

ВІДГУК

офіційного опонента Шведчикової Ірини Олексіївни
на дисертаційну роботу Король Олени Геннадіївни

**«Удосконалення системи форсованого керування електромагніта
вакуумного контактора за допомогою електронної системи»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.09.01 – електричні машини й апарати

Актуальність теми.

Тенденції останніх десятиліть свідчать про збільшення попиту на вакуумні контактори за рахунок надійності, високої швидкодії, простоти експлуатації та екологічної безпеки. Вони приводяться в дію моностабільним електромагнітом постійного струму, а для підвищення швидкодії та зменшення габаритів і маси цього електромагніта для нього застосовують форсоване керування. Огляд та аналіз існуючих систем форсованого керування з пусковими та утримуючими шунтовими обмотками, що найчастіше застосовують у вакуумних контакторах низьких напруг, виявив ряд недоліків таких систем. На відміну від вакуумних контакторів, які працюють в форсованому режимі багатократно, для газорозподільних клапанів ракет-носіїв, керованих електромагнітом постійного струму, характерна форсировка однократної дії. Одною із основних вимог до таких клапанів є швидкодія. Тому саме удосконалення існуючих конструкцій вакуумних контакторів низької напруги та конструкцій газорозподільних клапанів ракет-носіїв, а також їх систем форсованого керування є актуальною задачею.

Актуальність теми та вагомість результатів дисертації підтверджується тим, що вона виконувалась за планами науково-дослідних робіт кафедри електричних апаратів Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” згідно договору з ТОВ “АВМ Ампер“ м. Кременчук про науково-технічне співробітництво та наукове консультування за темою “Удосконалення вакуумних комутаційних апаратів“ (№ 33/227-2019) і завдань ініціативної НДР К3301 “Удосконалення вакуумних комутаційних апаратів“ (ДР №0119U002552), де здобувач була виконавцем окремих розділів. Результати досліджень впроваджені в

НТУ «ХП» і використовуються в навчальному процесі на кафедрі електричних апаратів. Усі впровадження підтверджені відповідними актами.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень, висновків та рекомендацій базуються на детальному вивченні та критичному аналізі науково-технічної літератури за темою дисертації, збіжності результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними, одержаними з використанням сучасного обладнання. Результати експериментальних і теоретичних досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових фахових виданнях.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу й комп'ютерним математичним моделювання перехідних електромагнітних механічних та теплових процесів у моностабільному електромагніті. Наукові результати здобувача успішно використані під час розробки діючого зразка пристрою для форсованого керування моностабільним електромагнітом, що дало можливість удосконалити конструкцію вакуумних контакторів КВТн-250/1.14 науково-виробничого підприємства «Електродинаміка» та впровадити їх на підприємствах гірничо-видобувної та вугледобувної промисловості; результати також використані Державним підприємством «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля» при проектуванні швидкодіючих електромагнітів броньового типу з занурюваним якорем, що використовуються у газорозподільних клапанах ракет-носіїв.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- удосконалено математичну модель динаміки форсованих електромагнітів у системах керування вакуумних контакторів під час спрацьовування, яка враховує особливості поведінки в комутаційних апаратах окремих її елементів у нестационарних процесах, та, на відміну від існуючих, дозволяє визначити необхідні характеристики системи, встановити взаємозв'язок і вплив параметрів

електромагніта на динамічні характеристики системи; встановити час спрацьовування електромагніта та інтервал часу роботи таймера;

- вперше науково обгрунтовано характер протікання динамічних процесів у форсованій електромагнітній системі під час спрацьовування вакуумного контактора, що дало можливість підвищити ефективність його роботи;

- удосконалено математичну модель стаціонарного нагріву шунтових обмоток електромагнітів в складних системах форсованого керування вакуумними контакторами, яка враховує особливості теплообміну між обмотками, теплопередачі від обмоток в магнітопровід і навколишнє середовище з урахуванням пульсацій струмів, і інших особливостей роботи електромагнітів в форсованих електромагнітних системах, що дозволило підвищити ефективність розрахунку теплових і, як наслідок, електромагнітних, силових і динамічних характеристик електромагнітів;

- удосконалено математичну модель форсованого нагріву шунтової обмотки електромагнітів постійного струму газорозподільних клапанів ракет-носіїв, яка враховує нерівномірний нагрів обмотки, що дозволило підвищити ефективність розрахунку теплового стану електромагнітів; розробити рекомендації щодо удосконалення (модифікації) конструкцій цих електромагнітів та підвищення їх швидкодії.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає в наступному:

