

DOI 10.32820/2079-1747-2023-31-87-93  
УДК 621.22.018.8

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕВПОРЯДКОВАНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ**

**© Мезеря А.Ю., Дрозд В.А.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### **Інформація про авторів:**

**Мезеря Андрій Юрійович (Mezerya Andrey):** ORCID: 0000-0003-2946-9593; mezzzer@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Дрозд Володимир Анатолійович (Drozd Volodymyr):** ORCID: 0009-0001-4335-7558; volodyadrozd2296@gmail.com; аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Проведено аналіз впливу непорядкованості інформації на показники якості (економічність та ефективність) систем автоматизованого керування енергоблоками електростанцій. Автоматизовані системи керування електростанцією, як і будь-якого складного об'єкта, розглядаються в роботі з позицій макропідходу як єдиний комплекс інформаційно взаємопов'язаних елементів, а ступінь ефективності автоматизованих систем керування розглядається з позиції статистичної фізики. Кількість інформації визначається згідно з існуючою теорією інформації, де міра невизначеності співпадає з поняттям термодинамічної ентропії. Встановлена залежність ефективності системи від непорядкованості, та показано, що при збільшенні непорядкованості ефективність системи знижується. Визначено причини появи непорядкованості інформації, до яких відноситься неузгодженість потоків інформації, простій агрегатів, несвоєчасне надходження інформації та інше. Визначено залежності ускладнення системи керування на приріст ефективності та строк окупності додаткових капіталовкладень, який обернено залежить від непорядкованості інформації. Визначена залежність вартості системи керування від ефективності керуючого комплексу. Встановлено, що на окремих рівнях керування необхідно прагнути к рівномірному рівню автоматизації, оскільки цей рівень характеризується однакоим строком окупності й однакою величиною непорядкованості. Показано, що ієрархічна структура керування в галузевому масштабі з передачею у вищі рівні меншого обсягу та більш загальну інформацію повністю себе виправдовує. Встановлено, що збільшення інформації системи керування не повинна перевищувати відомого, економічно доцільного рівня; не слід надмірно ускладнювати алгоритми керування; економічно доцільно залишати в керуваному комплексі частку неупорядкованості (шуму) тим більшу, чим складніший процес керування даним комплексом; після досягнення верхнього економічно доцільного рівня автоматичного керування, тобто найбільшого економічно виправданого терміну окупності  $i$ , отже, вичерпання резервів, стає особливо актуальним перехід до нової, більш продуктивної технології АСК ТП, що забезпечує підвищене значення ефективності.

**Ключові слова:** техніко-економічні показники, показники якості, автоматизована система керування, енергозбереження, непорядкованість інформації.

**Mezerya A., Drozd V.** Assessment of the influence of information disorder on quality indicators of automated control systems.

This study examines the impact of information disorder on quality indicators, specifically economy and efficiency, in automated control systems (ACS) of power units of power plants. The analysis focuses on power plant control systems as a complex entity consisting of informationally

interconnected elements, adopting a macro approach. The effectiveness of automated control systems is evaluated from the perspective of statistical physics. The research investigates the relationship between information disorder and quality indicators, particularly the cost dependence of the control system on the efficiency of the control complex. Findings reveal the importance of maintaining a uniform level of automation at individual management levels to ensure consistent payback periods and levels of irregularity. The study demonstrates the effectiveness of a hierarchical management structure on an industry scale, where higher levels receive more generalized information in smaller volumes. Furthermore, it establishes that the increase in information within the control system should remain economically feasible and not exceed a certain level. Control algorithms should be appropriately balanced, and a controlled amount of disorder (noise) within the complex is economically advantageous, particularly in more complex management processes. Upon reaching the upper economically justifiable level of automatic control and depletion of reserves, transitioning to a new, more productive technology in ACS becomes highly relevant, offering increased efficiency.

**Keywords:** technical and economic indicators, quality indicators, automated control system, energy savings, information disorder.

