

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

Речкін Артем Русланович

УДК 681.5.09: 62-5

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
ЗМІННОГО СТРУМУ НА БАЗІ АСИНХРОНІЗОВАНОГО
ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА**

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.

Однією з найхарактерніших особливостей розвитку науки і техніки на початку XXI століття є розвиток мікроелектроніки та мікропроцесорної техніки, а також засобів автоматизації на їх основі. Розвиток електроенергетики також тісно пов'язаний з мікропроцесорною технікою, оскільки складність процесів в енергосистемах, висока швидкість їх протікання зажадали широкого впровадження для розрахунку і підтримки режимів, а також для керування всіма процесами електронно-обчислювальних машин, пов'язаних з системою складними електронними пристроями і забезпеченими розвиненими пристроями для відображення інформації.

Надійна, економічна і безпечна робота будь-якої котельні або електростанції з мінімальним числом обслуговуючого персоналу може здійснюватися тільки при наявності теплового контролю, автоматичного регулювання та керування технологічними процесами, сигналізації і захисту обладнання. Для автоматизації зазвичай застосовуються прилади та регулятори, що випускаються серійно.

Загальними завданнями контролю та керування роботою будь-якої енергетичної установки, в тому числі котла, є забезпечення:

- вироблення в кожен даний момент необхідної кількості теплоти (пари, гарячої води) при певних його параметрах – тиску та температури;
- економічності спалювання палива, раціонального використання електроенергії для власних потреб установки та скорочення втрат теплоти до мінімуму;
- надійності та безпеки, тобто встановлення і збереження нормальних умов роботи кожного агрегату, що виключають можливість неполадок і аварій як власне агрегату, так і допоміжного обладнання.

Найважливішим завданням енергетиків є всебічна економія палива та

енергії. Цього можливо досягти різними способами, одним з яких для котлів, що працюють на паливі в пилоподібному стані, є оптимізація режимів подачі вугільного пилу в топку. З метою скорочення енергоспоживання і проводиться в даній кваліфікаційній роботі дослідження електроприводу змінного струму на базі асинхронізованого вентильного двигуна (АВД).

Сучасні реалії розвитку конкурентної економіки такі, що ефективність енергозберігаючих технологій багато в чому визначається ефективністю застосовуваного електроприводу (ЕП). Але регульовані приводи в цілому в Україні складають лише близько 10% всього парку електроприводів [3], що стає серйозною проблемою національного масштабу. Тому в рамках сучасної енергетичної політики країни розробка високопродуктивних, компактних і економічних систем регульованого приводу є одним з пріоритетних напрямків розвитку вітчизняної науки і техніки.

Проведений огляд наукової літератури показав, що сучасний етап розвитку ЕП характеризується активним застосуванням регульованого приводу змінного струму, який є найперспективнішим, надійним і економічно вигідним способом перетворення електричної енергії в механічну.

В даний час в діапазоні середніх і великих потужностей знаходять застосування приводи на базі асинхронного двигуна з фазним ротором (АДФР). Для регульованого електроприводу з АДФР перспективним напрямком є використання системи асинхронно-вентильного каскаду (АВК), який має високі експлуатаційні показники, просте схемне рішення перетворювача і надійним виконавчим двигуном. Основна ідея АВК полягає в рекуперації потужності ковзання в мережу живлення через ПЧ, підключений до обмоток фазного ротора.

Актуальність аналізу електроприводу на базі асинхронізованого вентильного двигуна викликана необхідністю підвищення його енергоефективності за рахунок вдосконалення системи керування.

Тому розробка і дослідження системи керування АВД (в нашому

випадку асинхронним двигуном з фазним ротором, як машини подвійного живлення) дозволить створювати більш досконалі електроприводи на базі АВД, які будуть мати високу конкурентоспроможність в порівнянні з іншими приводами.

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

Вибір напряму досліджень здійснено у відповідності до Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та змінам 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 енергоефективного електроприводу змінного струму на базі асинхронізованого вентильного двигуна.

Мета досягається за розв'язання наступних задач:

- розгляд технічних особливостей та класифікація асинхронізованих вентильних двигунів;
- аналіз конструктивних особливостей димососа котельного агрегата Краматорської ТЕЦ;
- виконання розрахунку техніко-експлуатаційних параметрів димососу котельного агрегату;
- розробка структурної схеми двомасового об'єкта керування, яка враховує пружні елементи з розподіленою масою;

– вибір системи керування асинхронного двигуна з фазним ротором для електромеханічної системи електроприводу димососу котельного агрегату;

– дослідження електромеханічної системи димососу на основі математичної моделі;

– дослідження енергоефективного електроприводу змінного струму на базі асинхронізованого вентильного двигуна;

– аналіз економічних переваг і актуальності прийнятих рішень.

Об'єктом дослідження є електропривод димососу котельного агрегата Краматорської ТЕЦ.

Предметом дослідження є забезпечення енергоефективності електроприводу на базі асинхронізованого вентильного двигуна.

