

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Кругол Микола Михайлович

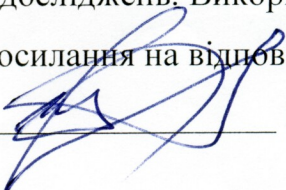
УДК 621.311

ДИСЕРТАЦІЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ
ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

05.14.02 – електричні станції, мережі і системи
14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


М.М. Кругол

*Здекласифіковано згідно з
існуючими нормативними
дисертацією засвідчено.*

Науковий керівник
Лазуренко Олександр Павлович
кандидат технічних наук, доцент
завідувач кафедри електричних станцій

*Вчений секретар
спеціальної комісії
ради*



Додатково Д.Д.

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Кругол М.М. Підвищення енергоефективності систем власних потреб теплових електричних станцій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 «Електричні станції, мережі і системи» (14 – Електрична інженерія) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2020 р.

Дисертація присвячена підвищенню енергоефективності та зменшенню витрат електричної енергії в системах власних потреб теплових електричних станцій за рахунок впровадження групового регулювання частоти живильної напруги асинхронних двигунів, що приводять в дію механізми власних потреб.

Для досягнення цієї мети були поставлені задачі:

– дослідити структуру споживання електричної енергії в системах власних потреб теплових електричних станцій в залежності від режиму їх роботи;

– виконати аналіз основних способів регулювання параметрів механізмів власних потреб теплових електричних станцій, що приводяться в дію електричними двигунами;

– розвинути математичні моделі основних механізмів власних потреб теплових електричних станцій, як навантажувальних машин електроприводів, з урахуванням різних способів регулювання їх параметрів;

– дослідити можливість впровадження групового керування механізмами власних потреб теплових електричних станцій, що приводяться в дію асинхронними двигунами;

– розробити методи визначення оптимальної групової частоти живильної напруги асинхронних двигунів при впровадженні групового керування механізмами власних потреб теплових електричних станцій, що враховують

режими роботи групового споживача власних потреб теплових електричних станцій;

– дати практичні рекомендації щодо застосування результатів досліджень з метою підвищення енергоефективності системи власних потреб Харківської ТЕЦ-3.

Об'єкт досліджень – фізичні процеси роботи електротехнічного та електромеханічного обладнання систем власних потреб ТЕС.

Предмет досліджень – параметри та характеристики основних споживачів електричної енергії в системах власних потреб ТЕС.

Методи дослідження. В основу дисертаційної роботи покладено системний підхід при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, який базується на методах математичного моделювання; чисельних методах вирішення нелінійних рівнянь; використанні методу найменших квадратів для апроксимації табличних паспортних характеристик відцентрових механізмів; лінійної інтерполяції дискретних значень для визначення характеристик основного устаткування теплових електричних станцій; дискретного багатовимірного пошуку для визначення максимальних значень функції ККД при вирішенні задачі знаходження оптимальних параметрів керування відцентровими механізмами, що приводяться в дію асинхронними двигунами; методах статистики при аналізі структури споживання електричної енергії в системах власних потреб теплових електричних станцій.

В роботі отримані такі наукові результати:

– отримали подальший розвиток математичні моделі основних механізмів ВП ТЕС, які на відміну від відомих дозволяють провести уточнений аналіз і отримати загальну характеристику споживання електричної енергії в системах власних потреб ТЕС в різних режимах роботи;

– обґрунтовані основні засади виконання енергозаощаджуючих заходів за рахунок виділення груп споживачів електричної енергії з близькими режимами

роботи в системах власних потреб ТЕС, що дозволило знизити капіталовкладення при проведенні модернізації;

– вперше отримано метод визначення електричної потужності групового споживача ВП ТЕС, який враховує спосіб регулювання його параметрів, що дозволяє визначити загальний потенціал енергозбереження;

– вперше запропоновано метод визначення оптимальної групової частоти живильної напруги АД для різних груп механізмів ВП ТЕС, що враховує режим роботи групового споживача ВП ТЕС та його середньозважений ККД, що дозволило досягти зменшення споживання електричної енергії в системах власних потреб ТЕС.

