

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

На даний момент однією з найважливіших економічних проблем України є її імпортозалежність від ключових енергоносіїв – газу, нафти, вугілля, атомного палива. У виробництві електроенергії сталося досить скрутне становище. Найбільш поширені виробники електроенергії – теплоелектростанції (ТЕС) страждають через велику вартість вітчизняного вугілля і не менш великою ціною на природний газ, яка і досі зростає. Витрати на виробництво електроенергії більші, ніж ціна продажу споживачам.

Окрім цього, власне сам електроенергетичний комплекс потребує все більш активних заходів щодо раціоналізації та модернізації його матеріально-технічної бази з урахуванням вимог часу:

- впровадження сучасних енергозберігаючих технологій;
- модернізація та вдосконалення енергетичного обладнання;
- заміщення неефективного та застарілого обладнання;
- скорочення усіх енергетичних витрат;
- підвищення рівня використання вторинних енергоресурсів.

Нераціональне використання електроенергії сильно зменшує ефективність функціонування промислових і приватних підприємств, що, в свою чергу, гальмує економічний розвиток держави та залишає її на низькому рівні енергетичної самодостатності.

Очевидно, що актуальною дана проблема є і для структурних підрозділів системи освіти, зокрема для вищих навчальних закладів четвертого рівня акредитації, таких як Донбаська державна машинобудівна академія. Цей навчальний заклад здійснює освітню діяльність, пов'язану зі здобуттям вищої освіти та кваліфікації в галузях машинобудування, верстатобудування, металургії, та суміжних галузях.

Вирішення питання ефективного регулювання інтенсивності роботи системи опалення з мінімально можливими енерговитратами можна здійснити шляхом встановлення системи автоматичного регулювання швидкості рециркуляційного насосу, що відповідає за циркуляцію теплоносія у системі опалення об'єкту.

Застосування частотно-регульованого електроприводу забезпечує енергозбереження і дозволяє отримувати нові якісні показники систем і об'єктів. Значна економія електроенергії забезпечується шляхом регулювання якого-небудь технологічного параметру, особливо у приводах які працюють з насосним обладнанням.

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

Щербинін Олександр Олександрович

УДК 681.5.09: 62-5

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО НАСОСУ КОТЕЛЬНОЇ ДДМА**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат кваліфікаційної роботи магістра

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

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук,  
Квашнін Валерій Олегович,  
Донбаська державна машинобудівна  
академія, доцент кафедри  
«Електромеханічні системи  
автоматизації».

**Рецензент:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

електромеханіка» в Донбаській державній машинобудівній академії на кафедрі ЕСА за адресою: 84313, м. Краматорськ, бульвар Машинобудівників, 39, 2-й корпус, ауд. 2133.

Захист відбудеться «22» грудня 2020 р. о 10:00 годині на засіданні державної екзаменаційної комісії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ** містить обґрунтування актуальності теми дослідження, її основну мету та задачі дослідження.

У **першому розділі** була проаналізована система енергопостачання Донбаської державної машинобудівної академії.

Під час дослідження, збору даних та їх аналізу був проведений енергоаудит споживання таких ресурсів, як природний газ, централізоване теплопостачання, електрична енергія і проаналізована тарифна політика щодо даних енергоносіїв.

Зроблено перерахунок витрат на опалення з використанням різних видів опалення (централізоване опалення, природний газ, електроенергія). Проведений науковий аналіз показав, що з тарифами на 2020 рік найбільш вигідно та доцільно використовувати для опалення приміщень корпусів ДДМА та гуртожитку електроенергію (рисунок 1).

**Актуальність** аналізу та дослідження енергетичних властивостей системи електроприводу рециркуляційного насосу з частотним скалярним керуванням викликана необхідністю зниження енерговитрат у системі теплопостачання ДДМА. Тому розробка і дослідження енергетичних властивостей системи електроприводу рециркуляційного насосу з частотним скалярним керування дозволить виконати розробку енергоефективної автоматизованої системи регулювання подачі теплоносія.

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

Робота була виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії відповідно до тематичного плану держбюджетної науково-дослідної роботи ДР № 01170007402 «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації».

### **Мета і задачі дослідження.**

Метою роботи є розробка частотно-регульованої системи електроприводу рециркуляційного насосу котельної ДДМА. Система електроприводу, що розробляється, повинна забезпечувати необхідний рівень заданих технологічних параметрів та мати відповідну для області використання якість статичних і динамічних характеристик.

