

ISSN 1813-5420

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

# ЕНЕРГЕТИКА

*економіка, технології, екологія*



Науковий журнал

№ 1 – 2016

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

# ЕНЕРГЕТИКА

*економіка, технології, екологія*

**Науковий журнал**

**№ 1 (43) - 2016**

Виходить 4 рази на рік  
Заснований у березні 2000 року

Засновник  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Міжфакультетський журнал

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Теплоенергетичний факультет

Факультет електроенерготехніки та автоматики

---

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2016

Головний редактор – Ю.І. Якименко

Заступники

головного редактора – С.П. Денисюк, О.С. Яндульський, Є.М. Письменний

Відповідальний секретар – О.О. Закладний

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: Б.І. Басок, В.І. Дешко, В.Я. Жуйков,  
(Україна) Л.О. Кесова, М.В. Костерев, С.О. Кудря,  
В.Ф. Находов, М.Я. Островерхов, С.М. Пересада,  
К.К. Ткачук, Н.М. Фіалко, О.Ю. Черноусенко,  
С.П. Шевчук, В.Ф. Шинкаренко, В.О. Туз

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ: Е. Хандшин (*Дортмундський технічний університет, інститут енергетичних систем та економіки енергетики, Німеччина*), Ричард Стржелецькі (*Інститут електротехніки, Варшава, Польща*), П.Я. Екель (*Папський католицький університет Мінас Жерайс, Бразилія*), Димитрос Мавракіс (*Національний університет м. Афіни, Греція*), А.В. Кузнецов (*Університет штату Північна Кароліна, США*)

Технічний секретар Н.О. Кравчук.

Веб-сайт журналу <http://energy.kpi.ua>

Журнал зареєстровано Реєстраційний номер свідоцтва про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 4135 від 30.03.2000р.

Журнал внесено до Переліку фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук відповідно до Постанови Президії ВАК України від 1 липня 2010р. № 1-05/5. Журнал включено до наукометричної бази даних РІНЦ, бази даних «Наукова періодика України», Google Scholar. Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (протокол № 3 від 14 березня 2016 р.).

Коректор В.Г. Смоляр.

Комп'ютерна верстка П.О. Замковий. Відповідальний за випуск видання Н.О.Кравчук.

ISSN 1813-5420 (Print), 2308-7382 (Online).

Адреса редакції 03056, Україна, м.Київ, вул.Борщагівська, 115, к.315,  
тел. (38-044) 406-85-14, e-mail: [krav@iee.kpi.ua](mailto:krav@iee.kpi.ua)

Видавець НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка»,  
м.Київ, вул. Політехнічна , 14, корп. 15.

**Увага!** Передрукування матеріалів іншими виданнями можливе лише з дозволу редакційної колегії журналу **ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія**

©НТУУ «КПІ», 2016

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE  
"KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE"

# POWER ENGINEERING

*economics, technique, ecology*

*ENERHETYKA:  
ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya*

**The Scientific Journal**

**№ 1 (43) - 2016**

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

Founder  
National Technical University of Ukraine  
«Kyiv Polytechnic Institute»

Inter-faculty journal

Institute for Energy Saving and Energy Management  
Heat-and-Power Engineering Department  
Electrical Technology and Automation Department

---

Kyiv

NTUU «KPI»

2016

*Editor-in-chief* Yu.I. Yakimenko  
*Deputy editors-in-chief* S.P. Denysiuk, O.S. Yandulskyi, E.M. Pysmennyi  
*Deputy* O.O. Zakladnyi  
EDITORIAL BOARD: B.I. Basok, V.I. Deshko, V.Ya. Zhuykov,  
(Ukraine) L.O. Kesova, M.V. Kosteriev S.O. Kudrya,  
V.F. Nahodov, M.Ya. Ostroverkhov, S.M. Peresada,  
K.K. Tkachuk, N.M. Fialko, O. Yu. Chernousenko  
S.P. Shevchuk, V.F. Shinkarenko, V.O. Tuz

FOREIGN MEMBERS OF  
EDITORIAL BOARD:

E. Handschin (*Institute of Power Systems and Power Economics of Dortmund Technical University, Germany*),  
Richard Strzelecki (*Electro technical Institute, Warsaw, Poland*),  
P.Y. Ekel (*Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil*),  
Dimitros Mavrakis (*University of Athens, Greece*),  
A.V. Kuznetsov (*North Caroline State University, USA*)

Technical secretary N.O. Kravchuk  
Website of the journal <http://energy.kpi.ua>

Journal was registered Certificate of State Registration Printed Media  
series KB №4135 dated 30 March 2000

The Journal was registered by HAK of Ukraine as an occupational edition. Resolution of HAK of Ukraine dated 1 July 2010 № 1-05/5. The Journal is included in scientometric database RSCI, databases «Scientific Periodicals of Ukraine», Google Scholar. Passed for printing under recommendation of Academic Council of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" (protocol № 3 on March 14, 2016).