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

Протягом багатьох років питанням автоматизації збору та переробки техніко-економічної інформації в енергетиці не приділялося достатньої уваги, внаслідок чого ці завдання керування перебували у галузі великих значень неупорядкованості. Розробка простих методів визначення неупорядкованості та виявлення основних джерел "шуму" на основі результатів статистичних спостережень за простоями обладнання при аварійних ситуаціях або з інших причин; "пролежуванням" запасів матеріалів та невикористаною інформацією; коливаннями якості продукції і т.п. факторами дозволить використовувати наявні потенційні резерви підвищення ефективності системи керування енергообладнанням. Принесе також безперечну користь та розвиток способів оцінки загальної кількості інформації, необхідної для керування енергообладнанням, а також оцінки вартості одиниці інформації в системі керування для можливості об'єктивного порівняльного аналізу розроблюваних та експлуатованих систем керування в енергетиці та підвищення, зрештою, якості систем керування та якості підтримки технологічних процесів (точність керування). Широке впровадження систем автоматизації та підвищення вимог до енергозбереження призвело до значного збільшення інформації та загострило питання її неупорядкованості. Останнє, у свою чергу, призводить до ускладнення систем керування, зниження їх точності та швидкодії, а також до зниження показників якості самих систем керування, до яких належить економічність. Вирішення подібних завдань для створюваних систем автоматизованого (автоматичного) керування обладнанням електростанцій є безперечно актуальним.

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

У новій енергетичній Стратегії України на період до 2035 року [1] особлива увага приділяється питанням енергозбереження та ресурсозбереження. Головним методом Стратегії є розробка та впровадження наукових методів та технічних рішень щодо конкурентоспроможності вітчизняної енергетики, яка базується, головним чином, на теплових та атомних електростанціях.

У цьому напрямку розробляються та удосконалюються сучасні алгоритми для систем керування [2], які дозволяють більш повно використовувати отриману інформацію. Йде розвиток у напрямку впровадження дисплейного керування [3], розробляються концептуальні основи створення сучасних автоматизованих систем керування [4]. З методом покращення використання інформації розробляються та удосконалюються математичні

моделі технологічних процесів [5], які використовуються не тільки в системах керування, а й у системах діагностики [6], що є також дуже важливим напрямком енергоефективності. Проводяться дослідження актуальних питань роботи операторів електростанцій. Так у [7] визначено труднощі, що виникають при роботі операторів в аварійних ситуаціях. Це тим більш актуально в умовах збільшення обсягу інформації та її невпорядкованості. Існують оцінки економічної ефективності систем керування енергоблоків [8], де показано, що питання невпорядкованості інформації є актуальним та своєчасним. Крім цього, застаріваюче обладнання електростанцій загострює цю проблему [9]. Це пов'язано з необхідністю отримання додаткової інформації в режимі експлуатації з метою забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки. Але в науковій літературі недостатньо висвітлено питання впливу невпорядкованості інформації на показники якості систем керування, до яких, насамперед, належить економічність.

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

Метою роботи є аналіз впливу невпорядкованості інформації на показники якості (вартість та ефективність) систем автоматизованого керування енергоблоками електростанцій та визначення оптимального співвідношення між ними.

### **Виклад основного матеріалу**

Автоматизовані системи керування електростанцією (АСК ЕС), як і будь-якого складного об'єкта, можна розглядати з позицій макропідходу як єдиний комплекс інформаційно взаємопов'язаних елементів. Ці елементи у процесі функціонування АСК безперервно перебувають під впливом різноманітних внутрішніх та зовнішніх чинників, що мають випадковий характер. Тому рівень ефективності АСК ЕС цілком закономірно розглядати з позицій статистичної фізики.

Зі статистичної фізики відомо, що для систем, що складаються з великої кількості елементів, є співвідношення

$$H = a \cdot \ln B, \quad (1)$$

де  $H$  – ентропія,  $a$  – постійна,  $B$  – невпорядкованість системи, упорядкованість системи  $A=1/B$ .

Чим більше елементів включає керований комплекс, тим паче справедливо йому вираз (1). Відомо, що ентропія системи, наданої собі, зростає; інакше кажучи, у природних умовах зростає її невпорядкованість, тобто. система прагне безладдя. Протистояти наростанню безладдя можуть лише процеси керування. Процес керування – це сутнісно боротьба з невпорядкованістю. Але процес керування пов'язаний із переробкою та використанням інформації.