- розроблено діючі зразки пристрою для форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора з урахуванням запропонованої у роботі математичної моделі динаміки електромагніта у складі системи форсованого керування, які успішно працюють без рекламаций, що підтверджено актом впровадження;

- розроблений і захищений патентом України на корисну модель пристрій для форсованого керування моностабільним електромагнітом, в якому замінено ненадійний контактний комутаційний елемент напівпровідниковим комутаційним елементом та застосовується інший спосіб з'єднання з діодним мостом і обмотками

електромагніта, що дозволило суттєво підвищити надійність роботи пристрою при експлуатації;

– удосконалено конструкцію вакуумних контакторів КВТн-250/1.14, в яких було встановлено удосконалений напівпровідниковий пристрій форсованого керування моностабільним електромагнітом, що дозволило впровадити їх на підприємствах гірничо-видобувної та вугледобувної промисловості, що підтверджено актом впровадження;

– вперше розроблена методика визначення еквівалентних теплофізичних параметрів обмотки електромагніту і об'ємної густини джерел нагріву шунтових обмоток, що дозволило підвищити ефективність розрахунку теплового стану електромагнітів, що підтверджено актом впровадження.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 10 наукових працях, у тому числі 7 публікацій у наукових фахових виданнях України, з них 2 – опубліковані у науковому журналі, включеному до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, проіндексованому у базі даних Web of Science Core Collection, що прирівнюється до статей у періодичних наукових виданнях інших держав згідно наказу МОН України від 23 вересня 2019 року № 1220; 1 – патент України; 2 – у матеріалах конференцій. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи:

Дисертаційна робота Король О.Г. складається з анотації двома мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, 5 додатків. Повний обсяг дисертації 230 сторінок, основний текст 168 сторінок, з них 28 рисунків по тексту; 34 рисунка на окремих 24 сторінках, 4 таблиці по тексту; 6 таблиць на окремих 4 сторінках; список використаних джерел інформації з 167 найменувань на 16 сторінках; 5 додатків на 41 сторінці. Структура і обсяг дисертаційної роботи відповідають вимогам, що пред'являються до кандидатських дисертацій.

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність теми дисертаційної роботи,

сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, висвітлено наукову новизну та положення, які виносяться здобувачем на захист, практичне значення отриманих результатів досліджень та їх зв'язок з науковими програмами, планами та темами. Наведено інформацію щодо особистого внеску автора, апробації роботи, публікацій та впровадження її результатів.

У **першому розділі** проведено огляд та аналіз вакуумних контакторів низької напруги різних виробників та їх систем форсованого керування. Виявлено, що найчастіше у вакуумних контакторах застосовуються системи форсованого керування з пусковими та утримуючими шунтовими обмотками. Проведено огляд та аналіз конструкцій газорозподільних клапанів ракет-носіїв. Виявлено, що в промисловості найбільшу увагу приділяють газорозподільним клапанам з шариковими перемикальними елементами. Також проведено огляд та аналіз методів розрахунку динаміки електромагнітів, існуючих методів апроксимації кривої намагнічування та петлі гістерезису, методів розрахунку нагрівання шунтових обмоток. Відповідно до аналізу сформульовані задачі та основні напрямки досліджень.

У **другому розділі** проведено дослідження серійного пристрою керування вакуумного контактора КВТн-250/1,14 науково-виробничого підприємства «Електродинаміка», виявлено ряд недоліків цього пристрою, розроблені рекомендації щодо його удосконалення, запропонована узагальнена схема удосконаленого напівпровідникового пристрою форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора і показана одна з можливих її реалізацій.

Третій розділ присвячено розробці математичної моделі та методики розрахунку динаміки форсованої електромагнітної системи вакуумних контакторів. За результатами розрахунку динамічних характеристик електромагніта встановлено час спрацьовування електромагніта та інтервал часу роботи таймера.

У **четвертому розділі** розроблені математична модель стаціонарного нагріву шунтових обмоток електромагнітів і математична модель форсованого нагріву шунтової обмотки електромагніта постійного струму газорозподільних клапанів ракет-носіїв та проведені теплові розрахунки в нестационарному режимі, а також

наведена методика визначення еквівалентних теплофізичних параметрів обмотки електромагніту і об'ємної густини джерел нагріву шунтових обмоток.