Proofreading V.G. Smoliar.  
Desktop publishing P.O. Zamkoviiv. Responsible for the publication N.O. Kravchuk.

ISSN 1813-5420 (Print), 2308-7382 (Online).

Address of editorial office 03056, Ukraine, Kyiv, 115 Borschagivska str., office 315  
tel. (38-044) 406-85-14, e-mail: [krav@iee.kpi.ua](mailto:krav@iee.kpi.ua)  
The publisher NTUU "KPI" IPP PPC "Politehnika",  
Kyiv, 14 Polytechnique str., b. 15.

**Attention!** Reprint material in other publications only with the permission of editorial board of the journal **POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology**

©NTUU «KPI», 2016

## ЗМІСТ

### ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

<b>В.А. Попов, О.С. Ярмолюк.</b> Оцінка впливу метеорологічних і географічних факторів при оцінюванні режимів роботи систем сонячного теплопостачання.....	7
<b>М.Й. Бурбело, Л.М. Мельничук.</b> Вибір перерізу кабелів в розподільних мережах напругою 10(6) кВ за економічністю.....	13
<b>В.В. Кирик, Р.В. Нагорний.</b> Розрахунок геоелектричного поля при геомагнітних збуреннях.....	17
<b>В.П. Кравченко, Є.В. Кравченко, І.В. Бондар.</b> Інструментальне визначення інсоляції в районі м. Одеси.....	20
<b>Н.В. Буслова, Б.О. Князєв.</b> Оцінка стану ізоляції самонесучих ізольованих проводів при їх виробництві та експлуатації.....	28

### ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

<b>С.П. Денисюк, В.І. Василенко.</b> Енергетичні, економічні та екологічні показники енергоефективності.....	33
<b>Ю.С. Калмыкова, В.И. Ларин, Э.Б. Хоботова.</b> Рациональные пути использования отвальных доменных шлаков.....	44
<b>С.П. Шевчук, С.В. Зайченко, В.В. Вапнична.</b> Енергоресурсозберігаючі мехатронні методи збагачення вугілля з силовим видаленням складових компонентів.....	51
<b>Д.С. Карпенко, В.В. Дубровская, В.И. Шкляр.</b> Энергетическая эффективность фотоэлектрической системы с водяным охлаждением.....	58
<b>М.М. Шовкалюк, І.О. Суходуб, О.О. Войналович.</b> Аналіз теплових потоків через підлогу залежно від архітектурних особливостей будівель.....	62

### ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

<b>Л.О. Кесова, Г.В. Кравчук.</b> Системи та технології пневматичного золовидалення ТЕС.....	68
<b>В.И. Коньшин, Г.Ю. Евлахович.</b> Анализ технического состояния выгородки реактора энергоблока №1 ОП ЮУАЭС.....	75
<b>М.Ф. Боженко, І.Я. Перевьорткіна.</b> Каскадна утилізація теплоти димових газів опалювальних водогрійних котелень.....	81

### МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ

<b>О.О. Закладний, Є.Г. Брижіцький.</b> Дослідження факторів впливу на енергетичні характеристики електромеханічних систем.....	89
<b>А.В. Мейта.</b> Исследование факторного поля шаровой мельницы.....	96

### ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ: ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

<b>А.В. Бодюк.</b> Фіскальний аспект транзитного транспортування енергетичних вуглеводневих ресурсів.....	102
---	-----

### СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<b>О.О. Вовк, Р. Кравчук, А.О. Луц, К. Аденій, В.А. Гладишева.</b> Альтернативне виробництво біопалив з супутніх продуктів нафтових плям.....	108
<b>В.Н. Сулейманов, Е.М. Янковская.</b> Комплексное решение технико-экономических и экологических задач по снижению выбросов парниковых и вредных газов, летучих веществ в электроэнергетике.....	111
<b>В.В. Калінчик.</b> Вибір принципів побудови системи контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища.....	116
Основні засади редакційної політики.....	122
Вимоги до оформлення статей.....	123