У теорії інформації міра невизначеності зіставляється термодинамічного поняття ентропії, а кількість інформації дорівнює зменшенню цієї невизначеності. Тоді з (1) знаходимо:

$$I = H_* - H = \alpha \ln \frac{B_*}{B} \quad (2)$$

і

$$B = B_* e^{-I/\alpha} \quad (3)$$

де  $I$  – кількість "керуючої" інформації,  $B_*$  – невпорядкованість, що відповідає ентропії  $H_*$ .

Невпорядкованість комплексу призводить до неповного використання його ефективності. Тому можна вважати, що ефективність комплексу:

$$E = E_{\max} [1 - f(B)] \quad (4)$$

де  $E_{\max}$  – ефективність комплексу, що ідеально працює,  $f(B)$  – деяка функція. Приймемо, що  $f(B) = cBd$ , що охоплює дуже різноманітні випадки. Тут  $c$  і  $d$  – постійні.

Тоді отримаємо:

$$E = E_{\text{макс}}(1 - cB \cdot de^{-ld/a}).$$

Позначаючи  $cB \cdot d = B_0$  і  $a/d = I_0$ , знайдемо:

$$E = E_{\text{макс}}(1 - B_0 e^{-I_0}), \quad (5)$$

де  $B_0$  – "ефективна" невпорядкованість комплексу при його вихідному стані.

Вираз (5) вийшов таким самим, як і у випадку, якщо  $f(B)=B$ . Тому можна відкинути вираз "ефективна" і величину  $B_0$  називати просто невпорядкованістю комплексу при його вихідному стані. Невпорядкованість керованого комплексу будемо визначати як міру відхилення його стану від ідеального, що забезпечує гранично можливе досягнення мети.

Залежно від джерела невпорядкованості має різне математичне вираз, але завжди  $B < 1$ . Наприклад, виявляється пропорційним величині математичного очікування щодо часу простоїв обладнання.

Для керованого комплексу невпорядкованість є широким поняттям. Вона залежить від неузгодженості потоків матеріалів та енергії, простою агрегатів, несвочасності надходження інформації та інших причин, що знижують ефективність керованого комплексу.

З (5) видно, що залежність ефективності керованого комплексу кількості керуючої інформації виражається експонентою (рис. 1).

Звернемося до виразу (5). Ефективність комплексу є широким поняттям: це може бути продуктивність або дохід підприємства, галузі; це може бути якість продукції, оскільки вона еквівалентна її кількості; це може бути ступінь виконання стратегічного завдання тощо. Прийmemo для наочності, що ефективність  $E$  характеризує річний прибуток підприємства (грн/рік). Вважатимемо, що вартість системи керування, що реалізує збір та перетворення керуючої інформації, пропорційна кількості інформації. Через  $K$  (грн) позначимо вартість системи керування. Тоді вираз (5) набуде вигляду:

$$E = E_{\text{макс}}(1 - B_0 e^{-K/K_0}). \quad (6)$$

Ускладнення системи керування, що з додатковим капіталовкладенням  $dK$ , дає приріст ефективності комплексу  $dE$ .

Термін окупності додаткових капіталовкладень  $T_{\text{ок}} = \frac{dK}{dE}$  Тоді з (6), враховуючи, що  $B = B_0 \exp(-K/K_0)$  і що при  $T_{\text{ок}}, K=0$ , знаходимо:

