

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Тунгасова Катерина Володимирівна

УДК 681.5.09: 62-5

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИМ ДВИГУНОМ З НИЗЬКОЮ
ЧУТЛИВІСТЮ ДО ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗБУРЕНЬ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат кваліфікаційної роботи магістра

Краматорськ 2019

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації
Донбаської державної машинобудівної академії Міністерства освіти і науки
України, м. Краматорськ.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук,
Івченков Микола Володимирович,
Донбаська державна машинобудівна
академія, доцент кафедри
«Електромеханічні системи
автоматизації».

Рецензент:

Захист відбудеться «___» грудня 2019 р. о ___ годині на засіданні державної
екзаменаційної комісії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» в Донбаській державній машинобудівній
академії на кафедрі ЕСА за адресою: 84313, м. Краматорськ, бульвар
Машинобудівників, 39, 2-й корпус, ауд. 2133.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

В даний час одним з пріоритетних напрямків є створення конкурентоспроможної промисловості, в основі якої лежить розробка і впровадження передових промислових технологій. У всіх провідних галузях промисловості, будь то видобувна або переробна, легка або важка, важливе місце займає електричний привід. Сучасні електроприводи дозволяють повністю автоматизувати виробництво, а рівень промисловості визначається інтелектуальною здатністю приводів.

Розвиток промисловості в області сучасного автоматизованого електроприводу відбувається шляхом переходу від традиційних електроприводів до електроприводів з більш високою ефективністю, наприклад, вентильно-індукторних приводів (ВІП), які відрізняються поліпшеними масогабаритними та енергетичними показниками. Техніко-економічні характеристики електроприводу повинні відповідати вимогам сучасних умов. Для досягнення необхідних результатів необхідно вдосконалювати силову і інформаційну частини електроприводу одночасно, а це означає, що пріоритетним напрямком є подальше зростання частки регульованого електроприводу по відношенню до нерегульованого. Наявність керованого перетворювача дозволяє регулювати швидкість і положення робочого органу, значно підвищити техніко-економічні показники і функціональні можливості.

Сучасним вимогам до приводів досить добре відповідає електропривод на базі ВІД, завдяки особливостям своєї конструкції і принципу дії під керуванням мікропроцесорної системи. Такі переваги електродвигуна, як простота конструкції, його надійність і регульовальні можливості, що забезпечують реалізацію необхідного алгоритму керування, обумовлюють застосування вентильно-індукторних двигунів (ВІД) в легкій і

важкій промисловості, морському, залізничному та автомобільному транспорті, авіаційно-космічних системах, побутовій техніці та ін.

При створенні електроприводів на базі ВІД виникають різні проблеми. До кінця невирішеною залишається проблема оптимального проектування ВІД. Адже саме конфігурація активної частини ВІД, в яку входять магнітопроводи статора і ротора і обмотка статора, багато в чому визначає характеристики проектованої машини. Завдяки наявності високопродуктивної обчислювальної техніки і програмного забезпечення, існує можливість удосконалювати активну частину ВІД за допомогою оптимізаційних алгоритмів.

Актуальність аналізу вентильно-індукторного електроприводу викликана необхідністю підвищення надійності експлуатації двигуна, так і вимогою вдосконалення алгоритмів систем контролю і прогнозування теплового стану ВІД в різних режимах.

Тому розробка і дослідження векторної системи керування вентильно-індукторним електродвигуном дозволить створювати більш досконалі електроприводи на базі ВІД, які будуть мати високу конкурентоспроможність в порівнянні з іншими приводами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Вибір напрямку досліджень здійснено у відповідності до Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та змін до цього закону від 09.09.2010 р. № 2519-VI (2519-17), а також постанови Президії Національної Академії Наук України від 22.10.2010 р. № 294 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року».

Робота виконана в рамках держбюджетної теми кафедри «Електромеханічні системи автоматизації» ДДМА, «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації».

Мета і задачі дослідження.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження векторної системи керування вентильно-індукторним двигуном з низькою чутливістю до параметричних збурень.

