

DOI 10.32820/2079-1747-2022-29-97-103

УДК [621.313.322:681.51]:006.85

**АНАЛІЗ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

© Чеботарьов А.М., Бондаренко Ю.О.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Чеботарьов Антон Миколайович (Chebotarev Anton): ORCID: 0000-0003-2751-5293; chebotaryov.an@gmail.com; аспірант заочного відділення, Українська інженерно-педагогічна академія, кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Бондаренко Юрій Олександрович (Bondarenko Yuri): ORCID: 0000-0003-2751-5293; yuri94bondarenko@gmail.com; аспірант, Українська інженерно-педагогічна академія, кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті проведено аналіз існуючого нормативно-методичного забезпечення ефективності елементів низькопотенційних комплексів теплових і атомних електростанцій, до яких відносяться конденсатори, циркуляційні та конденсатні насоси, ежектори, системи автоматичного керування окремим обладнанням та загальна система керування низькопотенційним комплексом. Визначено роль системи низькопотенційного комплексу в загальному балансі енергоблока електростанції за різними системами водопостачання. Проведено аналіз наявності в існуючій нормативно-технічній та нормативно-методичній документації нормативних методів забезпечення ефективності роботи систем низькопотенційного комплексу теплових і атомних електростанцій та його основних елементів, які гарантовано змогли б забезпечити мінімальні сумарні втрати енергії при дотриманні необхідних показників надійності, екологічності, безпеки та інше. Встановлено, що в існуючій нормативно-технічній документації є методи та методики розрахунку енергоефективності роботи окремих елементів систем низькопотенційного комплексу, але бракує методик та алгоритмів визначення параметрів елементів систем низькопотенційних комплексів, які забезпечують максимальну енергоефективність як в номінальних режимах роботи енергоблоків, так і во всьому діапазоні навантажень. Не досить повно сформульовані універсальні нормативні методи структурно-параметричного синтезу енергоефективних регуляторів автоматизованих систем керування, які гарантовано змогли б забезпечити високі показники точності підтримки необхідних параметрів елементів систем НПК. Висунуто вимоги до удосконалення існуючої нормативно-технічної документації, а саме: сформулювати універсальні нормативні методи структурно-параметричного синтезу енергоефективних систем керування елементами НПК за критерієм мінімуму енергетичних втрат; системні та кількісні показники, а також методи і засоби їх гарантованого технічного забезпечення.

Ключові слова: нормативне забезпечення, низькопотенційний комплекс, енергозбереження.

Chebotarev A., Bondarenko Yu. “Analysis of the regulatory support for the efficiency of system elements of low-potential complexes at power plants”.

The article analyzes the existing regulatory and methodological support for the efficiency of elements of low-potential complexes (LPCs) of thermal and nuclear power plants, which include capacitors, circulation and condensate pumps, ejectors, automatic control systems for individual

equipment, and the general control system of a low-potential complex. The role of the system of the low-potential complex in the overall balance of the power unit of the power plant according to various water supply systems was determined. There was conducted an analysis into the existing normative-technical and normative-methodological documentation with regard to the presence of normative methods for ensuring the efficiency of the systems of the low-potential complex of thermal and nuclear power plants and its main elements, which would be guaranteed to be able to ensure minimal total energy losses in compliance with the necessary indicators of reliability, environmental friendliness, safety, etc. It was established that the existing regulatory and technical documentation contains methods and techniques for calculating the energy efficiency of individual elements of low-potential complex systems, but there is a lack of methods and algorithms for determining the parameters of elements of low-potential complex systems that ensure maximum energy efficiency both in the nominal operating modes of power units and in the entire range loads. The universal normative methods of structural-parametric synthesis of energy-efficient regulators of automated control systems, which would be guaranteed to be able to provide high accuracy indicators of maintaining the necessary parameters of the elements of LPC systems, have not been sufficiently formulated. Demands have been put forward to improve the existing normative and technical documentation, namely: to formulate universal normative methods of structural-parametric synthesis of energy-efficient control systems for the elements of the LPCs according to the criterion of minimum energy losses, system and quantitative indicators, as well as methods and means of their guaranteed technical support.