Методи досліджень – методи математичного моделювання; чисельні методи обчислень, методи теорії автоматичного керування, методи забезпечення оптимальних параметрів двигуна по мінімуму сумарних втрат.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Побудовано та проаналізовано електропривод на базі асинхронного двигуна з фазним ротором, застосованим як машина подвійного живлення.

2. Побудована та проаналізована математична модель електроприводу на базі двигуна подвійного живлення.

3. Проведено оптимізацію електроприводу на базі асинхронізованого вентильного двигуна по мінімуму втрат потужності.

Практичне значення отриманих результатів:

1. В електроприводі з асинхронізованим вентильним двигуном можливо двозонне регулювання частоти обертання ротора. Забезпечення

сталості напруги статора $U_{SH} = \text{const}$ дозволяє досягти максимально можливого моменту електроприводу.

2. Однаковий напрямок обертання ротора і основного магнітного поля двигуна призводить до значного зростання η_{Σ} .

3. Знизити енерговитрати в електроприводі на базі асинхронізованого вентильного двигуна можливо за критерієм мінімуму сумарної потужності втрат в міді і в сталі.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методики забезпечення оптимальних параметрів двигуна за критерієм мінімуму сумарної потужності втрат в міді і в сталі.

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 142 сторінки, включаючи 24 рисунки та 20 таблиць. Список використаних джерел містить 49 найменувань.

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 асинхронізованого вентильного електропривода.

В даний час роботи по вдосконаленню систем регульованого електроприводу ведуться за трьома основними напрямками:

- створення серій асинхронних двигунів з підвищеними енергетичними показниками, що відповідають міжнародним стандартам;

- вдосконалення елементної бази перетворювачів частоти, в яких зараз використовуються потужні IGBT-транзистори або повністю керовані IGCT-тиристри. На базі IGBT-транзисторів випускаються інтелектуальні модулі, які об'єднують в одному корпусі силовий ключ з елементами керування та захисту. На сьогоднішній день низьковольтні перетворювачі частоти виробляються серійно багатьма фірмами, як правило, за дволанковою топологією з проміжною ланкою постійного струму та вихідною ланкою за типом інвертора напруги. Для високовольтних перетворювачів проблеми комутації високої напруги, поліпшення гармонійного складу струмів і напруг вирішується багаторівневим перетворенням;

- застосування програмованих контролерів і сигнальних процесорів для побудови систем керування з реалізацією складних адаптивних алгоритмів, спостерігачів стану, нечіткого управління і т.д.

Досить швидкий розвиток цієї тріади надає можливості для розробок ефективних електроприводів, керованих відповідно до заданих законів.

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

Залежно від рівня пізнання виділяють методи емпіричного, теоретичного і метатеоретичного рівней. До методів емпіричного рівня відносять спостереження, опис, порівняння, рахунок, вимір і т.д.

До методів теоретичного рівня зараховують аксіоматичний, гіпотетичний (гіпотетико-дедуктивний), формалізацію, абстрагування, логічні методи (аналіз, синтез, індукцію, дедукцію, аналогію) та ін.

Методами метатеоретичного рівня є діалектичний, метафізичний, герменевтичний та ін. Деякі вчені до цього рівня відносять метод системного аналізу, а інші його зараховують до загальнологічних методів.

Залежно від сфери застосування і ступеня спільності розрізняють методи – загальні (філософські), що діють у всіх науках і на всіх етапах пізнання, загальнонаукові, які можуть застосовуватися в гуманітарних, природничих і технічних науках, приватні (для родинних наук), спеціальні (для конкретної науки, галузі наукового пізнання).

Від даного поняття методу слід відмежовувати поняття техніки, процедури і методики наукового дослідження.

У **третьому розділі** виконано опис роботи та технологічних особливостей обраного об'єкта дослідження – електропривода димососа котельного агрегата Краматорської ТЕЦ.

Промисловість і енергетика як основні та тісно взаємопов'язані галузі народного господарства являють собою сукупність підприємств, що забезпечують виробничу базу країни. Поняттям «енергетика» охоплюють широке коло технічних засобів, призначених для вироблення, перетворення, передачі і використання електричної, теплової та інших видів енергії, а також енергоносіїв, таких як стиснене повітря, кисень та ін. Особливо важливе значення має електрична енергія в силу універсальності її застосування в промисловості, на транспорті, в побуті.

Приблизно 85% електричної енергії в нашій країні виробляється на теплових електростанціях (ТЕС), на яких електрична енергія виробляється з

використанням хімічної енергії органічного палива, що спалюється.

Прикладом такої електростанції може служити Краматорська ТЕЦ, на якій основними тепловими агрегатами є парові котли і парові турбіни.

Паровий котел – це пристрій для вироблення пари з тиском вище атмосферного за рахунок теплоти від спалювання палива.

У **четвертому розділі** здійснюється побудова системи керування електропривода димососа котельного агрегата на базі асинхронізованого вентильного електропривода з побудовою математичної моделі та графіків перехідних процесів, отриманих за допомогою цієї моделі.

Сучасна котельна установка являє собою складне технічне спорудження. Вона складається з котельного агрегату і котельного допоміжного обладнання. Продукцією котлотурбінного цеху є насичена водяна пара необхідних параметрів, яка використовується на технологічні потреби.