Дисертація виконана відповідно до планів наукових досліджень кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та у відповідності до НДР МОН України «Розвиток теорії та науково-методичних основ для створення і модернізації турбогенераторів, що задовольняють сучасним вимогам електроенергетичної системи України» (ДР № 0115U000528). НДР виконувалась спільно з кафедрою електричних машин.

Ключові слова: теплові електричні станції, системи власних потреб, механізми власних потреб, групове керування, групове частотне регулювання, асинхронні двигуна, споживання електричної енергії на власні потреби, математичне моделювання, розподільчі пристрої власних потреб.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Kruhol M. Assessment of Group Regulation Feasibility in Thermal Power Plant Auxiliaries Capacity Control / M. Kruhol, O. Lasurenko, V. Vanin. // Eastern European Journal of Enterprise Technologies.– 2020. – Vol. 6, No. 8(108). – P. 45–53.

2. Кругол М. М. Математичне моделювання одноступового газогідравлічного тракту допоміжних механізмів парового котла теплової електричної станції / В. А. Ванін, М. М. Кругол, О. П. Лазуренко // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. : Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2020. – № 1. – С. 3–14.

3. Кругол Н. М. Математическое моделирование режимов регулирования газоздушного тракта котла ТЭС / Б. В. Ванин, В. А. Ванин, Н. М. Кругол // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. : Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2020. - № 1(1355). – С.8–15.

4. Кругол Н. М. Математические модели систем обеспечения работы котлоагрегата ТЭС в задаче повышения его энергоэффективности / А. П. Лазуренко, В. А. Ванин, Н. М. Кругол // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. : Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2019. – № 8(1333). – С. 41–48.

5. Кругол М. М. Оптимальне електромеханічне керування гідродинамічними системами / В. А. Ванін, М. М. Кругол, О. П. Лазуренко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Сер. : Проблеми енергозбереження та енергозабезпечення в АПК України. – 2018. – № 195. – С. 18–20.

6. Кругол Н. М. Повышение энергоэффективности работы ТЭЦ за счет снижения потребления электроэнергии на собственные нужды / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина, Н. М. Кругол // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 2. – С. 82–90.

7. Кругол М. М. Моделювання режиму роботи групи мережевих насосів при роботі ТЕЦ по тепловому графіку навантаження в літній період / А. В. Ивахнов, М. М. Кругол, О. П. Лазуренко // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. : Енергетика: надійність та енергоефективність. – 2017. – № 31(1253). – С. 78–82.

8. Кругол М. М. Новий підхід до класифікації електроустаткування власних потреб теплових електричних станцій / М. М. Кругол, О. П. Лазуренко // Електротехніка та Електромеханіка. Спеціальний випуск. – 2016. – № 4(1) – С. 43–47.

9. Кругол Н. М. Использование группового регулирования механизмами собственных нужд ТЭЦ для повышения КПД в летний период / А. П. Лазуренко, Н. М. Кругол // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. : Енергетика: надійність та енергоефективність. – 2014. – № 56(1098). – С. 78–82.

10. Кругол Н. М. Анализ работы ТЭЦ по тепловому графику нагрузки в летний период / А. П. Лазуренко, Н. М. Кругол // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. : Енергетика: надійність та енергоефективність. – 2013. – № 59(1032). – С. 79–83.

11. Kruhol M. An Algebraic Model of Gas-Hydraulic Network of Mechanisms with Electric Drive in the Problem of Thermal Power Plant Auxiliaries Optimization M. Kruhol, O. Lasurenko, V. Vanin // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (IEE KhPI Week). Conference proceedings, October 5-11, 2020. – Kharkiv, 2020. – P. 188–192.

12. М. М. Математичні моделі та оптимізація роботи груп механізмів власних потреб ТЕС / В. А. Ванін, О. П. Лазуренко, М. М. Кругол // Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях. Праці між нар. науково-техн. конф. КМНТ–2020 (Харків 22–24 квітня 2020 р.) – Харків, 2020. – С. 55–58.

13. Kruhol N. Group Regulation Efficiency Analysis for Thermal Power Plant Auxiliaries / N. Kruhol, O. Lasurenko, V. Vanin et al. // 2019 IEEE 6th International

Conference on Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS). Conference proceedings, April 17-19, 2019. – Kyiv, 2019.– P. 289–293.