$$T_{\text{ок}} = T_{\text{ок}0} \frac{B_0}{B}, \quad (7)$$

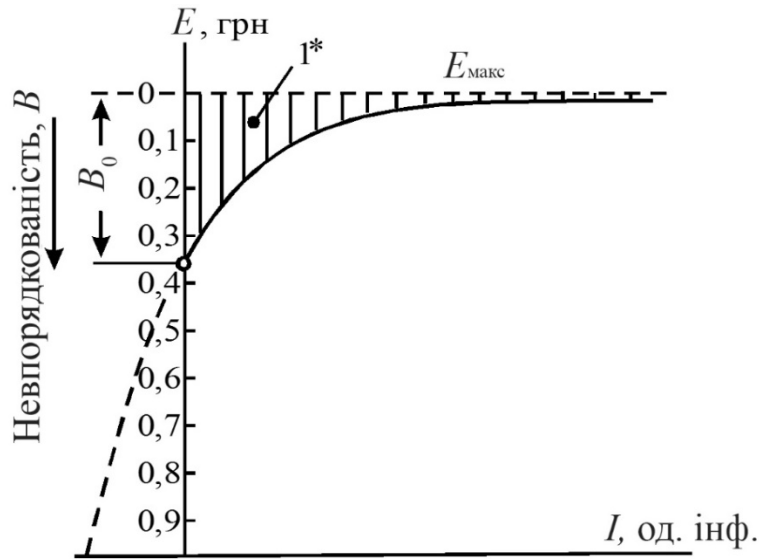
де  $T_{\text{ок}}$  – термін окупності додаткових коштів, вкладених при вихідному стані комплексу, тобто за його невпорядкованості  $B_0$  (рис. 2)

З (7) очевидно, що термін окупності обернено пропорційний невпорядкованості  $B$ .

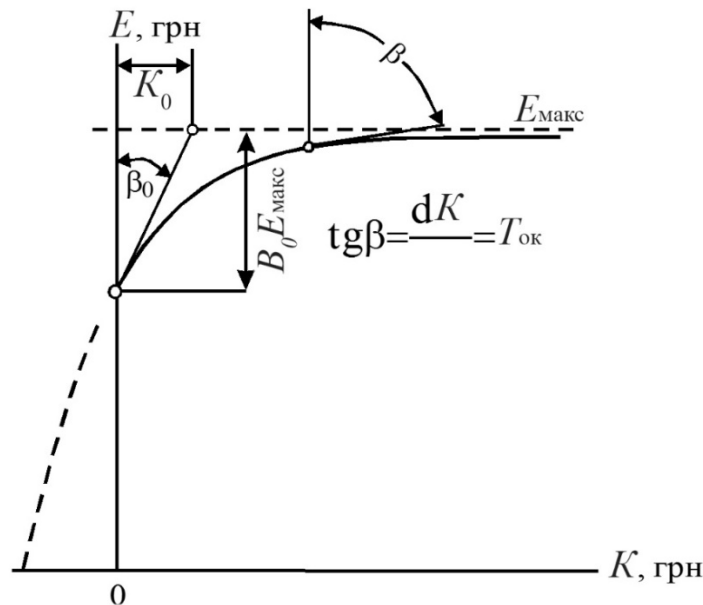
Вирази (5) і (7) дозволяють зробити низку основних висновків.

1. У міру ускладнення системи керування, збільшення обсягу керуючої інформації та її "деталізації" придбана додаткова ефективність зменшується і термін окупності системи зростає. Тому "деталізація" системи керування має перевищувати відомого, економічно обґрунтованого рівня.

2. З цієї причини не слід надмірно ускладнювати алгоритми керування в гонитві за максимальною досконалістю. Наближені, але простіші алгоритми забезпечують більш економічну та надійну систему керування зі скороченою тривалістю її підготовки та освоєння. Це саме стосується і складання математичних моделей керованих комплексів. Слід будувати наближені моделі, що відбивають основні особливості комплексів, і основі створювати системи керування.



**Рис. 1** – Залежність ефективності керуючого комплексу від кількості керуючої інформації  
 $I$  – кількість керуючої інформації,  $E$  – ефективність керованого комплексу,  
 $1^*$  – втрати від невпорядкованості, од. інф.



**Рис. 2** – Залежність вартості системи керування від її ефективності  
 $K$  – вартість системи керування, грн.,  $E$  – ефективність керованого комплексу, грн.

