

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕТВОРЮВАННЯ ТЕПЛОТИ В РЕГЕНЕРАТИВНІЙ СИСТЕМІ ТУРБОУСТАНОВОК ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЇХ РОБОТИ**

© Крамаренко Ю.О., Близниченко Г.С.

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### **Інформація про авторів:**

**Крамаренко Юрій Олександрович (Kramarenko Yurii):** ORCID: 0009-0005-1937-9756; kramarenkoura@gmail.com, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Близниченко Ганна Сергіївна (Blyznychenko Hanna):** ORCID: 0000-0002-3177-7280; mr.sancho2002@gmail.com, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті наведено удосконалений метод розрахунку параметрів теплової частини парових пар, який дає можливість оперативно з достатньою точністю оцінювати зміну ефективності перетворювання теплоти в турбоустановці в залежності від зміни режиму роботи або зміни в конструкціях окремих елементів схеми. Удосконалення дозволяє значно зменшити обсяг розрахункових операцій з визначення елемента, в якому сталося відхилення від розрахункового режиму роботи та втрата внаслідок цього. Суть удосконалення полягає в тому, що турбоустановка поділяється на окремі регенеративні ступені, кількість яких визначається числом регенеративних відборів. При цьому регенеративна ступінь складається з ряду послідовно (по ходу пари) включених елементів. Наведено рівняння теплового балансу при послідовності протікання технологічного процесу у регенеративній ступені, а також рівняння теплового балансу з урахуванням того, що в елементах регенеративної ступеня теплота витрачається не однаково для проточної частини, камери та паропроводу відбору, регенеративного підігрівача та дренажної системи. Наведено систему рівнянь, яка описує відносні величини розподілу потоків теплоти у кожному елементі регенеративної ступені. Отримані критерії, що характеризують ефективність перетворювання теплоти в елементах регенеративної ступеня та визначають якісні показники роботи турбіни, а саме: коефіцієнт корисної дії перетворювання теплоти у роботу, коефіцієнт втрат енергії в елементах регенеративної ступеня, коефіцієнти повертання теплоти. Удосконалено методику визначення збільшення витрати енергії в результаті технологічної відмови (часткової чи повної) шляхом порівняння фактичної витрати теплоти з еталонною. Наведено рівняння визначення внутрішнього коефіцієнта корисної дії турбоустановки з метою оцінки впливу змін у регенеративній мірі на роботу турбоустановки. Удосконалена методика дозволяє аналізувати стан елементів турбінних установок електростанцій як при експлуатації, так і при виборі оптимальних варіантів модернізації та в залежності від цього приймати міри з усунення технологічних відмов в енергоблоці та покращити показники якості роботи енергоблоків, а саме показники надійності та енергоефективності.

**Ключові слова:** техніко-економічні показники, показники якості, турбоустановка, енергоблок, електростанція, енергозбереження.

**Kramarenko Y., Blyznychenko H.** Assessment of the influence of the efficiency of heat conversion in the regenerative system of turbo installations of power plants on indicators of the quality of their work.

The article provides an improved method for calculating the parameters of the thermal part of steam vapors, which makes it possible to quickly and with sufficient accuracy evaluate the change in the efficiency of heat conversion in a turbine depending on a change in the operating mode or a change in the design of individual circuit elements. The improvement makes it possible to significantly reduce the volume of calculation operations for determining the element that deviated from the calculated mode of operation and losses as a result of this. The essence of the improvement is that the turbo installation is divided into separate regenerative stages, the number of which is determined by the number of regenerative selections. At the same time, the re-generative stage consists of a series of sequentially (pairwise) included elements. The heat balance equation for the sequence of the technological process in the regenerative stage is given, as well as the heat balance equation, taking into account the fact that in the elements of the regenerative stage heat is not consumed equally for the flow part, the chamber and steam pipeline of the selection, the regenerative heater and the drainage systems. A system of equations is presented that describes the relative values of heat flow distribution in each element of the regenerative stage. The obtained criteria characterize the efficiency of heat conversion in the elements of the regenerative stage and determine the quality indicators of the turbine operation, namely: the coefficient of the useful effect of the conversion of heat into work, the coefficient of energy losses in the elements of the regenerative stage, and the coefficients of heat return. The method of determining energy overspending as a result of a technological failure (partial or complete) by comparing the actual heat consumption with the reference one is given. The equation for determining the internal efficiency of a turbo installation is presented in order to assess the effect of changes in the regenerative degree on the operation of the turbo installation. The improved technique allows analyzing the condition of the elements of the turbine installations of power plants both during operation and when choosing the optimal modernization options and, depending on this, taking measures to eliminate technological failures in the power unit and improving the indicators of the quality of the power units, namely the indicators of reliability and energy efficiency.