## CONTENTS

### ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

- V. Popov, O. Yarmoliuk.** Evaluation of meteorological and geographical factors in assessing modes of solar heating systems..... 7
- M.J. Burbelo, L.M. Melnychuk.** Select profile cable in distribution network voltage 10(6) кV economy.. 13
- V.V. Kyryk, R.V. Nahorni.** Geomagnetically induced currents calculation during geomagnetic disturbances..... 17
- V.P. Kravchenko, I.V. Kravchenko, I.V. Bondar.** Instrumental determination of insolation for city Odessa..... 20
- N. Buslova, B. Kniaziev.** Insulation condition of aerial bundled cables estimation while their producing and operation..... 28

### ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

- S.P. Denysyuk, V.I. Vasilenko.** Energy, economic and environmental energy efficiency indicators..... 33
- Yu.S. Kalmykova, V.I. Larin, E.B. Khabotova.** The rational way using of dump blast furnace slag..... 44
- S.P. Shevchuk, S.V. Zaichenko, V.V. Vapnichna.** Resource mechatronic coal preparation techniques with the power of rock removal..... 51
- D.S. Karpenko, V.V. Dubrovska, V.I. Shklyar.** Energy efficiency of photovoltaic system with water cooling..... 58
- M. Shovkaliuk, I. Sukhodub, O. Voinalovych.** Analysis of heat flows throught the floor depending on architectural building features..... 62

### ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

- L.A. Kyesova, A.V. Kravchuk.** Systems and techniques of the pneumatic ash removal on the TPPs..... 68
- V.I. Konshin, H.Y. Yevlakchovych.** The technical condition analysis of the core shroud at the SUNPP-1 reactor..... 75
- M.F. Bozhenko, I.J. Perevortkina.** Cascading heat utilization of flue gases of heating water boilers..... 81

### MONITORING, DIAGNOSTIC AND MANAGEMENT OF POWER PROCESSES AND EQUIPMENT

- O.O. Zakladnyi, E.G. Bryzhitsky.** Research impacts on energy performance electromechanical systems.. 89
- O. Meyta.** Study of a factorial field of the ball mill..... 96

### ENERGY TECHNOLOGIES: ECONOMIC ASPECTS

- A.V. Badyuk.** Fiscal aspect of transit transportation of hydrocarbon energy resources..... 102

### ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

- O. Vovk, R. Kravchuk, A. Lutc, Ch. Adeniyi, V. Gladysheva.** Alternative production of bio-fuel from the bye products of oil spillage..... 108
- V. Suleymanov, O. Yankovska.** Integrated solution of technical and economic and ecological tasks by reduce greenhouse gas emissions, harmful gases and volatile matter in electric power industry..... 111
- V. Kalinchyk.** Selection guidelines for creating hazards environment factors control system..... 116

# ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

УДК 621.311.1:620.92

В.А. Попов, д-р техн. наук, доц., О.С. Ярмолюк, канд. техн. наук, ст. викл.  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ОЦІНКА ВПЛИВУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ І ГЕОГРАФІЧНИХ ФАКТОРІВ ПРИ ОЦІНЮВАННІ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ СОНЯЧНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

*Розроблено алгоритми оцінювання оцінок вихідної потужності систем сонячного теплопостачання, з урахуванням невизначеності ряду технічних характеристик обладнання, метеорологічного, географічного, та іншого факторів на основі використання елементів математичного апарату теорії нечітких множин. Встановлено, що при оцінюванні режимів роботи системи сонячного теплопостачання повною мірою враховані вітчизняні та міжнародні діючі нормативні документи, особливості фізичних процесів, що мають місце при перетворенні енергії відповідно сонячного випромінювання в теплову енергію. Удосконалено методіку визначення обсягів теплоти, яка може бути отримана за допомогою систем сонячного теплопостачання в окремі характерні періоди доби, враховуючи невизначеність, пов'язану зі складністю прогнозування температури навколишнього повітря та хмарності неба. У роботі запропоновано структурну схему визначення вихідної потужності, що враховує наявність різноманітних паспортних даних, типових і технічних характеристик обладнання, та інших факторів.*

**Ключові слова:** недостатність та недостовірність інформації, сонячне випромінювання, метеорологічні фактори, сонячний колектор.