Keywords: regulatory support, low-potential complex, energy efficiency.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Обмеженість енергоресурсів та підвищення їх вартість в сукупності з фізичним та моральним старінням обладнання діючих теплових електростанцій (ТЕС) призвело до значного підвищення вимог щодо енергоефективності роботи електростанцій та окремих її вузлів [1]. Одним з таких енергоємних вузлів сучасних ТЕС є система низькопотенційного комплексу (НПК) [2].

До складу низькопотенційного комплексу (рис.1) сучасних електростанцій відносять [2]:

- конденсаційні установки пари (2), які включають конденсатні насоси (3), ежектори (4) с охолоджувачами (5), підігрівачи низького тиску (6);
- системи технічного водопостачання, які включають джерела водопостачання та охолоджуючі пристрої (8) (водойми, градирні, бризгальні установки та інше), циркуляційні насоси (10), трубопроводи охолоджуючої води (11), фільтри циркуляційної води (9) і систему водоводів;
- останні ступені або частини циліндрів низького тиску турбін з робочими дисками (7) та вихлопними патрубками для відпрацьованої пари (1);
- підігрівачи низького тиску систем регенеративного підігріву живильної води;
- регулюючу, запорну та вимірювальну апаратуру.

В тепловому балансі енергоблока втрати енергії в конденсаторі складають до 50%. Це пов'язано з фізичними процесами, які описані циклом Ренкіна. З урахуванням втрат в насосах (споживана потужність насоса є втрати) та в іншому обладнанні, ця величина збільшується. Це призводить до зниження коефіцієнта корисної дії електростанції та, як наслідок, підвищенню собівартості виробленої електроенергії [3]. Сумарні втрати енергії в НПК без урахування циклу Ренкіна для енергоблоків ТЕС потужністю 300-1200 МВт складають 7-8% для систем водопостачання з водоймами-охолоджувачами та градирнями і 8-10% для систем с радіаторними та сухими градирнями [3].

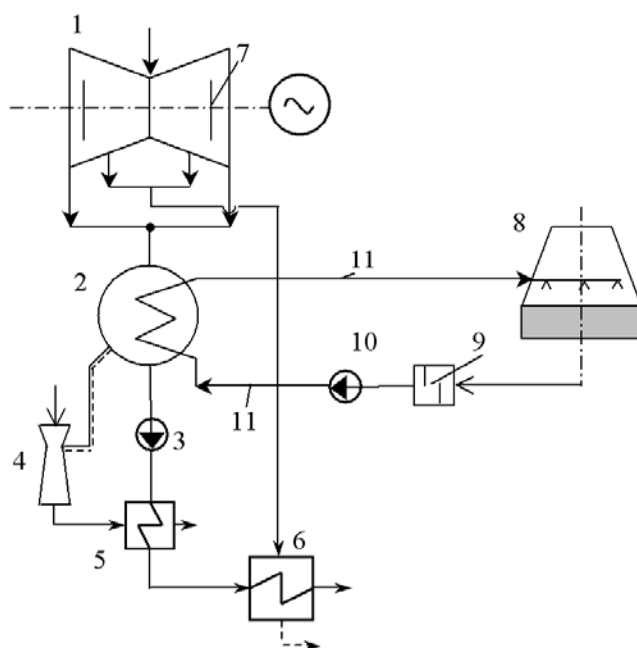


Рис. 1 – Схема НПК ТЕС і АЕС з індивідуальною системою технічного водопостачання

Підвищення ефективності роботи систем НПК енергоблоків та зниження втрат в ньому – є важлива та актуальна науково-технічна задача, рішення якої дозволить підвищити техніко-економічні показники енергоблоку, знизити собівартість виробленої електроенергії та підвищити її конкурентоспроможність на світовому ринку.