Задачами дослідження є:

- аналіз енергоспоживання академії за структурними підрозділами та видами енергоносіїв;
- аналіз принципів роботи і методів регулювання швидкості частотно-регульованого електроприводу;
- розрахунок параметрів та аналіз характеристик обираемого електродвигуна;
- розробка та дослідження електроприводу зі скалярною системою керування.

**Об'єктом** дослідження є частотно-регульований електропривод рециркуляційного насосу.

**Предметом** дослідження є забезпечення енергозбереження і отримання нових якісних показників системи електроприводу.

**Методи досліджень** – методи математичного моделювання, чисельні методи обчислень, методи теорії автоматичного керування, розрахунки виконані за допомогою прикладних програм, таких як Mathcad та MatLab.

#### **Наукова новизна роботи**

1. Розроблена методика перерахунку використаного для опалення теплоносія чи газу в еквівалентний обсяг електричної енергії за структурними підрозділами ДДМА та видами енергоносіїв, що надає можливості для співставлення обсягів і оцінки об'ємів споживання газу, теплоносія та електричної енергії на підставі їх приведення до єдиної розмірної величини.

2. Отриманий закон керування електроприводом рециркуляційного насоса з врахуванням в'язкого тертя рідкого середовища в системі опалення котельної ДДМА, що забезпечує мінімізацію енергоспоживання.

3. Розроблена методика розрахунку і розбудови триконтурної автоматизованої системи скалярного керування з реалізацією ПД-регулятора швидкості для електроприводу рециркуляційного насоса котельної ДДМА, яка дозволить автоматизувати процес підтримання заданого тиску у магістралі теплоносія.

4. Шляхом імітаційного моделювання підтверджена працездатність запропонованої автоматизованої системи підтримки заданого натиску з врахуванням в'язкого тертя рідкого середовища та при стрибкоподібному збільшенні опору в системі тепломережі ДДМА.

#### **Практична цінність роботи**

1. Результати проведених досліджень демонструють доцільність встановлення нового енергоефективного обладнання, а саме електродвигуна з частотно-регульованим електроприводом рециркуляційного насоса.

2. В ході моделювання отримані динамічні характеристики електроприводу та перехідні характеристики імітаційного насосного блоку.

#### **Наукова апробація роботи**

Результати досліджень обговорювались на:

– Науково-практична конференції студентів, аспірантів, професорсько-викладацького складу та співробітників ДДМА., м. Краматорськ, 2020 р. (доповідь на тему «Аналіз енергоспоживання споживання академії за структурними підрозділами та видами

енергоносіїв», а також підготовлена до друку стаття по вказаній темі.)

– Інтегровані та нейронні мережі технології, м. Краматорськ, 2020 р. (доповідь на тему «Розробка та дослідження системи скалярного електроприводу рециркуляційного насоса електродвигуна ДДМА»).

#### **Публікація результатів наукових досліджень.**

За матеріалами конференцій планується публікація тез доповідей та подання наукової статті до друку у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

**Особистий вклад здобувача.** Усі результати магістерської роботи, що виносяться на захист, здобувач отримав особисто. Зокрема аналіз енергоспоживання академії за структурними підрозділами та видами енергоносіїв, аналіз принципів роботи і методів регулювання швидкості частотно-регульованого електроприводу, розрахунок параметрів та аналіз характеристик обираемого електродвигуна АД, розробка та дослідження частотно-регульованого електроприводу зі скалярною системою керування.

#### **Структура і обсяг магістерської роботи.**

Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 136 сторінок, 71 рисунка, 38 таблиць. Список використаних джерел містить 31 найменування.

насосу було виконано наступну аналітичну роботу:

- розраховані загальні параметри двигуна;
- розраховані дані схеми заміщення за паспортними даними та за даними програм «Dvigatel» і «Static»;
- побудовані статичні механічні та електромеханічні характеристики у програмному середовищі «MathCad 15» (рисунок 5);
- виконано моделювання двигуна у програмному середовищі «Matlab» з активним та реактивним навантаженнями.

Отримані перехідні характеристики при моделюванні трифазної (рисунок 6) імітаційної моделі двигуна мають задовільні показники якості, тому розраховані параметри схеми заміщення відповідають дійсності.