Мета досягається за розв'язання наступних задач:

- розгляд технічних особливостей та класифікація вентильно-індукторних двигунів;
- аналіз конструктивних особливостей насосного агрегата станції водопостачання;
- виконання розрахунку техніко-експлуатаційних параметрів насосного агрегату;
- розробка структурної схеми двомасового об'єкта керування, яка враховує пружні елементи з розподіленою масою;
- вибір системи керування та вентильно-індукторного двигуна для електромеханічної системи електроприводу насосного агрегату станції водопостачання;
- дослідження електромеханічної системи насосного агрегату на основі математичної моделі;
- дослідження електроприводу з низькою чутливістю до параметричних збурень;
- аналіз економічних переваг і актуальності прийнятих рішень.

Об'єктом дослідження є електропривод насосного агрегату станції водопостачання.

Предметом дослідження є забезпечення низької чутливості вентильно-індукторного електроприводу до параметричних збурень.

Методи досліджень – методи математичного моделювання; чисельні методи обчислень, методи теорії автоматичного керування, методи забезпечення оптимальних параметрів двигуна по куту установки ротора.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Для системи керування перспективним і простим є варіант керування вентильно-індукторним двигуном за кутом установки ротора.
2. Для можливості роботи вентильно-індукторного двигуна на високій швидкості можна використовувати метод ослаблення поля, коли створюється негативний струм осі d , що дозволить зменшити напругу, яка прикладається до двигуна, не зменшуючи при цьому момент.
3. Отримано модель електропривода, яка дозволяє імітувати зміну кута установки ДПР та дозволяє контролювати швидкість, момент, струми I_d і I_q та керувати задаючими і збурюючими сигналами.

Практичне значення отриманих результатів:

1. В роботі обґрунтовано теоретичні основи і синтезовано основні принципи керування вентильно-індукторним двигуном з низькою чутливістю до параметричних збурень, яких достатньо для застосування електроприводу, наприклад, для насосного агрегату водопостачання.
2. В роботі показано, що керування по куту установки має більш високу швидкодію, ніж за напругою.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методики забезпечення оптимальних параметрів двигуна по куту установки ротора.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати досліджень обговорювались на щорічній науковій конференції студентів ДДМА, м. Краматорськ, 2019 р.

Публікація результатів наукових досліджень.

Матеріали магістерської роботи опубліковано в науковій статті у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

Структура і обсяг магістерської роботи.

Магістерська робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи становить 151 сторінка, включаючи 47 рисунків та 25 таблиць. Список використаних джерел містить 54 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми дослідження, її основну мету, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** виконується аналіз сучасного стану щодо використання та перспектив розвитку вентильно-індукторного електропривода.

Від рівня розвитку промислового комплексу залежать багато найважливіших показників економіки, такі як продуктивність праці, матеріаломісткість і енергоємність на одиницю продукції, що випускається, обороноздатність, а значить і конкурентоспроможність серед економічно розвинених країн. В даний час в загальному обсязі промисловості України на машинобудування припадає лише 20%, а це в два рази менше, ніж в промисловорозвинутих країнах.

В даний час одним з пріоритетних напрямків є створення конкурентоспроможної промисловості, в основі якої лежить розробка і впровадження передових промислових технологій. У всіх провідних галузях промисловості, будь то видобувна або переробна, легка або важка, важливе місце займає електричний привід. Сучасні електроприводи дозволяють повністю автоматизувати виробництво, а рівень промисловості визначається інтелектуальною здатністю приводів.

Завдання магістерської роботи – вдосконалення електроприводу на основі ВІД, створення програмного комплексу для автоматизації проектування з урахуванням оптимізації активної частини ВІД, дослідження впливу фрагментів магнітної системи ВІД на середнє значення електромагнітного моменту.

Вирішення поставлених завдань дозволить створювати більш досконалі електроприводи на базі ВІД, які будуть мати високу

конкурентоспроможність в порівнянні з іншими приводами.

У **другому розділі** розглядаються методи наукових досліджень, наводиться послідовність етапів побудови математичної моделі.

Дослідження має два основні рівні – емпіричний і теоретичний.

Будь-яке наукове дослідження розпочинається зі збору, систематизації та узагальнення фактів. Розрізняють факти дійсності і наукові факти. Факти дійсності – це події, явища та процеси, які відбувалися або відбуваються в реальній дійсності; вони є різними сторонами, властивостями, відношеннями досліджуваних об'єктів. Наукові факти – це відображені у свідомості дослідника факти дійсності, що перевірені, усвідомлені та зафіксовані мовою науки як емпіричні судження.

Емпіричний рівень дослідження складається з двох стадій (етапів).