Практичні результати у вирішенні цієї задачі можна отримати, створивши науково-технічну і нормативну бази, які б забезпечили створення і впровадження енергоефективних систем автоматичного керування системою НПК, які б забезпечували мінімальні втрати енергії в НПК при дотриманні необхідних технологічних параметрів та показників надійності, екологічності, безпеки тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізу та удосконаленню нормативного забезпечення щодо ефективності елементів систем НПК присвячено роботи вітчизняних та закордонних вчених. Так в роботі [4] проведено аналіз нормативних документів щодо забезпечення ефективної роботи насосних установок, які також використовуються в системах НПК та є основними споживачами енергії. В роботі [5] проведено аналіз нормативних документів щодо елементів систем НПК, але бракує змістового аналізу кожного документу, що ускладнює уяву про їх ефективність. Також в наукових працях увагу приділяється безпосередньо розробці методик та алгоритмів, які підвищують ефективність роботи елементів НПК та можуть бути використані при удосконаленні існуючої нормативної бази. В роботі [6] наведено шляхи підвищення ефективності роботи систем низькопотенційних комплексів електростанцій шляхом оптимального керування витратою циркуляційної води, а в роботі [7] методика оптимізації режимів роботи систем НПК за критерієм мінімуму енергетичних втрат. Також удосконалюється нормативне забезпечення енергетичного обладнання, яке може бути використане в системах НПК як перспективний метод використання енергії скидної води [8, 9].

Метою роботи є змістовий аналіз нормативного забезпечення України щодо ефективності роботи елементів систем низькопотенційних комплексів електростанцій та визначення шляхів його удосконалення з метою підвищення ефективності їх роботи.

Виклад основного матеріалу

На сьогодні існує ряд нормативно-технічної документації, що стосується питань керування режимами роботи елементів НПК. В ній висвітлено питання автоматичного регулювання, підтримки необхідних технологічних процесів, настройки регуляторів, розрахунок техніко-економічних показників, а також методів і засобів забезпечення необхідної якості технологічних процесів (якість охолоджуючої води тощо). Перелік основних нормативних документів, спрямованих на вирішення цієї задачі наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні нормативні документи, спрямовані на забезпечення ефективної роботи систем НПК та її елементів

№	Стандарт	Назва
1	2	3
1	ДСТУ 2226-93	Автоматизовані системи. Терміни та визначення
2	ДСТУ 2709-94	Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення. Основні положення.
3	ДСТУ EN ISO 20361:2016	Насоси гідравлічні та насосні агрегати. Правила випробування на шум. Класи точності 2 та 3 (EN ISO 20361:2015, IDT; ISO 20361:2015, IDT)
4	ДСТУ EN 45510-6-4:2015 (EN 45510-6-4:1999, IDT)	Настанова щодо поставок обладнання електростанцій. Частина 6-4. Допоміжне обладнання турбін. Насоси
5	ДСТУ EN 809:2015	Насоси та насосні агрегати для рідин. Загальні вимоги щодо безпеки (EN 809:1998+A1:2009; AC:2010, IDT)
6	ДСТУ EN 12162:2013	Насоси рідинні. Вимоги щодо безпеки. Методика гідростатичних випробувань (EN 12162:2001+A1:2009, IDT)
7	ДСТУ EN 16297-1:2017 (EN 16297-1:2012, IDT)	Насоси. Відцентрові насоси. Безсальникові циркуляційні насоси. Частина 1. Загальні вимоги та процедури для випробування та розрахунку показника енергоефективності (EEI)
8	ДСТУ EN 45510-6-3:2015	Настанова щодо поставок обладнання електростанцій. Частина 6-3. Допоміжне обладнання турбін. Конденсаційні установки (EN 45510-6-3:1998, IDT)
9	ДСТУ EN 45510-6-6:2015	Настанова щодо поставок обладнання електростанцій. Частина 6-6. Допоміжне обладнання турбін. Баштові охолоджувачі вологого і волого-сухого типу (EN 45510-6-6:1999, IDT)
10	ГОСТ 22247-96	Насоси відцентрові консольні для води. Основні параметри і розміри. Вимоги безпеки. Методи контролю
11	ДСТУ 6134:2009 (ISO 9906:1999)	Насоси динамічні. Методи випробувань
12	ДСТУ 3063-95	Насоси. Класифікація. Терміни та визначення
13	ГКД 34.10.401-95	Обробка циркуляційної води на теплових електростанціях. Норми витрати хімічних реагентів
14	ДСТУ 3503-97	Насоси. Основні технічні показники та характеристики рідинних насосів. Терміни, визначення та позначення
15	ГКД 34.22.502-95	Хімічні очистки конденсаторів турбін і теплообмінних апаратів на теплових електростанціях. Методичні вказівки
16	ГКД 34.30.301-95	Методика розрахунку виправлень до потужності, витраті свіжої пари й питомій витраті теплоти на відхилення параметрів і умов від номінальних для турбоагрегатів з регульованими відборами пари
17	ГКД 34.09.302-96	Достовірне оцінювання економічної ефективності механічних заходів, проведених на конденсаційних турбоагрегатах. Методика

Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

1	2	3
18	ГКД 34.11.301-93	Метрологічні характеристики обчислювальної процедури розрахунку техніко-економічних показників енергоблока теплової станції. Методика визначення
19	ГКД 34.22.601-96	Технології та обладнання систем технічного водопостачання ТЕС. Рекомендації щодо зменшення витрат води
20	ГКД 34.25.506-96	Редукційно-охолоджувальні установки (ШРОУ, РОУ, ПСШУ і ПСШУ ВП). Інструкція з експлуатації
21	ГКД 34.30.401-93	Методичні вказівки з налагодження та експлуатації водострумних ежекторів конденсаційних установок парових турбін
22	ГКД 34.09.103-96	Розрахунок звітних техніко-економічних показників електростанції про теплову економічність устаткування. Методичні вказівки
23	ГКД 34.35.101-95	Обладнання енергетичних блоків потужністю 300 МВт і вище. Вимоги, обумовлені умовами їхньої автоматизації
24	ГКД 34.09.103-96	Розрахунок техніко-економічних показників електростанцій про теплову економічність устаткування
25	ДСТУ 4132-2002	Насоси відцентрові загальнопромислового застосування. Вимоги до проектування, виготовлення, постачання, монтажування та експлуатування. Звід правил
26	ДСТУ 4133-2002	Насоси відцентрові загальнопромислового застосування. Вимоги безпеки
27	ДСТУ 2582-94	Теплообмінники. Терміни та визначення
28	ДСТУ 4110-2002	Енергозбереження. Методика аналізу й розрахунку питомих витрат енергоресурсів (ANSI/IEEE 739:95, NEQ)
29	ДСТУ 3282-95	Енергозбереження установки для вакуумної деаерації води. Загальні технічні вимоги
30	ДСТУ 3626-97	Базові програмно-технічні комплекси локального рівня для розосереджених автоматизованих систем керування технологічними процесами. Загальні вимоги
31	ДСТУ 3682-98	Енергозбереження. Методика визначення повної енергоемності продукції, робіт та послуг. (ГОСТ 30583-98)

В існуючих нормативних документах розглядаються загальні вимоги щодо окремих елементів (насоси, конденсатор, деаератор та інші) систем НПК (1, 12, 14, 27, 29) та питання техніки безпеки (5, 6, 10, 26). Ці документи нормують основні характеристики обладнання, загальні вимоги техніки безпеки, терміни та визначення. Розглядаються технологічні параметри, які повинні забезпечуватися згідно технологічного процесу (13, 15, 16, 17, 22, 28). Сюди відносяться витрати рідини, пари, хімічний склад енергоносіїв та інше.

Увага приділяється питанням проектування та експлуатації елементів НПК (14, 20, 21, 25), монтажу та поставок (4, 8, 9). Крім того, регламентуються метрологічні характеристики приладів, які використовуються при визначенні параметрів (2, 10, 18), процедури випробування обладнання НПК (3, 6, 7, 11) та вимоги щодо систем автоматики (1, 2, 23, 30)

Питання ефективності роботи елементів НПК прямо або опосередковано визначені в (7, 14, 16, 17, 22, 24, 28, 29, 31). Так в (7) наведено методику визначення показників енергоефективності циркуляційних насосів, але відсутні алгоритми, як забезпечити ці показники на високому рівні. Теж саме відноситься й до (14), де наведено лише методику визначення енергетичних характеристик насосів. В (16) наведено способи розрахунку виправлень до потужності, витрати свіжої пари й питомій витраті теплоти, які необхідно вводити при відхиленні параметрів або інших умов від прийнятих за номінальні. Розглядаються способи оцінки економічної ефективності заходів, проведених на

конденсаційних турбоагрегатах (18) та техніко-економічні показники енергоблока (22, 24). Ці показники визначаються постфактум. Питання енергозбереження, які розглядаються в (28, 29, 31) стосуються лише окремих елементів та не висвітлюють методів його підвищення.