**Keywords:** technical and economic indicators, quality of automated control systems, power unit, power plant, energy saving.

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

Теплоенергетика є базою енергетики як України, так і багатьох інших країн світу. Одним з основних обладнання є теплова турбіна, яка використовується на теплових та атомних електростанціях, парогазових установках, теплоелектроцентралях.

Ефективність роботи турбіни визначає показники якості роботи електростанції, до яких відноситься енергоефективність, що визначається такими характеристиками як коефіцієнт корисної дії (ККД), питома витрата палива, питома витрата пари.

Ефективність перетворення теплоти в окремих елементах турбоустановок електростанцій (ТЕУЕС) в даний час визначається шляхом громіздких обчислень [1], що ускладнює вживання оперативних заходів під час експлуатації енергоблоків електростанцій. Є великі складнощі щодо оптимізації термодинамічних та конструкційних параметрів в окремих елементах та діагностування їх стану. Тобто. необхідний метод, який давав би можливість оперативно і з достатньою точністю оцінювати зміну ефективності перетворення теплоти в турбоустановці в залежності від зміни режиму роботи або змін в конструкціях окремих елементів схеми.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Показники якості виробництва теплової та електричної енергії, до яких належить енергоефективність, відображені у основній стратегії розвитку енергетики України [2], а також в економічній політиці енергозбереження [3]. Визначено найближчі перспективи у цьому напрямі [4].

У зв'язку з цим, питанням підвищення якості роботи турбоустановок приділяється велика увага вчених та інженерів. Великий інтерес представляє оптимізація елементів турбоустановок, наприклад, проточних частин, що надає істотний внесок у ефективність її роботи [5]. Створюються серії нових турбін підвищеної потужності з використанням сучасних технологій і методик розрахунку [6], проводяться дослідження когенерації (спільне вироблення теплової та електричної енергії) [7], які відбилися на законодавчому рівні [8].

Істотний внесок у підвищення ефективності роботи турбоустановок роблять дослідження, спрямовані на оптимізацію режимів роботи турбін при їх автоматизованому керуванні [9, 10, 11] та вдосконалення регуляторів парових турбін [12, 13]. Розглядаються питання, пов'язані із проблемами забезпечення необхідного рівня енергозбереження застарілого обладнання [14] та продовження його ресурсу [15].

Ці та багато інших дослідження втілені в практику електростанцій та дозволили значно підвищити якість їх роботи, але питання оперативності та достатньої точності визначення ефективності перетворення теплоти в турбоустановці залежно від зміни режиму роботи або змін у конструкціях окремих елементів схеми, а також зміна цих параметрів у режимі реальної години, висвітлено недостатньо. Крім того, методика повинна бути простою, та гідною для реалізації в діючих системах керування енергоблоками без складної модернізації програмного забезпечення та апаратної складової. Зазначене потребує відповідного удосконалення розрахункових методик, чому й присвячена дана робота.

### **Постановка мети та завдання дослідження**

Метою роботи є удосконалення методики визначення зміни ефективності перетворення теплоти в турбоустановці залежно від зміни режиму роботи або змін у конструкціях окремих елементів схеми.

### **Виклад основного матеріалу**

Відповідно до мети пропонується вдосконалений метод, який дозволяє значно скоротити обсяг розрахункових операцій з визначення елемента, в якому відбулося відхилення від розрахункового режиму роботи та збитки внаслідок цього.