П'ятий розділ присвячено удосконаленню напівпровідникового пристрою форсованого керування моностабільним електромагнітом з пусковими та утримуючими шунтовими обмотками вакуумного контактора та проведено дослідження в ньому при живленні від джерела постійної та змінної напруги. На підставі проведених експериментальних досліджень та проведеному аналізу отриманих результатів були створені діючі дослідні зразки напівпровідникового пристрою форсованого керування і передано його компанії «Електродинаміка», яка встановила їх на дослідні зразки контакторів, які з жовтня 2017 року безвідмовно експлуатуються на декількох підприємствах гірничо-видобувної галузі (шахти, ГЗК), що свідчить про високу надійність даного технічного рішення і підтверджується відповідними актами впровадження.

У **висновках** узагальнено основні наукові та практичні результати, що отримані у роботі. Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 167 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи. Стиль викладу матеріалу відповідає загальноприйнятому та має високий науково-професійний рівень. Безсумнівною перевагою дисертаційної роботи є використання міжнародної електротехнічної термінології. Оформлення дисертації та автореферату відповідає чинним вимогам.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи, що відображено у п'яти пунктах, не підкріплено жодним кількісним показником.

2. Розділ 2 дисертаційної роботи присвячений дослідженню систем форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора

КВТн-250/1,14, тому доцільно було б назву типу контактора винести до назви розділу, а не повторювати в кожному підрозділі.

3. У підрозділі 3.4 наведено результати розрахунків динаміки форсованих електромагнітів у системах керування вакуумних контакторів, але з тексту дисертації не зрозуміло, для якої системи форсованого керування вони зроблені: електромеханічної чи напівпровідникової.

4. У підрозділі 4.3.1 наводиться детальний опис методики визначення еквівалентних теплофізичних параметрів обмотки електромагніта і об'ємної густини джерел нагріву шунтових обмоток, але ця методика також використовується при розрахунках стаціонарного нагріву шунтових обмоток, працюючих у системах форсованого керування вакуумних контакторів (підрозділ 4.2.4), тому слід було ввести її опис саме в підрозділі 4.2.4, інакше не зовсім зрозуміло як були враховані наступні два фактори (стор. 124): перший – при нагріванні шунтових обмоток середнє значення об'ємної густини джерел нагріву інтегрально зменшується, але другий – в певний час в точках з більш високою температурою об'ємна густина джерел струму виявляється більшою, ніж в точках з меншою температурою.

5. Присутні неточності в тексті роботи. Так, на стор. 143 наводиться посилання на сукупність рівнянь (5.70), але в тексті дисертації відсутні формули з таким номером.

6. В роботі мають місце незначні порушення правил оформлення дисертаційної роботи, зокрема:

у другому розділі на рис. 2.9 – рис. 2.12 та у п'ятому розділі на рис. 5.3 – рис. 5.7 не позначені криві струмів і напруг, а також відсутні осі координат з позначенням масштабів величин, що досліджувались;

у четвертому розділі в підписках до рис. 4.8, 4.10, 4.12 слід було б позначити, чим відрізняються суцільні лінії від пунктирних, та додати літерні позначення величин, які представлені на рисунках.

7. В роботі зустрічаються орфографічні та стилістичні помилки та неточності.

Вказані недоліки не є суттєвими та не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Король Олени Геннадіївни “Удосконалення системи форсованого керування електромагніта вакуумного контактора за допомогою електронної системи” за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.01 – електричні машини й апарати. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв’язує важливу науково-практичну задачу, суть якої полягає в удосконаленні системи форсованого керування моностабільного електромагніта вакуумного контактора низької напруги за допомогою електронної системи для підвищення надійності (безвідмовності) роботи і терміну служби пристрою при експлуатації та удосконаленні конструкцій газорозподільних клапанів ракет-носіїв в умовах форсованих режимів за рахунок обґрунтованих технічних рішень та рекомендацій. Дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. **9, 11, 12** “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, а здобувач Король Олена Геннадіївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.01 – електричні машини й апарати.

Офіційний опонент,
 професор кафедри комп’ютерної інженерії
 та електромеханіки
 Київського національного університету
 технологій та дизайну
 доктор технічних наук, професор



Ірина ШВЕДЧИКОВА

Підпис *І. Шведчикової*
 засвідчую
 Зав. КАНЦ *Sh*