14. Кругол М. М. Моделювання в алгебраїчних моделях гідравлічних трактів ТЕС / В. А. Ванін, М. М. Кругол, О. П. Лазуренко // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2018) : матеріали IV міжнар. науково-техн. конф. (м. Дніпро, 1-2 листопада 2018 року) – Дніпро, 2018. – С. 44–47.

15. Кругол Н. М. Особенности применения группового регулирования производительности механизмов собственных нужд ТЭЦ / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина, Н. М. Кругол // Матеріали VII Міжнар. науково-практ. конф. пам'яті І. І. Мартиненка та з нагоди 85-річчя Таврійського державного агротехнологічного університету «Енергозабезпечення технологічних процесів» (8-9 червня 2017 р.). – Мелітополь, 2017. – С. 27–28.

16. Кругол Н. М. Специфика работы механизмов собственных нужд ТЭЦ, работающей по тепловому графику нагрузки в летний период / А. П. Лазуренко, Н. М. Кругол, А. В. Ивахнов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXV міжнар. науково-практ. конф. MicroCAD–2017, 17-19 травня 2017 р. Ч. II. – Харків, 2017. – С. 213.

17. Кругол Н. М. Повышение энергоэффективности работы ТЭЦ за счет снижения потребления электроэнергии на собственные нужды / А. П. Лазуренко, Г. И. Черкашина, Н. М. Кругол // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць IV Міжнар. науково-техн. та навч.-метод. конф. у місті Києві 25-27 квітня 2017 р. – Київ, 2017. – С. 40.

ABSTRACT

Kruhol M.M. Energy efficiency improvement of thermal power plant auxiliary systems. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for Candidate of Science Degree in Specialty 05.14.02 «Power plants, networks and systems» (14 – Electrical Engineering) – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2020.

The dissertation is devoted to improving energy efficiency and reducing electric power loss in auxiliary systems of thermal power plants by means of applying group frequency regulation of induction motors that drive auxiliary mechanisms.

The following tasks were set to achieve the goal:

- to study auxiliary power consumption structure in thermal power plants as function of their operation;
- to analyze the available parameter regulation methods widely applied to thermal power plant auxiliaries driven by induction motors;
- to develop mathematical models of the main auxiliary mechanisms of thermal power plants as load on electric drive taking into consideration various techniques of the mechanisms operation parameter regulation;
- to study feasibility of group control application to thermal power plant auxiliaries that are driven by induction motors;
- to develop techniques for specifying optimal group frequency of the induction motors supply voltage under group control of the thermal power plant auxiliaries that take into account operation conditions of the group auxiliary consumer ;
- to work out practical recommendations for implementation of the dissertation research results in Kharkiv Combined Heat-and-Power Plant 3 aiming at improving energy efficiency of the plant auxiliary system.

The object of research is physical processes occurring in electrical and electromechanical equipment of thermal power plant auxiliary systems.

The subject of research is parameters and characteristics of the main auxiliary power consumers of thermal power plants.

Research methods. The dissertation research is based on the system approach to conducting theoretical and experimental investigations that employs mathematical modeling, numerical techniques for solving nonlinear equations, the least square method for approximation of tabulated ratings of centrifugal mechanisms, linear interpolation of discrete data sets for specifying characteristics of thermal power plant permanent equipment, discrete multivariable search for determining maximum efficiency values when solving an optimal control parameter problem for centrifugal mechanisms driven by induction motors, statistics methods for analysis of auxiliary power consumption structure in thermal power plants.

The following scientific results are obtained in the dissertation research:

- Mathematical models of thermal power plant auxiliary mechanisms have been advanced, as compared with the available models, to allow conducting detailed analysis and obtaining the general characteristic of auxiliary power consumption in thermal power plants under various operation conditions.

- The basic principles of energy-saving measures realization in thermal power plants through grouping auxiliary electricity consumers with close operating modes have been substantiated, which allows reducing investments in energy efficiency under the plant auxiliary systems renovation and modernization.

- A technique for determining power consumption of thermal power plant auxiliary group consumer that takes into account the applied parameter regulation method has been introduced, which allows specifying the general energy saving potential for the plant auxiliaries.