**Вступ.** Формування інтегрованих систем енергозабезпечення, реалізація вимог концепції *Smart Grid*, процес інтелектуалізації енергетичних мереж, із однієї сторони, вимагають значного розширення й удосконалення інформаційної бази, проте, з іншого боку, масштабна інтеграція розосереджених джерел генерації електричної та теплової енергії, у першу чергу, альтернативних, яка має місце при цьому, підсилює вплив чинника невизначеності інформації. Питання можливості оснащення теплових мереж сучасною виміральною технікою, забезпечення достатності та достовірності інформації, завжди були принциповими для світової енергетики. Поряд із цим, наприклад, для електроенергетики активно вивчалася і проблема коректного оцінювання режимів із урахуванням об'єктивно існуючої невизначеності інформації. Окрім моделей навантажень вузлів електричної мережі, для оцінювання режимів інтегрованих електропостачальних систем необхідно з належним ступенем адекватності враховувати і відповідні характеристики джерел розосередженої генерації (РГ) й акумулювання електричної енергії, що інтегруються до системи. Адже, вихідні характеристики джерел РГ у значній мірі залежать від багатьох зовнішніх факторів, які важко однозначно визначити та спрогнозувати. Враховуючи характер даних, які реально доступні при визначенні вихідної потужності джерела, відповідні розрахункові моделі можуть бути адекватними лише за можливості врахування невизначеності початкової інформації.

**Мета та завдання.** Фізичні процеси, що лежать в основі роботи систем сонячного теплопостачання (ССТ), характеристика складових ССТ і геофізичні фактори, які впливають на їх роботу, унеможливають однозначне прогнозування режимів роботи та не дають змоги сформувати уніфікований підхід для формування вихідних характеристик джерел РГ. У зв'язку з цим необхідно запропонувати методіку, яка дасть можливість найбільш раціональним чином задіяти всю наявну відповідну інформацію відносно характеристик джерела РГ, конкретних умов експлуатації та фізичних процесів, що лежать в основі її роботи, а також низки гідрометеорологічних факторів для оцінки вихідної потужності в окремі періоди часу, що може бути використано при розв'язанні задач побудови інтегрованих систем енергозабезпечення й оптимального керування їх режимами роботи.

**Матеріал і результати досліджень.** У загальному випадку на довільно-орієнтований приймальний майданчик сонячне випромінювання надходить у вигляді трьох потоків сонячної енергії [1]

$$E_{\Sigma}(t) = E_{\text{пр}}(t) + E_{\text{диф}}(t) + E_{\text{від}}(t),$$



де  $E_{\text{пр}}(t)$  – пряме сонячне випромінювання, що реалізується у вигляді спрямованого потоку уздовж прямої лінії, що пов’язує собою сонце та приймальний майданчик на землі;

$E_{\text{диф}}(t)$  – дифузне сонячне випромінювання, що реалізується за рахунок спрямованого сонячного випромінювання, розсіяного в атмосфері землі хмарами, аерозолями, пилом тощо;

$E_{\text{від}}(t)$  – відбита від поверхні землі частина спрямованого сонячного випромінювання.

Оскільки плоскі сонячні колектори (СК) ССТ приймають лише пряму, а деякі моделі також і дифузну (розсіяну) сонячні радіації, будемо використовувати ці дві складові сонячної радіації в усіх подальших розрахунках [2]. Зауважимо, що значення сонячного випромінювання (сонячної інсоляції), яке надходить на довільно орієнтований СК у конкретний час, конкретному місці, визначається на підставі методики, наведеної у [3], яка повністю відповідає міжнародній практиці [2, 4-7], наприклад, реалізований у програмі *Sunny Design*.

Необхідно пам’ятати, що на сьогодні сонячна енергія широко використовується у багатьох країнах світу для виробництва теплової енергії, частіше всього – у вигляді гарячої води. Комплект ССТ (геліосистеми) включає такі складові: СК, бак-акумулятор, насосна група, контролер, розширювальний бак і теплоносій. У подальшому будемо розглядати плоскі СК, особливістю яких є те, що вони перетворюють у теплоту як пряме, так і розсіяне випромінювання. Областю їх застосування є нагрівання води для побутових та інших цілей, де достатня температура на рівні 60 °С, а саме – для гарячого водопостачання [2, 8–10]. Традиційні прості плоскі СК були спроектовані для застосування у регіонах із теплим сонячним кліматом. Вони різко втрачають в ефективності у несприятливі дні – у холодну, хмарну та вітряну погоду [8, 10].