Сутність удосконалення полягає в тому, що турбоустановка розчленовується на окремі регенеративні ступені (РС), кількість яких визначається кількістю регенеративних відборів [9]. При цьому регенеративний ступінь складається з ряду послідовно (по ходу пари) включених елементів (рис.1), а саме: проточної частини турбіни (ПТ), камери відбору (КО), паропроводу відбору (ТР), регенеративного підігрівача (П) та дренажного трубопроводу (ДР). Тобто у регенеративному ступені відбувається процес перетворення енергії пари від його початкового стану ( $n_0$ ) до стану конденсату, що повертається в цикл ( $n'_{op}$ ).

Зважаючи на послідовність протікання технологічного процесу в регенеративному ступені, для неї можна записати рівняння теплового балансу у вигляді:

$$q_{rc} = l_{rm} + q_{rn} + q_r^{63} + \Delta q_{rc}, \quad (1)$$

де  $q_{rc} = \alpha_r (h_0 - h'_{rn})$  – теплота, підведена до пари даного регенеративного ступеня, кДж/кг;

$\alpha_r = \frac{D_r}{D_0}$  – відносна витрата пари з турбіни в даний ступінь;

$h_0$  – ентальпія гострої пари, кДж/кг;

$h'_{rn}$  – ентальпія конденсату пари, що гріє, даного ступеня, кДж/кг;

$l_{rm} = \alpha_r (h_0 - h_r)$  – робота, що виконується пором  $\alpha_r$  у проточній частині турбіни, кДж/кг;

$q_{rn} = \alpha_r (h_{rn} - h_r^{63})$  – теплота, передана в регенеративному підігрівачі, кДж/кг;

$q_r^{63}$  – теплота, що повертається з конденсатом пари, що гріє, кДж/кг;

$\Delta q_{rc}$  – теплота, що витрачається на покриття втрат у регенеративному ступені, кДж/кг.

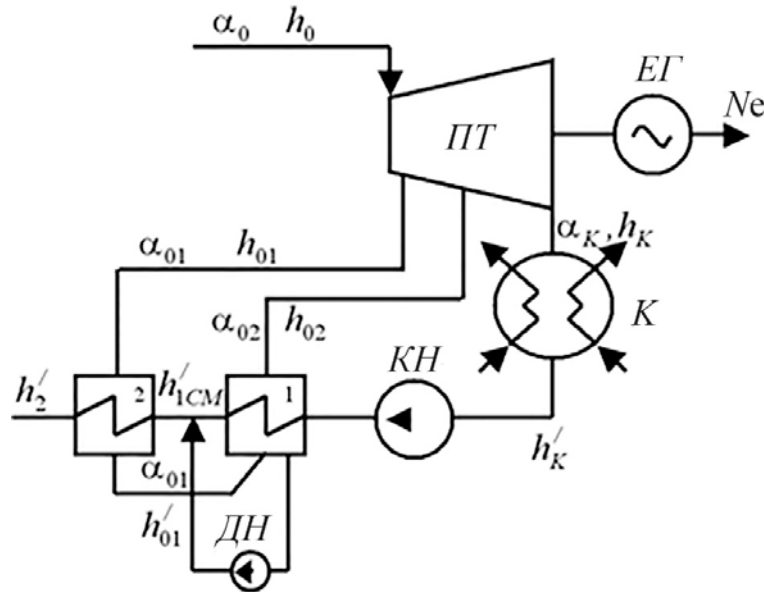


Рис. 1 – Спрощена теплова схема паротурбінної установки

Зважаючи на те, що в елементах регенеративного ступеня теплота витрачається не однаково, для проточної частини, камери та паропроводу відбору, регенеративного підігрівача та дренажів системи з урахуванням послідовності протікання пари, рівняння балансів можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} q_{rc} = l_{rm} + \Delta q_{rm} + q_{rm}^{63}, \\ q_{rm}^{63} = \Delta q_{ka} + q_{ko}^{63}, \\ q_{ko}^{63} = \Delta q_{mp} + q_{mp}^{63}, \\ q_{mp}^{63} = q_{rn} + \Delta q_{rn} + q_{rn}^{63} \\ q_{rn}^{63} = \Delta q_{op} + q_{rc}^{63}, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\Delta q_{rm}, \Delta q_{ko}, \Delta q_{mp}, \Delta q_{rn}, \Delta q_{op}$  – втрати енергії у відповідному елементі РС, кДж/кг;