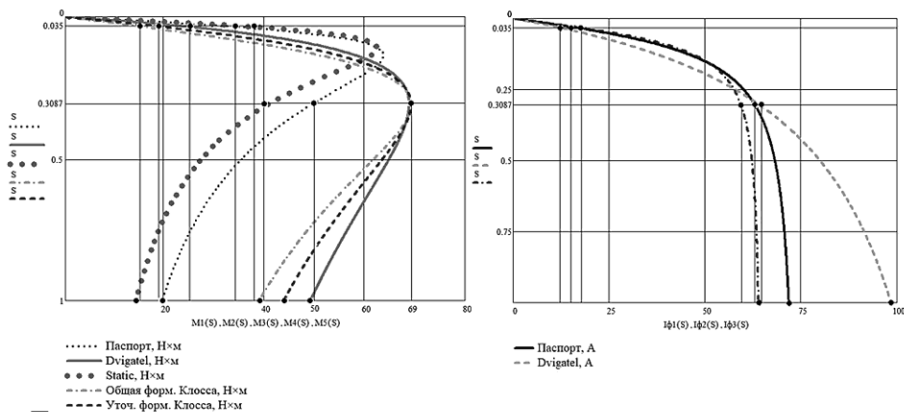
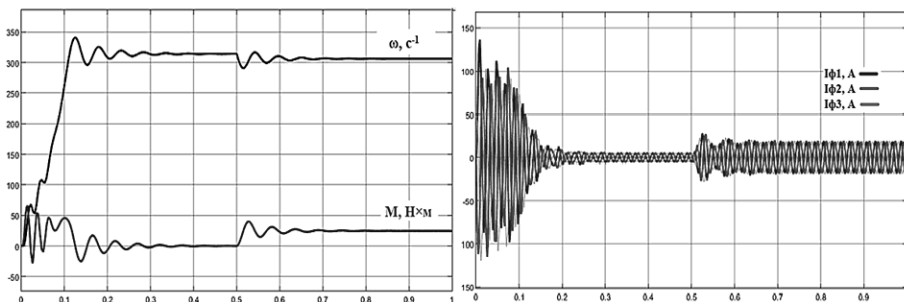


Рисунок 5



Середні витрати на опалення корпусів за тарифами 2020 р.

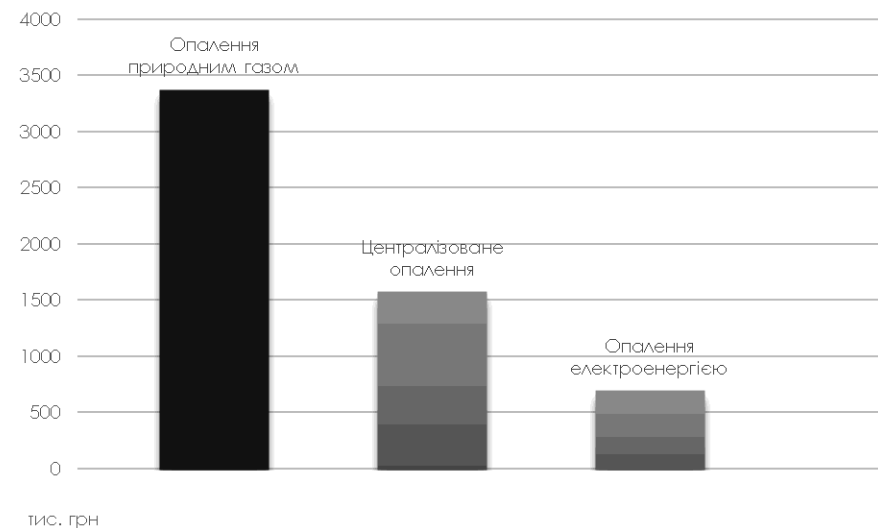


Рисунок 1

Також, були проаналізовані витрати електроенергії у різних режимах роботи електродкотла. Використання котла на повну потужність лише у визначені проміжки часу дозволить значно знизити витрати електроенергії та підвищити енергоефективність усієї системи опалення академії (рисунок 2).