- A technique for determining the optimal group frequency of induction motor supply voltage for different groups of thermal plant auxiliaries that takes into consideration operation conditions and weighted average efficiency of the auxiliary

group consumer has been developed, which allows noticeably reducing auxiliary power consumption in thermal power plants.

The dissertation has been performed according to the research plans of the Department of Electric Power Stations in the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” (NTU “KhPI”) and under Ministry of Education and Science of Ukraine Research Project DR № 0115U000528 “Development of theory and scientific-and-methodological basics for creation and modernization of turbogenerators that meet state-of-the-art requirements of the Power System of Ukraine”. The project was performed jointly with the NTU “KhPI” Department of Electric Machines.

Key words: thermal power plants, auxiliary systems, auxiliary mechanisms, group control, group frequency regulation, induction motors, auxiliary power consumption, mathematical modeling, auxiliary switchgear.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT

1. Kruhol M. Assessment of Group Regulation Feasibility in Thermal Power Plant Auxiliaries Capacity Control / M. Kruhol, O. Lasurenko, V. Vanin. // Eastern European Journal of Enterprise Technologies.– 2020. – Vol. 6, No. 8(108). – P. 45–53.
2. Kruhol M. M. Matematychnе modeliuvannia odnohrupovoho hazohidravlichnoho traktu dopomizhnykh mekhanizmiv parovoho kotla teplovoi elektrychnoi stantsii / V. A. Vanin, M. M. Kruhol, O. P. Lazurenko // Visnyk NTU «KhPI». Ser. : Matematychnе modeliuvannia v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2020. – № 1. – S. 3–14.
3. Kruhol N. M. Matematycheskoe modelyrovanye rezhymov rehulyrovannia hazovozdushnoho trakta kotla TES / B. V. Vanyn, V. A. Vanyn, N. M. Kruhol // Visnyk NTU «KhPI». Ser. : Matematychnе modeliuvannia v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2020. - № 1(1355). – S. 8–15.
4. Kruhol N. M. Matematycheskye modely system obespecheniya raboty kotloahrehata TES v zadache povysheniya eho enerhoefektyvnosti / A. P. Lazurenko, V. A. Vanyn, N. M. Kruhol // Visnyk NTU «KhPI». Ser. : Matematychnе modeliuvannia v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2019. – № 8(1333). – S. 41–48.
5. Kruhol M. M. Optymalne elektromekhanichne keruvannia hidrodynamichnymy systemamy / V. A. Vanin, M. M. Kruhol, O. P. Lazurenko // Visnyk KhNTUSH im. Petra Vasylenka. Ser. : Problemy enerhozberezhennia ta enerhozabezpechennia v APK Ukrainy. – 2018. – № 195. – S. 18–20.
6. Kruhol N. M. Povyshenye enerhoefektyvnosti raboty TETs za schet snyzheniya potrebleniya elektroenerhyi na sobstvennye nuzhdy / A. P. Lazurenko, H. Y. Cherkashyna, N. M. Kruhol // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – 2017. – № 2. – S. 82–90.

7. Kruhol M. M. Modeliuvannia rezhymu roboty hrupy merezhevykh nasosiv pry roboti TETs po teplovomu hrafiku navantazhennia v litnii period / A. V. Yvakhnov, M. M. Kruhol, O. P. Lazurenko // Visnyk NTU «KhPI». Ser. : Enerhetyka: nadiinist ta enerhoefektyvnist. – 2017. – № 31(1253). – S. 78–82.

8. Kruhol M. M. Novyi pidkhid do klasyfikatsii elektroustatkuvannia vlasnykh potreb teplovykh elektrychnykh stantsii / M. M. Kruhol, O. P. Lazurenko // Elektrotehnika ta Elektromekhanika. Spetsialnyi vypusk. – 2016. – № 4(1) – S. 43–47.

9. Kruhol N. M. Yspolzovanye hruppovoho rehulyrovanyia mekhanyzmamy sobstvennykh nuzhd TETs dlia povysheniya KPD v letnyi peryod / A. P. Lazurenko, N. M. Kruhol // Visnyk NTU «KhPI». Ser. : Enerhetyka: nadiinist ta enerhoefektyvnist. – 2014. – № 56(1098). – S. 78–82.