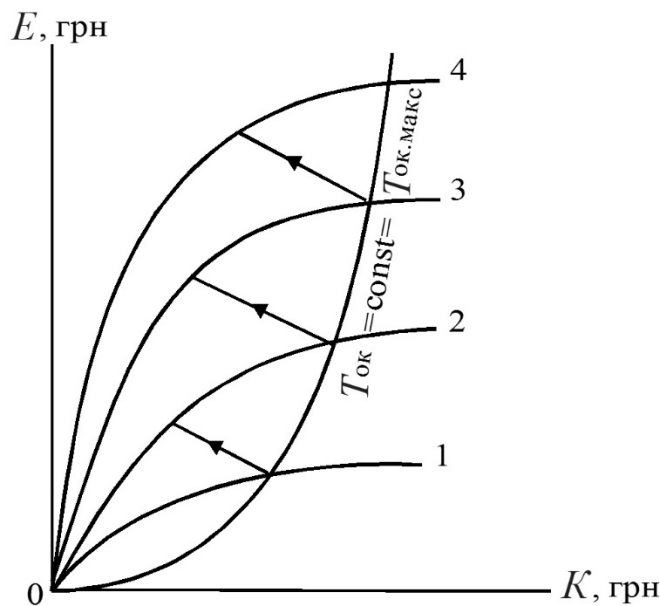
3. Економічно доцільно залишати в керованому комплексі частку невпорядкованості (шуму) тим більшу, що складніший процес керування цим комплексом. Як правило, що вище за ієрархічною драбиною керування виникає "шум", тим нижче його частоти. Вони можуть лежати в межах від кількох періодів на хвилину (виробничий агрегат) до кількох періодів на рік (підприємство, галузь). Кожному рівню відповідає свій робочий діапазон частот і, отже, свої прийоми та засоби придушення "шуму". Надмірно висока частота керуючих імпульсів на верхніх рівнях, як і зайва низька на нижніх, здатна повністю засмутити процес керування. Найбільш економічні системи керування, побудовані за ієрархічним принципом з різним характером придушення "шуму" різних рівнях.

Висловлені міркування підтверджують прийняту методологію створення АСК ЕС, де використовується кілька ієрархічних рівнів керування в галузевому масштабі з передачею у рівні вище дедалі меншого обсягу, але більш узагальненої інформації. Крім того, в міру можливості, реалізується тенденція переведення відповідного нижнього рівня на саморегулювання.

На окремих рівнях керування, як випливає з виразів (5) і (7), необхідно прагнути рівномірного рівня автоматизації, оскільки цей рівень характеризується однаковим терміном окупності та приблизно однаковою величиною невпорядкованості.

Після досягнення верхнього економічно доцільного рівня автоматичного керування, тобто найбільшого економічно виправданого терміну окупності ( $T_{ок} = T_{ок.макс}$ ) і, отже, вичерпання резервів, стає особливо актуальним перехід до нової, продуктивнішої технології АСК ТП, що забезпечує підвищене значення  $E_{макс}$ .

При новій технології через невивченість процесу можна використовувати лише щодо проста система керування. Тому при переході до нової експоненти (рис. 3) характерна точка зміститься вліво. У міру вивчення процесу та вдосконалення системи керування точка почне переміщатися експонентом вправо, аж до кривої  $T_{ок} = T_{ок.макс}$ . Потім усе повториться. Мабуть, технічний прогрес у автоматизації керування енерговиробництвом можна ілюструвати зигзагоподібною кривою на рис. 3.



**Рис. 3** – Крива прогресу

$K$  – вартість системи керування, грн,  $E$  – ефективність керованого комплексу, грн,  
1-4 – експоненти, що відповідають дедалі ефективнішим технологіям.

### Висновки

Проведено дослідження впливу невпорядкованості інформації на показники якості систем керування. Встановлено вплив обсягу інформації та її невпорядкованості на вартість систем керування та її ефективність. Отримані залежності дозволяють зробити наступні висновки:

1. Збільшення інформації (деталізація) системи керування не повинно перевищувати відомого, економічно обґрунтованого рівня;
2. Не слід надмірно ускладнювати алгоритми керування;
3. Економічно доцільно залишати в керованому комплексі частку невпорядкованості (шуму) тим більшу, що складніший процес керування цим комплексом.

4. Після досягнення верхнього економічно доцільного рівня автоматичного керування, тобто найбільшого економічно виправданого терміну окупності і, отже, вичерпання резервів, стає особливо актуальним перехід до нової, продуктивнішої технології АСК ТП, що забезпечує підвищене значення ефективності.