Таким чином, аналіз існуючих нормативно-технічних документів України показав, що питання визначення та автоматичної підтримки енергоефективних режимів роботи систем висвітлено недостатньо. Існують норми щодо окремих елементів систем НПК електростанцій (насоси, конденсатор та інші), але бракує нормативних документів, які б відображали норми щодо систем НПК як загальної системи. Майже відсутні практичні методики та алгоритми визначення параметрів елементів систем низькопотенційних комплексів, які забезпечують максимальну енергоефективність НПК як в номінальних режимах роботи енергоблоків, так і во всьому діапазоні навантажень. Не досить повно сформульовані універсальні нормативні методи структурно-параметричного синтезу енергоефективних регуляторів автоматизованих систем керування, які гарантовано змогли б забезпечити високі показники точності підтримки необхідних параметрів елементів систем НПК.

Для створення такої документації, необхідно виконати цикл теоретичних і експериментальних наукових досліджень, які будуть включати в себе математичне моделювання технологічного процесу елементів систем НПК, ідентифікацію математичних моделей за результатами експериментальних досліджень, структурний і параметричний синтез енергоефективних регуляторів.

Висновки. Існуюча нормативна база України щодо забезпечення енергоефективних режимів роботи елементів систем низькопотенційних комплексів електростанцій не відповідає сучасним вимогам енергозбереження.

Для забезпечення високих показників енергоефективності роботи систем низькопотенційних комплексів електростанцій необхідно в нормативно-технічній та нормативно-методичній документації сформулювати універсальні нормативні методи структурно-параметричного синтезу автоматизованих систем керування елементами НПК за критерієм мінімуму енергетичних втрат. В документації по системам автоматичного регулювання НПК та окремих елементів, сформулювати системні і кількісні вимоги щодо показників, а також методи і засоби їх гарантованого технічного та метрологічного забезпечення.

Список використаних джерел:

1. Повышение эффективности энергосбережения при автоматизации энергопроизводства с использованием интегрированной АСУ ТЭС и АЭС / М. А. Дуэль, Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, И. А. Бабенко. – Харьков : Мадрид, 2014. – 440 с.
2. Канюк Г. И. Методы и модели энергосберегающего управления энергетическими установками электростанций / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, И. В. Сук. – Харьков : Точка, 2016. – 332 с.
3. Шелепов И. Г. Теплоэнергетические установки электростанций : Исследование и расчёт низкопотенциальных комплексов ТЭС и АЭС / И. Г. Шелепов, В. К. Заруба, С. Б. Яцкевич. – Киев : УМКВО, 1993. – 280 с.
4. Аналіз нормативних документів по забезпеченню ефективної роботи насосних установок магістральних нафтопроводів / В. Н. Князева, Г. І. Канюк, А. Ю. Мезеря, А. В. Андреев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків. – Вип. 5. – 2019. – С. 71–77.
5. Князева В. Н. Аналіз нормативних документів України по забезпеченню ефективної експлуатації елементів систем низькопотенціальних комплексів електростанцій / В. Н. Князева, А. Ю. Мезеря, А. Н. Чеботарев // Topical issues of the development of modern science : The 6th International scientific and practical conference, February 12-14, 2020. – Sofia : ACCENT, 2020. – P. 553–557.
6. Підвищення ефективності роботи систем низькопотенційного комплексу електростанцій шляхом оптимального керування витратою циркуляційної води / Г. І. Канюк, А. Ю. Мезеря, А. М. Чеботарьов, Г. С. Близниченко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2020. – Вип. 4 (52). – С. 34–39.