10. Kruhol N. M. Analyz raboty TETs po teplovomu hrafyku nahruzky v letnyi peryod / A. P. Lazurenko, N. M. Kruhol // Visnyk NTU «KhPI». Ser. : Enerhetyka: nadiinist ta enerhoefektyvnist. – 2013. – № 59(1032). – S. 79–83.

11. Kruhol M. An Algebraic Model of Gas-Hydraulic Network of Mechanisms with Electric Drive in the Problem of Thermal Power Plant Auxiliaries Optimization M. Kruhol, O. Lasurenko, V. Vanin // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (IEE KhPI Week). Conference proceedings, October 5-11, 2020. – Kharkiv, 2020. – P. 188–192.

12. Kruhol M. M. Matematychni modeli ta optymizatsiia roboty hrup mekhanizmiv vlasnykh potreb TES / V. A. Vanin, O. P. Lazurenko, M. M. Kruhol // Kompiuterne modeliuvannia v naukoiemnykh tekhnolohiiakh. Pratsi mizhnar. naukovo-tekhn. konf. KMNT–2020 (Kharkiv 22–24 kvitnia 2020 r.) – Kharkiv, 2020. – S. 55–58.

13. Kruhol N. Group Regulation Efficiency Analysis for Thermal Power Plant Auxiliaries / N. Kruhol, O. Lasurenko, V. Vanin et al. // 2019 IEEE 6th International

Conference on Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS). Conference proceedings, April 17-19, 2019. – Kyiv, 2019. – P. 289–293.

14. Kruhol M. M. Modeliuvannia v alhebraichnykh modeliakh hidravlichnykh traktiv TES / V. A. Vanin, M. M. Kruhol, O. P. Lazurenko // Kompiuterne modeliuvannia ta optymizatsiia skladnykh system (KMOSS-2018) : materialy IV mizhnar. naukovo-tekh. konf. (m. Dnipro, 1-2 lystopada 2018 roku) – Dnipro, 2018. – S. 44–47.

15. Kruhol N. M. Osobennosti pryimenenya hruppovoho rehulyrovannia proyzvodytelnosti mekhanyzmov sobstvennykh nuzhd TETs / A. P. Lazurenko, H. I. Cherkashyna, N. M. Kruhol // Materialy VII Mizhnar. naukovo-prakt. konf. pamiati I. I. Martynenka ta z nahody 85-richchia Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu «Enerhozabezpechennia tekhnolohichnykh protsesiv» (8-9 chervnia 2017 r.). – Melitopol, 2017. – S. 27–28.

16. Kruhol N. M. Spetsyfyka raboty mekhanyzmov sobstvennykh nuzhd TETs, robotaiushchei po teplovomu hrafyku nahruzky v letnyi peryod / A. P. Lazurenko, N. M. Kruhol, A. V. Yvakhnov // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia : tezy dopovidei XXV mizhnar. naukovo-prakt. konf. MicroCAD–2017, 17-19 travnia 2017 r. Ch. II. – Kharkiv, 2017. – S. 213.

17. Kruhol N. M. Povyshenye enerhoefektyvnosti raboty TETs za schet snyzhenia potreblennia elektroenerhyy na sobstvennye nuzhdy / A. P. Lazurenko, H. I. Cherkashyna, N. M. Kruhol // Enerhetychnyi menedzhment: stan ta perspektyvy rozvytku. Zbirnyk naukovykh prats IV Mizhnar. naukovo-tekh. ta navch.-metod. konf. u misti Kyievi 25-27 kvitnia 2017 r. – Kyiv, 2017. – S. 40.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	15
1.1 Характеристика систем власних потреб ТЕС.....	15
1.2 Джерела живлення та схеми електропостачання систем власних потреб ТЕС	16
1.3 Механізми власних потреб ТЕС	21
1.3.1 Насосне устаткування ТЕС	22
1.3.2 Тяго-дутьове устаткування ТЕС.....	25
1.3.3 Сучасні способи регулювання робочих параметрів механізмів власних потреб ТЕС.....	26
1.4 Електричні двигуни, що використовуються для приводу механізмів власних потреб ТЕС як споживачі електричної енергії	31
1.5 Шляхи підвищення енергоефективності в системах власних потреб ТЕС	36
1.6 Висновки до першого розділу та постановка задачі.....	39
РОЗДІЛ 2. РЕЖИМИ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	41
2.1 Режими роботи ТЕС	41
2.2 Структура споживання електричної енергії на власні потреби	44
2.3 Режим роботи ТЕЦ і споживання електричної енергії на власні потреби	49
2.4 Оцінка ефективності способів регулювання робочих параметрів механізмів власних потреб ТЕС	51
2.5 Групове керування механізмами власних потреб ТЕС.....	57
2.6 Розвиток класифікації устаткування власних потреб ТЕС.....	61
2.7 Висновки до другого розділу	64
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	66
3.1 Математична модель асинхронного двигуна як споживача електричної енергії	66