**Список використаних джерел:**

1. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332> (дата звернення 01 червня 2023)/
2. Дуэль М. А. Алгоритмическое обеспечение автоматизированных систем управления энергоблоками электростанций / М. А. Дуэль. – Харьков : Знание, 2000. – 283 с.
3. Александров Е. В. Дисплейное управление в АСУ ТП атомных электростанций / Е. В. Александров, А. Х. Горелик, И. Д. Розенбаум // *Энергетика и электрофикация*. – 2010. – №12. – С. 20–25.
4. Концептуальные основы построения АСТД энергоблоков АЭС Украины / В. А. Антонович, О. Ю. Черноусенко, Г. Н. Елизаренко и др. // *Энергетика и электрификация*. – 2005. – № 3, – С. 18–24; № 2. – С. 25–29.
5. Демченко В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В. А. Демченко. – Одесса : Астропринт, 2001. – 308 с.
6. Диагностирование состояния и условий эксплуатации энергооборудования ТЭС и АЭС / М. А. Дуэль, А. Л. Дуэль, В. А. Кострыкин и др. – Харьков : ЧП «КиК», 2006. – 284 с.
7. Центр технической поддержки операторов в аварийных ситуациях энергоблоков №1 и №2 Хмельницкой и №3 и №4 Ровенской АЭС // *Энергетика и электрификация*. – 2010. – № 12. – С. 12–32.
8. Дуэль Т. Л. Экономическая эффективность АСУ энергоблоками / Т. Л. Дуэль // *Труды ИпМАШ НАН Украины*. – Харьков, 2000. – С. 156-161.
9. 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.

**Reference:**

1. Kabinet Ministriv Ykrainy 2017, *Nova energetichna strategiya Ukrainy do 2035 roku: «Bezpeka, energoefektivnist, konkurentospro-mozhnist»* [New Energy Strategy of Ukraine until 2035: "Security, energy efficiency, competitiveness".], viewed 01 June 2023 <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332>.
2. Duel, MA 2000, *Algoritmicheskoe obespechenie avtomatizirovannyh sistem upravleniya energoblokami elektrostancij*, [Algorithmic support for automated control systems for power plant units], Znanie, Harkov.
3. Aleksandrov, EV, Gorelik, AH & Rozenbaum, ID 2010, 'Displejnoe upravlenie v ASU TP atomnyh elektrostancij' [Display control in nuclear power plant APCs], *Energetika i elektrofikaciya*, no 12, Pp. 20–25.
4. Antonovich, VA, Chernousenko, OYu, Elizarenko, GN 2005, 'Konceptualnye osnovy postroeniya ASTD energoblokov AES Ukrainy' [Conceptual framework for building ASTD of Ukrainian NPP power units], *Energetika i elektrifikaciya*, no 3, Pp.18–24, no 2, Pp .25–29.
5. Demchenko, VA 2001, *Avtomatizaciya i modelirovanie tehnologicheskikh processov AES i TES* [Automation and modelling of nuclear and thermal power plant processes], Astroprint, Odessa.
6. Duel, MA, Duel, AL & Kostrykin, VA 2006, *Diagnostirovanie sostoyaniya i uslovij ekspluatatsii energooborudovaniya TES i AES* [Diagnosing the condition and operating conditions of power plant equipment and], ЧП «КиК», Harkov.
7. 2010, 'Centr tehnichejskoj podderzhki operatorov v avarijnnyh situacijah energoblokov №1 i №2 Hmelnickoj i №3 i №4 Rovenskoj AES' [Operator Emergency Technical Support Centre for Khmelnytsky Units 1 and 2 and Rivne NPP Units 3 and 4], *Energetika i elektrifikaciya*, no 12, Pp.12-32.
8. Duel, TL 2000, 'Ekonomicheskaya effektivnost ASU energoblokami' [Cost-effectiveness of power unit ACS], *Trudy IpMASH NAN Ukrainy*, Pp. 156-161.
9. Shelepov, IG & Mihajskij, DV 2006, 'O nekotoryh problemah ocenki energosberezheniya pri ekspluatatsii ustarevshego oborudovaniya TES' [On some problems in assessing energy savings in the operation of outdated TPP equipment], *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, no 1/2(19), Pp. 173-175.

Стаття надійшла до редакції 03 липня 2023 року