На першій стадії відбувається процес отримання фактів. Використовуючи різні шляхи та прийоми, дослідник вичленовує і накопичує факти – емпіричну основу наукового дослідження.

Друга стадія передбачає первинну обробку, систематизацію та оцінку фактів у їх взаємозв'язку, тобто осмислення і жорсткий опис здобутих фактів у термінах наукової мови, їхню класифікацію та виявлення залежностей між ними.

На емпіричному рівні дослідження вирішуються такі пізнавальні завдання:

- збирання необхідного фактичного матеріалу про досліджуваний об'єкт, який є фундаментом дослідження і без яких неможливо побудувати ефективну наукову теорію;

- отримання даних про різноманітні властивості та зв'язки емпіричного об'єкта, тенденції його руху та розвитку, що сприяє формалізації знання та широкому використанню кількісних методів при побудові наукових теорій;

- розробка схем, діаграм, картограм тощо, в яких фіксується і відображається стан досліджуваного об'єкта, його структура, розвиток, динаміка поведінки;

- класифікація наукових фактів і даних, котрі в узагальненому вигляді називаються емпіричною інформацією.

У **третьому розділі** виконано опис роботи та технологічних особливостей обраного об'єкта дослідження – електропривода насосного агрегата станції водопостачання.

Сучасний етап розвитку міського господарства передбачає широке впровадження автоматизованих систем керування насосними станціями з метою підвищення ефективності та надійності їх роботи, енергозбереження, збільшення ресурсу електротехнічного, механічного та гідравлічного обладнання.

Найважливішим засобом автоматизації є частотно-регульовані електроприводи. Як показує світова і вітчизняна практика, впровадження таких електроприводів насосних агрегатів забезпечує:

- зменшення енергоспоживання в середньому від 30 до 50%;
- економію води до 30%;
- збільшення міжремонтних циклів електротехнічного, механічного та гідравлічного обладнання в середньому від 1,5 до 2 раз.

У **четвертому розділі** здійснюється побудова векторної системи керування електропривода насосного агрегата на базі вентильно-індукторного двигуна з побудовою математичної моделі та графіків перехідних процесів, отриманих за допомогою цієї моделі.

Завдання синтезу і методи побудови електроприводних систем насосних агрегатів (НА), які підвищують ефективність насосних станцій (НС) зводяться до наступних задач:

- забезпечення техніко-економічної ефективності роботи

електроприводної системи НА, визначення оптимальних параметрів системи керування НА стосовно до конкретних умов експлуатації;

- синтез оптимальних параметрів регуляторів системи керування електроприводної системи НА;

- задачі автоматичної оптимізації з метою зменшення енергопоживання.

При вирішенні першого завдання повинні розглядатися наступні характеристики:

- витрата на експлуатацію електроприводних систем НА;
- капітальні витрати на придбання НА, що входять в насосну станцію, і на проведення підготовчих робіт;
- збиток від зниження продуктивності подачі води користувачеві;
- продуктивність НА і т. п.

При вирішенні другого завдання застосовуються методи оптимізації для знаходження оптимальних параметрів регуляторів системи керування електроприводами НА, що забезпечують необхідні динамічні характеристики електроприводних систем НА. При цьому також використовується синтез механічної підсистеми, електромагнітної підсистеми.

У **п'ятому розділі** здійснюється дослідження вентильно-індукторного електропривода з низькою чутливістю до параметричних збурень з побудовою математичної моделі та графіків перехідних процесів, отриманих за допомогою цієї моделі.

У розділі обґрунтовані і синтезовані основні принципи керування ВІД з низькою чутливістю до параметричних збурень, яких достатньо для застосування електроприводу, наприклад, для насосного агрегату водопостачання (розглянуто в розділі 4). Система керування ВІД містить вузол, що забезпечує узгоджене керування струмами I_d , I_q . Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

- керування ВІД по куту установки ДПР є ефективним і дозволяє оптимізувати режими роботи двигуна;

- у разі створення електроприводу на базі ВІД найбільш прийнятною є нейтральна установка;

- отримані вирази справедливі для аналогових ДПР різних типів (обертовий трансформатор, датчик Холла з лінійною характеристикою і т.д.);

- керування по куту установки має більш високу швидкодію, ніж за напругою.

У **шостому розділі** здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту.