До складу котельного агрегату входять паровий котел, топка, водяний економайзер, обмуровування, а також арматура.

Котел являє собою вертикально-водотрубний двобарабанний паровий котел з природною циркуляцією. Котел має два однакових за довжиною і діаметром барабана. Камера згоряння повністю екранована трубами. Для підвищення економічності роботи котел постачають чавунним водяним економайзером, який дозволяє знизити температуру відхідних газів.

Для модернізації електроприводу димососа котельного агрегата Краматорської ТЕЦ застосуємо систему керування з асинхронним двигуном з фазним ротором з подвійним живленням.

У **п'ятому розділі** здійснюється дослідження енергоефективного електроприводу змінного струму на базі асинхронізованого вентильного двигуна за критерієм мінімуму втрат потужності.

Для обліку втрат в стали в модель двигуна вводяться два постійних

коефіцієнта – коефіцієнт втрат від гистерезиса K_h і опір контуру втрат від вихрових струмів R_v .

В електроприводі з АВД можливо двозонне регулювання частоти обертання ротора. Забезпечення сталості напруги статора $U_{sh} = \text{const}$ дозволяє досягти максимально можливого моменту електроприводу.

Однаковий напрямок обертання ротора і магнітного поля двигуна призводить до значного зростання η_Σ .

Зустрічне обертання ротора і магнітного поля двигуна призводить до значного зростання $\cos\varphi_\Sigma$. При цьому відсутня рекуперація потужності ковзання в мережу, тобто активна потужність споживається і з боку обмотки збудження ($P_r > 0$).

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 науково-дослідною роботою по вирішенню важливої та актуальної науково-технічної задачі дослідження енергоефективного електроприводу змінного струму на базі асинхронізованого вентильного двигуна. Здатність двигунів подвійного живлення віддавати в мережу регульовану реактивну потужність за рахунок автоматичного регулювання збудження двигуна істотно покращує режими роботи споживачів електроенергії і живильної мережі в цілому. Коефіцієнт корисної дії може досягати значення 96-98%.

Для обраного в якості об'єкта дослідження димососа котельного агрегата Краматорської ТЕЦ проведені дослідження електроприводу на базі частотно керованого асинхронізованого вентильного двигуна (асинхронного двигуна з фазним ротором, який має подвійне живлення).

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

- розглянуто технічні особливості та принципи роботи димососів котельних агрегатів;
- виконано розрахунок техніко-експлуатаційних параметрів димососа;
- виконано вибір системи керування, асинхронного двигуна з фазним ротором;
- виконано дослідження електромеханічної системи по мінімуму втрат потужності;
- побудована математична модель електроприводу на базі асинхронізованого вентильного двигуна з урахуванням втрат в сталі;
- проаналізовано економічні переваги та актуальність прийнятих рішень.

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

АНОТАЦІЯ

Речкін А.Р. Дослідження енергоефективного електроприводу змінного струму на базі асинхронізованого вентильного двигуна.

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 142 сторінок, включаючи 24 рисунка та 20 таблиць. Список використаних джерел містить 49 найменувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження енергоефективного електроприводу змінного струму на базі асинхронізованого вентильного двигуна.

Основні наукові та практичні результати магістерської роботи:

1. Для обраного в якості об'єкта дослідження димососа котельного агрегату проведені дослідження і модернізація електроприводу на базі частотно керованого електроприводу з мікропроцесорним пристроєм керування асинхронним двигуном подвійного живлення.

2. Виконано вибір системи керування, асинхронного двигуна і частотного перетворювача для електромеханічної системи електроприводу димососа котельного агрегату.

3. Виконано дослідження електромеханічної системи на базі асинхронізованого вентильного двигуна для поліпшення його енергоефективності.

4. Побудовано математичну модель асинхронізованого вентильного двигуна.

Ключові слова: АСИНХРОНІЗОВАНИЙ ВЕНТИЛЬНИЙ ДВИГУН, СТАТОР, РОТОР, СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ANNOTATION

Rechkin A.r. Research of energy efficient AC drive based on asynchronous valve motor.

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 142 pages, including 24 figures and 20 tables. The list of literature contains 49 items.

The purpose of the master's qualification work is the study of energy efficient AC drive based on asynchronous valve motor.

Main scientific and practical results of master's work:

1. For the boiler unit selected as the smoke exhauster's research object, research and modernization of the electric drive based on a frequency-controlled electric drive with a microprocessor-based dual-supply asynchronous motor control device were carried out.

2. The choice of control system, induction motor and frequency converter for the electromechanical system of the electric drive of the smoke exhauster of the boiler unit.

3. Research of the electromechanical system based on an asynchronous valve motor to improve its energy efficiency.

4. A mathematical model of an asynchronised valve motor is built..

Keywords: ASYNCHRONIZED VALVE MOTOR, STATOR, ROTOR, REPLACEMENT SCHEME, ENERGY EFFICIENCY

Речкін Артем Русланович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
ЗМІННОГО СТРУМУ НА БАЗІ АСИНХРОНІЗОВАНОГО
ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА**

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