$q_{rm}^{63}, q_{ko}^{63}, q_{mp}^{63}, q_{rn}^{63}, q_{rc}^{63}$  – потік теплоти на виході з відповідного елемента (тепла, що повертається), кДж/кг.

Систему рівнянь (2) можна виразити через відносні величини розподіл потоків теплоти в кожному елементі регенеративного ступеня. Для цього складові кожного рівняння необхідно розділити на ліву частину. З огляду на це систему можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} 1 = \eta_{rm} + \Delta \eta_{rm} + \gamma_{rm}^{63}, \\ 1 = \Delta \eta_{ka} + \gamma_{ko}^{63}, \\ 1 = \Delta \eta_{mp} + \gamma_{mp}^{63}, \\ 1 = \eta_{rn} + \Delta \eta_{rn} + \gamma_{rn}^{63} \\ 1 = \Delta \eta_{op} + \gamma_{rc}^{63}, \end{cases} \quad (3)$$

У системі рівнянь (3) отримані критерії, що характеризують ефективність перетворення теплоти у кожному елементі регенеративного ступеня.

До них відносяться:

$\eta_{rm}$  – абсолютний внутрішній ККД перетворення теплоти РС на роботу;

$\Delta\eta_{rm}, \Delta\eta_{ko}, \Delta\eta_{mp}, \Delta\eta_{rn}, \Delta\eta_{op}$  – коефіцієнти втрат енергії у відповідних елементах РС;

$\gamma_{rm}^{63}, \gamma_{rn}^{63}, \gamma_{rc}^{63}$  – коефіцієнти повернення теплоти з відповідного елемента,

$\eta_{mp} = \gamma_{mp}^{63}, \eta_{ko} = \gamma_{ko}^{63}$  – коефіцієнти повернення теплоти з камери відбору та паропроводу відповідні ККД даних елементів.

Систему рівнянь (2) з урахуванням (3) для будь-якого «*i*» ступеня, до якого підведена теплота  $q_{ic}$ , можна перетворити на вигляд:

$$\begin{cases} q_{ic} = q_{ic} (\eta_{im} + \Delta\eta_{im} + \gamma_{im}^{63}), \\ q_{rm} = q_{ic} \cdot \gamma_{im}^{63} (\Delta\eta_{ika} + \eta_{ika}), \\ q_{ko} = q_{ic} \cdot \gamma_{im}^{63} \cdot \eta_{ika} (\Delta\eta_{imp} + \eta_{imp}), \\ q_{mp} = q_{ic} \cdot \gamma_{im}^{63} \cdot \eta_{iko} \cdot \eta_{imp} (\eta_{in} + \Delta\eta_{in} + \gamma_{in}^{63}) \\ q_{rn} = q_{ic} \cdot \gamma_{im}^{63} \cdot \eta_{iko} \cdot \eta_{mp} \cdot \gamma_{in}^{63} (\Delta\eta_{op} + \gamma_{op}^{63}), \end{cases} \quad (4)$$

Рішення системи рівнянь (4) можна проводити в процесі експлуатації енергоблоків як ручним способом струму та за допомогою ЕОМ. Порушення процесів у будь-якому елементі призводить до зміни балансу енергії в даному елементі та в наступних за ними елементах регенеративного ступеня, що призводить до технологічної відмови (часткової або повної) [10]. Збільшення витрати енергії в результаті технологічної відмови можна визначити шляхом порівняння  $q_{ic}^0$  фактичних витрат теплоти  $q_{ic}$  з еталонними, тобто:

$$\Delta q_{ic} = q_{ic} - q_{ic}^0. \quad (5)$$

Слід зазначити, що використання цього методу вимагатиме чіткої роботи датчиків, контрольно-вимірювальних приладів, які забезпечують інформацією ЕОМ. Шляхом спільного розв'язання рівнянь (4) і (5) можна знаходити джерело технологічної відмови в регенеративному ступені, або протитисковій турбіні [11].