У **сьомому розділі** наведено результати аналізу з охорони праці, а саме аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, заходи щодо забезпечення безпечних умов праці і дії при надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота є актуальною науково-дослідною роботою для промислових електроприводів, в результаті якої вирішено наступні задачі:

- вибір системи керування вентильно-індукторним двигуном насосного агрегата;
- дослідження електромеханічної системи насосного агрегата на основі математичної моделі;
- дослідження чутливості електроприводу насосного агрегата до параметричних збурень;
- аналіз економічних переваг і актуальності прийнятих рішень.

В результаті розроблені нові схемні рішення, спрямовані на підвищення техніко-економічних показників електроприводу:

- розроблено електропривод з вентильним двигуном, що відрізняється низькою чутливістю до постійно змінюваних параметрів;
- розроблено математичну модель досліджуваного електроприводу;
- підвищено техніко-економічні показники електроприводу насосного агрегата станції водопостачання;
- проаналізовано роботу обчислювачів координат на основі первинних датчиків.
- розроблено математичні моделі та синтезована система керування ВІД по куту положення ротора, що реалізують електропривод насосного агрегата на основі вентильного двигуна.

Запропоновані підходи до технічної реалізації електроприводу насосного агрегата з вентильно-індукторним двигуном можуть бути використані підприємствами, що займаються розробкою і випуском систем керування для енергетичної галузі.

Економічна ефективність запропонованих в магістерській роботі заходів підтверджується у розділі 6, а питання з охорони праці і безпеки при надзвичайних ситуаціях докладно розглянуті у розділі 7.

АНОТАЦІЯ

Тунгасова К. В. Дослідження векторної системи керування вентильно-індукторним двигуном з низькою чутливістю до параметричних збурень.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Магістерська робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи становить 151 сторінка, включаючи 47 рисунків та 25 таблиць. Список використаних джерел містить 54 найменування.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження векторної системи керування вентильно-індукторним двигуном з низькою чутливістю до параметричних збурень.

Основні наукові та практичні результати магістерської роботи:

1. Проаналізовано основні методи дослідження векторної системи керування вентильно-індукторним двигуном з низькою чутливістю до параметричних збурень.

2. Для електроприводу насосного агрегату проведено дослідження та модернізація електромеханічної системи на базі частотно керованого електроприводу з мікропроцесорним пристроєм керування.

3. З метою мінімізації енергоспоживання, забезпечення необхідного напору в водогоні, збільшення міжремонтного періоду обладнання, а також підбору числа і потужності насосних агрегатів при модернізації насосної станції водопостачання необхідно впровадження нових ефективних алгоритмів керування, сучасних комплектуючих виробів.

Ключові слова: ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИЙ ДВИГУН, СТАТОР, РОТОР, АВАРІЙНИЙ РЕЖИМ, НАДІЙНІСТЬ, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

ANNOTATION

Tungasova K. V. Investigation of vector control system of low-sensitivity valve-inductor motor for parametric excitations.

The master's work on the specialty 141 – "Electricity, electronics and electrical engineering", Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

The master's work consists of an introduction, seven sections, conclusions and a list of used sources. The total amount of master's work is 151 pages, including 47 figures and 25 tables. The list of literature contains 54 items.

The purpose of the master's qualification work is to study the vector control system of a valve-inductor motor with low sensitivity to parametric excitations.

The main scientific and practical results of the master's work:

1. There was analyzed the basic methods of research of the vector control system of the valve-inductor motor with low sensitivity to parametric excitations.
2. There were held research and modernization of the electromechanical system based on a frequency-controlled electric drive with a microprocessor control device for the electric drive of the pump unit.
3. In order to minimize energy consumption, ensure the necessary pressure in the water supply system, increase the equipment overhaul period, as well as select the number and capacity of pumping units during the modernization of the water supply pumping station, it is necessary to introduce new effective control algorithms and modern components.

Keywords: SWITCHED RELUCTANCE MOTOR, STATOR, ROTOR, EMERGENCY MODE, RELIABILITY, POWER CONVERTER

Тунгасова Катерина Володимирівна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИМ ДВИГУНОМ З НИЗЬКОЮ
ЧУТЛИВІСТЮ ДО ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗБУРЕНЬ**

Підп. до друку	Формат 60×90/16	Офсетний друк
Умов. друк. арк. – 0,58	Тираж 1 прим.	Замовлення №

ДДМА, 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72