7. Канюк Г. И. Оптимизация режимов работы низкпотенциальных комплексов ТЭС по критерию минимума энергетических потерь / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, Т. Н. Фурсова // *East European Scientific Journal* –2016. – № 6, part 2. – P. 108–111.

8. Канюк Г. І. Аналіз нормативного забезпечення систем автоматичного регулювання гідроенергетических установок ГЕС та ГАЕС / Г. І. Канюк, А. Ю. Мезеря, В. Є. Мельников // *Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад.* – Харків : УІПА, 2018. – № 21. – С. 120–127.

9. Канюк Г. И. Научное обоснование и нормативное обеспечение энергоэффективных режимов работы систем автоматического регулирования гидрогенераторных установок / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, В. Е. Мельников // *Вчені записки Таврійського Національного Університету імені В. І. Вернадського. Серія «Технічні науки».* – Київ, 2018. – Т. 29 (68), № 3, ч. 2. – С. 71–77.

References

1. Duel, MA, Kanyuk, GI, Mezerya, AY & Babenko, IA 2014, *Increasing to efficiency energysave at automations energyproduction with use integrated CAD HPP and APP*, Kharkov, Madrid.

2. Kanyuk, GI, Mezerya, AY & Suk, IV 2016, *Metodi i modeli energosberegayushego upravleniya energeticheskimi ustanovkami elektrostancii*, Harkov, Tochka.

3. Shelepov, IG, Zaruba, VK & Yackevich, SB 1993, *Teploenergeticheskie ustanovki elektrostancii: Issledovanie i raschet nizkopotencialnih kompleksov TES i AES*, Kiev, UMKVO.

4. Knyazeva, VN, Kanyuk, GI, Mezerya, AY & Andreev, AV 2019, 'Analiz normativnih dokumentov po obespecheniyu effektivnoi raboti nasosnih ustanovok magistralnih nefteprovodov', *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu Harkivskii politehnicnii institute*, Seriya Novi rishennya v suchasnih tehnologiyah, Harkiv, iss. 5, pp. 71-77.

5. Knyazeva, VN, Mezerya, AY & Chebotarev, AN 2020, 'Analiz normativnih dokumentov Ukraini po obespecheniyu effektivnoi ekspluatatsii elementov sistem nizkopotencialnih kompleksov elektrostancii', *Topical issues of the development of modern science*, The 6th International scientific and practical conference, February 12-14, 2020, Sofia, Bulgaria, ACCENT, pp. 553-557.

6. Kanyuk, HI, Mezerya, AY, Chebotarov, AM & Blyznychenko, HS 2020, 'Pidvyshchennia efektyvnosti roboty system nyzkopotentsiinoho kompleksu elektrostantsii shliakhom optymalnoho keruvannia vytratouiu tsyrkuliatsiinoi vody', *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy*, iss. 4 (52), pp. 34-39.

7. Kanyuk, GI, Mezerya, AY & Fursova, TN 2016, 'Optimizaciya rezhimov raboti nizkopotencialnih kompleksov TES po kriteriyu minimuma energeticheskikh poter', *East European Scientific Journal*, no. 6, part 2, pp. 108-111.

8. Kanyuk, HI, Mezerya, AY & Melnykov, VYe 2018, 'Analiz normatyvnoho zabezpechennia system avtomatichnoho rehuliuivannia hidroheneratorykh ustanovok HES ta HAES', *Mashynobuduvannia*, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv, no. 21, pp. 120-127.

9. Kanyuk, GI, Mezerya, AY & Melnykov, VYe 2018, 'Nauchnoe obosnovanie i normativnoe obespechenie energoeffektivnih rezhimov raboti sistem avtomaticheskogo regulirovaniya gidrogeneratornih ustanovok', *Vcheni zapiski Tavriiskogo Nacionalnogo Universitetu imeni VI Vernadskogo*, Seriya Tehnicni nauki, Kyiv, vol. 29 (68), no. 3, part 2, pp. 71-77.

Стаття надійшла до редакції 17 серпня 2022 року