Беручи до уваги те, що найбільш широке поширення в стаціонарних ТЕУЕС отримали турбоустановки з числом регенеративних щаблів  $Z > 1$ , необхідно оцінювати вплив часткової технологічної відмови в елементі «*i*» регенеративного ступеня «*i*» на ефективність роботи турбоустановки.

Для оцінки впливу змін у регенеративному ступені на роботу турбоустановки можна скористатися формулою для визначення абсолютного внутрішнього ККД турбоустановки [13]:

$$\eta_r = \frac{\sum_1^Z \overline{L}_i + \overline{L}_K}{Q_0} = \sum_1^Z \eta_i + \eta_K, \quad (6)$$

де:  $\overline{L}_i = \alpha_i H_i, H_i = h_0 - h_i$  – повна та питома робота «*i*» потоку теплоти в турбоустановці, кДж/кг;

$\overline{L}_K = \alpha_K H_K, H_K = h_0 - h_K$  – теж, для конденсаційного потоку, кДж/кг;

$Q_0 = \sum_1^Z \alpha_i H_i + \alpha_K q_{ko}$  у  $q_{ko} = h_0 - h_K'$  – повна та питома кількість теплоти (конденсаційного потоку), кДж/кг

$h_0, h_i, h'_k$  – відповідно, ентальпії гострої та пари, що відбирається, і конденсату.

$\alpha_i$  – Відносні частки витрати пари в потоках, кДж/кг

$i = 1, 2, 3, \dots, Z$  – індекс, що кодує потік теплоти.

$Z$  – кількість регенеративних відборів у турбоустановці.

$\eta_i, \eta_k$  – відповідно, абсолютні внутрішні ККД « $i$ » та « $k$ » потоків теплоти в турбоустановці.

Значення  $\eta_i$  відрізняються тим, що  $\eta_{rT}$  характеризує частку потоку теплоти ( $Q_0$ ), що використовується для отримання роботи в проточній частині, а  $\eta_{rT}$  (3) характеризує перетворення потоку теплоти  $q_{ic}$ . Залежність між  $\eta_i$  і  $\eta_{rT}$  має вигляд:

$$\eta_{rT} = \eta_i \frac{q_{ic}}{Q_0}. \quad (7)$$

З урахуванням (7) вираз (6) можна переписати у вигляді:

$$\eta_r = \sum_1^Z \eta_{rT} \frac{Q_0}{q_{ic}} + \eta_k. \quad (8)$$

Вираз (8) дає можливість аналізувати вплив ефективності окремих елементів регенеративної системи на основний показник якості роботи турбіни.

### **Висновки**

Запропонована методика дозволяє аналізувати стан елементів схеми турбінних установок електростанцій як при експлуатації, так і при виборі оптимальних варіантів модернізації і в залежності від цього вживати заходів щодо усунення технологічних відмов в енергоблоці. Реалізацію методу доцільно здійснювати із застосуванням електронних обчислювальних машин та автоматизованих систем керування технологічним процесом, що дозволить проводити діагностування енергоблоків з метою підвищення його економічності та надійності.