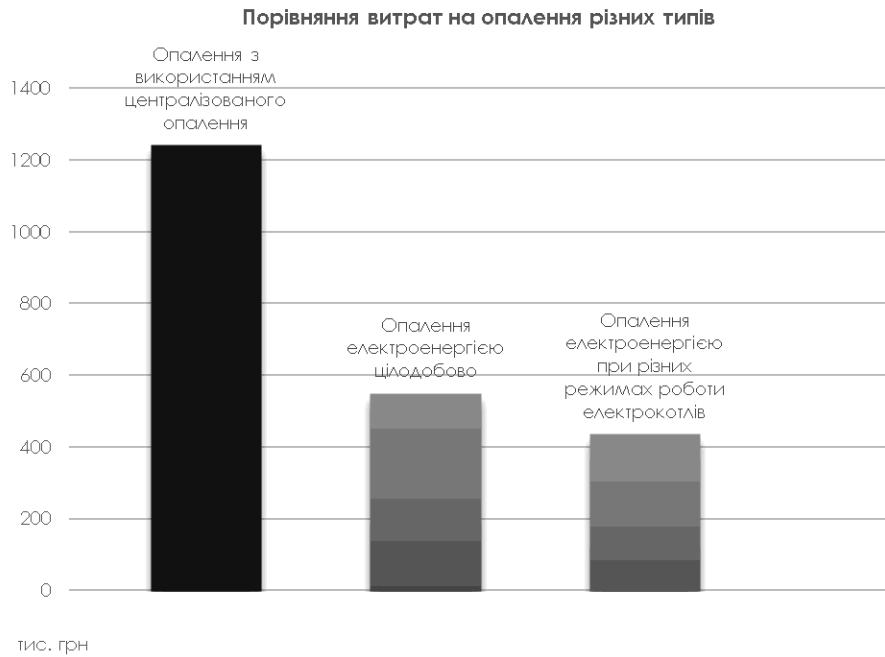
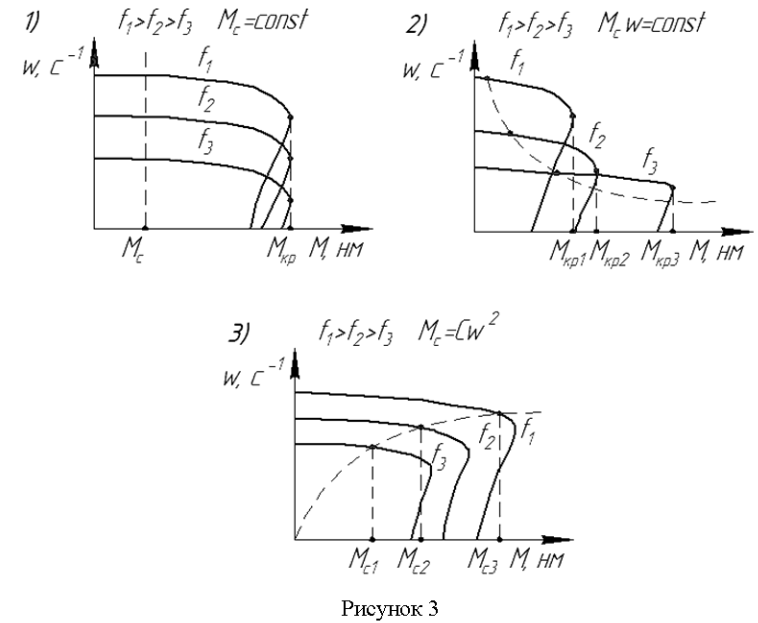


Рисунок 2

У другому розділі були розглянуті теоретичні положення стосовно частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна. Також були розглянуті закони управління для різних типів навантаження, наведені формули та графіки, зроблені висновки (рисунок 3).



Представлені функціональна та структурна схеми перетворювача частоти, наведені структурні схеми для скалярного регулювання швидкості двигуна (рисунок 4).

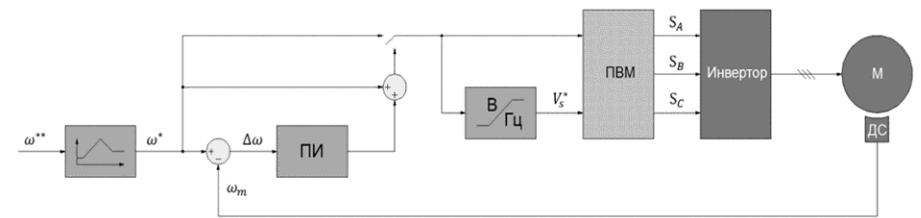


Рисунок 4

Аналіз теоретичних матеріалів дав змогу провести оцінку доцільності вибору частотного перетворювача зі скалярною системою керування та з ланкою постійного струму.