	3
3.2 Математичне моделювання відцентрових механізмів як навантажувальних машин електроприводів.....	68
3.3 Робота відцентрового механізму, що приводиться в дію асинхронним двигуном в мережі.....	71
3.4 ККД відцентрового механізму та споживана потужність.....	73
3.5 Математична модель роботи відцентрового механізму в мережі, як навантажувальної машини електроприводу.....	74
3.6 Побудова характеристик роботи відцентрових механізмів при їх роботі в складній мережі.....	77
3.7 Використання методу найменших квадратів для апроксимації робочих характеристик відцентрових механізмів.....	84
3.8 Математична модель відцентрового механізму, що приводиться в дію асинхронним двигуном, при регулюванні його робочих параметрів за рахунок зміни частоти живильної напруги.....	87
3.9 Приклад розрахунку коефіцієнтів апроксимації для вентилятора.....	89
3.10 Метод визначення потужності, що споживається з мережі груповим споживачем власних потреб ТЕС.....	93
3.11 Приклад роботи двох паралельно працюючих вентиляторів.....	94
3.12 Висновки до третього розділу.....	96
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГРУПОВОГО КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМАМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕС.....	98
4.1 Постановка задачі змішаного керування механізмом власних потреб ТЕС.....	98
4.2 Постановка задачі групового керування механізмами власних потреб, режим роботи яких не залежить один від одного.....	103
4.3 Постановка задачі групового керування механізмами власних потреб, що працюють на спільну гідравлічну мережу.....	106
4.4 Чисельний метод вирішення задачі оптимального керування групою механізмів власних потреб, які працюють на спільну гідравлічну мережу.....	108

4.5 Приклад вирішення задачі оптимального керування групою механізмів власних потреб, які працюють на спільну гідравлічну мережу.....	114
4.6 Математична модель парового енергетичного котла в задачі групового керування механізмами власних потреб	116
4.7 Постановка задачі групового керування механізмами власних потреб, що забезпечують роботу парового енергетичного котла	122
4.8 Порівняння ефективності різних способів регулювання відцентрових механізмів	125
4.10 Висновки до четвертого розділу	130
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ, ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ХАРКІВСЬКОЇ ТЕЦ-3..	
5.1 Характеристика Харківської ТЕЦ-3	131
5.2 Режими роботи устаткування власних потреб Харківської ТЕЦ - 3 при її роботі за тепловим графіком навантаженні в літній період.....	134
5.2.1 Режим роботи парового енергетичного котла та механізмів, що забезпечують його роботу.....	136
5.2.2 Режим роботи живильних насосів	139
5.2.3 Режим роботи мережевих насосів.....	142
5.2.4 Результати моделювання режиму споживання електричної енергії механізмами власних потреб Харківської ТЕЦ-3 при класичних способах їх регулювання.....	145
5.3 Склад групи механізмів власних потреб Харківської ТЕЦ-3 при впровадженні групового регулювання частоти живильної напруги	147
5.4 Ефект від впровадження групового регулювання живильної напруги асинхронних двигунів, що приводять в дію механізми власних потреб Харківської ТЕЦ-3.....	151
5.5 Рекомендації, щодо впровадження групового регулювання частоти живильної напруги асинхронних двигунів, що приводять в дію механізми власних потреб на прикладі Харківської ТЕЦ-3.....	154
5.6 Висновки до п'ятого розділу.....	156

	5
ВИСНОВКИ	158
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	160
ДОДАТОК А. Акти впровадження	174
ДОДАТОК Б. Список публікацій здобувача	177