### **Список використаних джерел:**

1. Шелепов И. Г. Исследование влияния режимов работы НПК на эффективность работы энергоблока / И. Г. Шелепов, Д. В. Михайский // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2005. – № 3(2). – С. 122–125.
2. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/docscatalog/document?id=244996332> (дата звернення 20.04.2023)/
3. Оцінка енергетичної політики України у порівнянні з кращими європейськими практиками реалізації політики в сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики [Електронний ресурс] / Д. Вайс, В. Каленборн, Г. Брандл та ін.; за ред. Д. Вайса. – Київ, 2014. – Режим доступу : [http://journal.esco.co.ua/esco/2015\\_3\\_4/log/art45.pdf](http://journal.esco.co.ua/esco/2015_3_4/log/art45.pdf). (дата звернення 15.05.2023).
4. Халатов А. А. Энергетика Украины: сучасний стан і найближчі перспективи / А. А. Халатов. – Вісник НАН України. – 2016. – № 6. – С. 53–61.
5. Бойко А. В. Многокритериальная многопараметрическая оптимизация проточной части осевых турбин с учетом режимов эксплуатации : монография / А. В. Бойко, А. П. Усатый, А. С. Руденко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. – 220 с.
6. Створення парових турбін нового покоління потужністю 325 МВт / В. Г. Суботін, Є. В. Левченко, В. Л. Швецов, О. Л. Шубенко, А. О. Тарелін, В. П. Суботович. – Харків : Фоліо, 2009. – 256 с.
7. Черноволенко В. А. Когенерационные паровые турбины / В. А. Черноволенко, В. Н. Рябинин // *Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. Техногенна безпека*. – 2008. – Вип. 64, т. 77. – С. 126-130.
8. Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та використання скидного потенціалу» // *Відомості Верховної Ради*. – 2005. – № 20. – С. 275–285.
9. Дуэль М. А. Оптимальное управление теплоэнергетическими установками электростанций / М. А. Дуэль, Т. Л. Дуэль, И. Г. Шелепов. – Харьков : ЧП "КиК", 2000. – 308 с.
10. Дуэль М. А. Автоматизированные системы управления энергоблоками тепловых и атомных станций / М. А. Дуэль. – Харьков : ЧП "КиК", 2006. – 420 с.
11. Артюх С. Ф. Автоматизированные системы управления энергогенерирующими установками электростанций / С. Ф. Артюх, М. А. Дуэль, И. Г. Шелепов. – Харьков, 2000. – 447 с.

12. Прецизионные системы энергосберегающего автоматического регулирования турбогенераторных установок электрических станций / Г. И. Канюк, Е. Н. Близниченко, А. Ю. Мезеря, В. Е. Мельников, И. А. Бабенко. – Харьков : Точка, 2015.

13. Унифицированная структура прецизионных быстродействующих систем энерго- и ресурсосберегающего автоматического управления и регулирования / Г. И. Канюк, И. А. Бабенко, А. Ю. Мезеря, М. Л. Козлова, И. В. Сук и др. // Проблемы машиностроения. – 2016. – № 2, т. 19. – С. 58–67.

14. Шелепов И. Г. О некоторых проблемах оценки энергосбережения при эксплуатации устаревшего оборудования ТЭС / И. Г. Шелепов, Д. В. Михайский // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 1/2(19). – С. 173–175.

15. Продление ресурса теплоэнергетического оборудования энергоблоков АЭС / В. А. Кострыкин, И. Г. Шелепов, А. Л. Шубенко, И. А. Казак, Ю. А. Щербенко // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования : сб. науч. трудов. – Харьков, 2003 – Т. 2. –С. 431–434.

#### Reference:

1. Shelepov, IG & Mihajskij, DV 2005, 'Issledovanie vliyaniya rezhimov raboty NPK na effektivnost raboty energobloka' [*Studying the impact of NPC operating modes on the efficiency of a power unit*], *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, no 3(2), Pp. 122-125.

2. Kabinet Ministriv Ykrajny 2017, *Nova energetichna strategiya Ukrayini do 2035 roku: «Bezpeka, energoefektivnist, konkurentospro-mozhnist»* [*New Energy Strategy of Ukraine until 2035: "Security, energy efficiency, competitiveness"*], viewed 20 April 2023 <<http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332>>.

3. Vajs, D, Kalenborn, V, Brandl, G & Vajsa, D (ed) 2014, *Ocinka energetichnoyi politiki Ukrayini u porivnyanni z krashimi yevropejskimi praktikamirealizaciyi politiki v sferi energoefektivnosti ta vidnovlyuvanoyi energetiki* [*Assessing Ukraine's energy policy in comparison with the best European practices of energy efficiency and renewable energy policy implementation*], viewed 15 May 2023 <[http://journal.esco.co.ua/esco/2015\\_3\\_4/log/art45.pdf](http://journal.esco.co.ua/esco/2015_3_4/log/art45.pdf)>.