У третьому розділі були розраховані параметри обладнання котельної, та проведений його попередній вибір. З обраним асинхронним приводом рециркуляційного

Був розроблений та промодельований частотно-регульований електропривод рециркуляційного насосу з трьохконтурною скалярною системою керування, структурна модель якої була промодельована у програмному пакеті Matlab була отримана на основі функціональної схеми частотного регулювання асинхронного двигуна

Отримані в результаті моделювання динамічні характеристики двигуна та перехідні характеристики натиску та продуктивності повністю відповідають заявленим вимогам та підтверджують коректність функціонування розробленої системи скалярного керування рециркуляційним насосом.

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 6.

Рисунок 6

У четвертому розділі був розроблений та промодельований частотно-регульований електропривод рециркуляційного насосу з трьохконтурною скалярною системою керування.

Структурна модель у програмному пакеті Matlab була отримана на основі функціональної схеми частотного регулювання асинхронного двигуна з регуляторами натиску, швидкості і струму (рисунок 7).

Отримані в результаті моделювання динамічні характеристики двигуна та перехідні характеристики натиску та продуктивності повністю відповідають заявленим вимогам (рисунок 8).

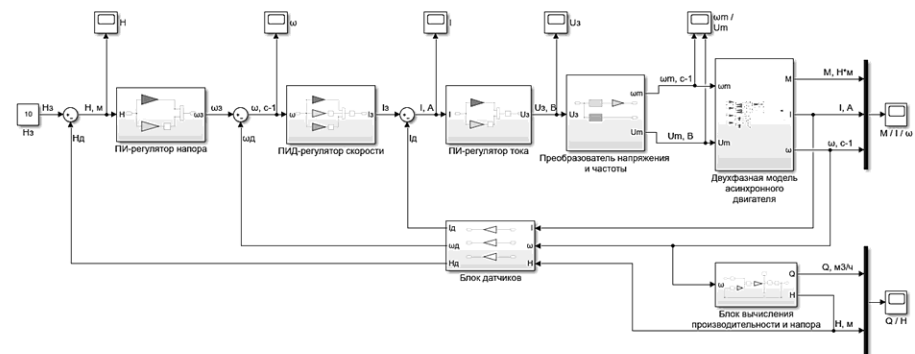


Рисунок 7

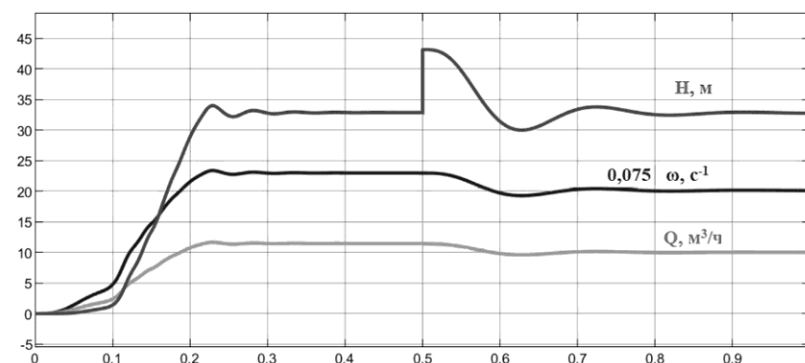


Рисунок 8

У **п'ятому розділі** було виконано техніко-економічне обґрунтування досліджень магістерського проекту, проведена оцінка економічної ефективності наукових досліджень магістерського проекту та зроблена оцінка вкладу магістру у наукові дослідження.

У **шостому розділі** проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, розроблені заходи щодо забезпечення безпечних умов праці, розраховані захисні пристрої, розроблені заходи щодо підвищення стійкості роботи об'єкта в умовах надзвичайної ситуації.

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі магістра була проаналізована система енергопостачання Донбаської державної машинобудівної академії, виконаний збір даних та їх аналіз, був проведений енергоаудит споживання таких ресурсів, як природний газ, централізоване теплопостачання, електрична енергія і проаналізована тарифна політика щодо даних енергоносіїв.

