальний аналіз матеріалу дисертаційної роботи та опублікованих наукових праць дає змогу стверджувати, що дисертаційна робота Кривоноса Олександра Михайловича «Синтез систем оптимального керування електроприводами зі змінними параметрами та пружними зв'язками» має всі ознаки завершеної наукової праці, в якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні

результати, що дають змогу підвищити експлуатаційні показники роботи підйомно-транспортних механізмів.

Матеріал дисертації викладено переважно послідовно, стиль викладання доказовий, чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому тісно пов'язані з її змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати наукових досліджень.

Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, а також отримані достовірні наукові результати, що мають наукову і практичну значимість, та, враховуючи достатню повноту висвітлення основних положень дисертаційної роботи в опублікованих працях, вважаю, що представлена дисертаційна робота відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а її автор Кривоніс Олександр Михайлович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електромеханіки
Криворізького національного університету


B. K. Титюк

Підпис Головка В.К. за свідгучу.
Доктор з наукової роботи
Криворізького національного університету
д.т.н., професор

B. C. Меркуш