4. Halatov, AA 2016, 'Energetika Ukrayini: suchasnij stan i najblizhchi perspektivi' [*Ukraine's energy sector: current state and immediate prospects*], *Visnik NAN Ukrayini*, no 6, Pp. 53-61.

5. Bojko, AV, Usatyj, AP & Rudenko, AS 2014, *Mnogokriterial'naja mnogoparametricheskaja optimizacija protochnoj chasti osevyh turbin s uchetom rezhimov jekspluatacii* [*Multicriteria multi-parametric optimization of axial turbines with regard to operating conditions*], NTU «HPI», Har'kov.

6. Subotin, VG, Levchenko, YeV, Shvecov, VL, Shubenko, OL, Tarelin, AO & Subotovych, VP 2009, *Stvorenniya parovyh turbin novogo pokolinnya potuzhnisty 325 MVt* [*Developing a new generation of 325 MW steam turbines*], Folio, Harkiv.

7. Chernovolenko, VA & Ryabinin, VN 2008, 'Kogeneracionnye parovye turbiny' [*Cogeneration steam turbines*], *Tehnogenna bezpeka. Naukovi praci*, iss 64, vol. 77, Pp.126-130.

8. Verhovna Rada Ykrajny 2005, 'Zakon Ukrayini "Pro kombinovane virobniectvo teplovoyi ta elektrichnoyi energiyi ta vikoristannya skidnogo potencialu"' [*On combined heat and power generation and using waste heat potential*], *Vidomosti Verhovnoyi Radi*, no 20, Pp. 275–285.

9. Duel, MA, Duel, TL & Shelepov, IG 2000, *Optimalnoe upravlenie teploenergeticheskimi ustanovkami elektrostancij* [*Optimal management of thermal power plants*], ChP "KiK", Harkov.

10. Duel, MA 2006, *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya energoblokami teplovyh i atomnyh stancij* [*Automated control systems for thermal and nuclear power units*], ChP "KiK", Harkov.

11. Artyuh, SF, Duel, MA & Shelepov, IG 2000, *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya energogeneriruyushimi ustanovkami elektro-stancij* [*Automated control systems for power generation units in power plants*], Harkov.

12. Kanyuk, GI, Blyznichenko, EN, Mezerya, AYu, Melnikov, VE & Babenko, IA 2015, *Precizionnye sistemy energosberegayushogo avtomaticheskogo regulirovaniya turbogenera-tornyh ustanovok elektricheskikh stancij* [*Precision energy-saving automatic control systems for turbine generator sets in power plants*], Tochka, Harkov.

13. Kanyuk, GI, Babenko, IA, Mezerya, AYu, Kozlova, ML & Suk, IV 2016, 'Unificirovannaya struktura precizionnyh bystrodejstvuyushih sistem energo- i resurso-sberegayushogo avtomaticheskogo upravleniya i regulirovaniya' [*A unified structure for high-precision, high-speed, energy- and resource-saving automatic control and regulation systems*], *Problemy mashinostroeniya*, no 2, vol. 19, Pp. 58-67.

14. Shelepov, IG & Mihajskij, DV 2006, 'O nekotoryh problemah ocenki energosberezheniya pri ekspluatacii ustarevshego oboru-dovaniya TES' [*On some problems in assessing energy savings in the operation of obsolete TPP equipment*], *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, no 1/2(19), Pp. 173-175.

15. Kostrykin, VA, Shelepov, IG, Shubenko, AL, Kazak, IA & Sherbenok, YuA 2003, 'Prodlenie resursa teploenergeticheskogo oborudovaniya energoblokov AES' [*Extending the service life of thermal power equipment in nuclear power units*], *Sovershenstvovanie turboustanovok metodami matematicheskogo i fizicheskogo modelirovaniya*, vol. 2. Pp. 431-434.