Проведений науковий аналіз показав, що з тарифами на 2020 рік найбільш вигідно та доцільно використовувати для опалення приміщень корпусів ДДМА та гуртожитку електроенергію. Аналогічні результати, що говорять за електроенергію були отримані після аналізу опалення у найбільш холодний період 2014-го року.

Аналізу діючої системи опалення продемонстрував необхідність встановлення електродкотла, одноразові затрати на придбання та встановлення якого будуть окуплені у певний період часу. Також проаналізована енергоефективність використання електродкотла у різних режимах.

Були розглянуті теоретичні положення стосовно частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна та закони управління для різних типів навантаження, наведені їх формули та графіки, зроблені висновки.

Представлені функціональна та структурна схеми перетворювача частоти, наведені структурні схеми для скалярного регулювання швидкості двигуна, а виконаний аналіз теоретичних матеріалів дав змогу провести оцінку доцільності вибору частотного перетворювача зі скалярною системою керування.

Також були розраховані параметри обладнання котельної, та проведений його попередній вибір. З обраним асинхронним приводом рециркуляційного насосу було виконано наступну аналітичну роботу:

- розраховані загальні параметри двигуна;
- розраховані дані схеми заміщення за паспортними даними та за даними програм «Dvigatel» і «Static»;
- побудовані статичні механічні та електромеханічні характеристики у програмному середовищі «MathCad 15»;
- виконано моделювання двигуна у програмному середовищі «Matlab» з активним та реактивним навантаженнями.

Отримані перехідні характеристики при моделюванні трифазної імітаційної моделі двигуна, що мають задовільні показники якості.



## АНОТАЦІЯ

Щербинін О. О. Розробка та дослідження енергетичних властивостей системи електроприводу рециркуляційного насоса котельної ДДМА.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2020.

Магістерська робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається з 132 сторінок, 71 рисунку, 28 таблиць. Список використаних джерел містить 31 найменування.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка та дослідження енергетичних властивостей системи електроприводу рециркуляційного насоса котельної ДДМА.

Основні наукові та практичні результати магістерської роботи:

1. Проведений аналіз енергоспоживання академії за структурними підрозділами та видами енергоносіїв.
2. Розраховані за трьома методиками параметри схеми заміщення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та зроблений вибір обладнання, що пропонується для модернізації котельної ДДМА.
3. Розроблена скалярна трьохконтурна схема частотного керування електроприводом рециркуляційного насоса потужністю 7,5 кВт, що дозволяє автоматизувати процес підтримання заданого натиску у магістралі теплоносія.
4. Результати проведених досліджень демонструють доцільність встановлення нового енергоефективного обладнання, а саме електродвигуна з частотно-регульованим електроприводом рециркуляційного насоса.

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ, РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИЙ НАСОС, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, СИСТЕМА СКАЛЯРНОГО КЕРУВАННЯ, РЕГУЛЯТОР НАТИСКУ.

## ABSTRACT

Shcherbynin O. O. Research and development of the DSEA boiler recirculation pump electrical drive system energy properties.

Master's thesis on the specialty 141 – "Electricity, electronics and electrical engineering", Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2020.

Master's work consists of an introduction, six sections, general conclusions, list of sources used. The total volume of master's work consists of 132 pages, 71 figures, 28 tables. List of used sources contains 31 items.

The aim of the master's qualification work is to research and development of the DSEA boiler recirculation pump electrical drive system energy properties.

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

1. Conducted analysis of energy consumption of academy after structural subdivisions and types of power mediums.

2. The parameters of the induction motor replacement circuit are calculated by three methodologies and done choice of equipment that is offered for modernization the boiler room of DSEA.

3. A scalar three-circuit circuit for controlling the frequency of the electric drive of a recirculation pump with a capacity of 7.5 kW has been developed, which allows automating the process of maintaining a given pressure in the coolant pipeline.

4. The research results demonstrate the feasibility of installing new energy-efficient equipment, namely an electric boiler with a frequency-controlled electric recirculation pump.

HEAT SUPPLY, ENERGY SAVING, FREQUENCY CONTROL, RECIRCULATION PUMP, INDUCTION MOTOR, SCALAR CONTROL SYSTEM, PRESSURE REGULATOR.

Щербинін Олександр Олександрович

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО НАСОСУ КОТЕЛЬНОЇ ДДМА**

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