Потужність на виході ССТ [2, 8–11]

$$Q_{\text{ССТ}} = Q_{\text{СК}} k_{\text{т.б}} k_{\text{в.б}} \eta_{\text{н}} = Q_{\text{СК}} k_{\text{т.б}} k_{\text{в.б}} \eta_{\text{Г}} \eta_{\text{о}} \eta_{\text{м}},$$

де  $Q_{\text{ССТ}}$  – тепла енергія на виході зі ССТ отримана за одиницю часу, Вт/год;

$Q_{\text{СК}}$  – корисна енергія, яка відводиться з СК за одиницю часу, Вт/год;

$k_{\text{р.б}}$  – коефіцієнт, що враховує продуктивність ССТ, який залежить від розміщення баку: горизонтальне/вертикальне положення, в.о. (за наявності горизонтального бака продуктивність системи знижується на 10–20 % [11]);

$k_{\text{т.б}}$  – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти у баку, які залежать від безлічі факторів: температури оточуючого повітря, наявності вітру, пори року та т.д., і складають близько 0,5–1 °С на годину протягом ночі [11];

$\eta_{\text{н}}$  – повний ККД насосу, в.о., складає 0,68–0,91;

$\eta_{\text{Г}}$  – гідравлічний ККД, який враховує втрати енергії на подолання гідравлічного опору при русі рідини від входу насоса до виходу із нього, в.о., складає 0,8–0,95 [12];

$\eta_{\text{о}}$  – об’ємний ККД, який враховує втрати енергії при циркуляції рідини скрізь щілинні зазори між робочим колесом і корпусом насоса – від нагнітальної частини до всмоктувальної, в.о., складає 0,9–0,98 [12];

$\eta_{\text{м}}$  – механічний ККД, який визначає втрати енергії внаслідок тертя у підшипниках, сальниках та між поверхнею робочого колеса й самою рідиною, в.о., складає 0,95–0,98 [12].

Розрахунок корисної енергії, яка відводиться з СК за одиницю часу  $Q_{\text{СК}}$  починають із визначення площі поверхні СК. Розмір СК залежить від добової потреби у гарячій воді. Розмір береться з паспортних даних СК або розраховується за співвідношенням [5]

$$A_{\text{СК}} = \frac{0,287 a C_{\text{в}} (t_{\text{Г}} - t_{\text{Х}})}{\eta E_{\text{пox}}},$$

де  $A_{\text{СК}}$  – розрахункова площа поверхні СК, м<sup>2</sup>;

$a$  – годинна витрата гарячої води, кг/год;

$C_{\text{в}}$  – питома ізобарна теплоємність води,  $C_{\text{в}} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , або  $C_{\text{в}} = 1 \text{ ккал}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{Г}}$  – температура гарячої води, за відсутності даних приймається  $t_{\text{Г}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$  [5, 13];

$t_{\text{Х}}$  – температура холодної (водопровідної) води, за відсутності даних приймається  $t_{\text{Х}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  у літній період та  $t_{\text{Х}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  в опалювальний період [5, 13];

$\eta$  – ККД устави сонячного теплопостачання, в.о.;

$E_{\text{пox}}$  – інтенсивність сумарної сонячної радіації на похилу поверхню, Вт/м<sup>2</sup>.

ККД устави сонячного теплопостачання [5]

$$\eta = 0,8 \left\{ \theta - \frac{8\xi[0,5(t_1 + t_2) - t_{0,\text{п}}]}{E_{\text{пox}}} \right\},$$

де  $\theta$  – приведена оптична характеристика СК прямої радіації, за відсутності даних приймається рівною для СК із одним шаром скла  $\theta = 0,73$ , для двох шарів –  $\theta = 0,63$  [5];

$\xi$  – приведений коефіцієнт теплових втрат СК, при відсутності даних приймається рівним для СК із одним шаром скла  $\xi = 8$  Вт/м<sup>2</sup>·°C, для двох шарів –  $\xi = 5$  Вт/м<sup>2</sup>·°C [5];

$t_1$  – температура води на вході до СК, °C, для дво- та триконтурних установок можна приймати  $t_1 = t_x + 5$  [5];

$t_2$  – температура води на виході з СК, °C, для дво- та триконтурних установок можна приймати  $t_2 = t_r$  [5];

$t_{0,\text{п}}$  – середнє значення температури оточуючого повітря, °C.

Теплова потужність плоского СК на виході – це різниця кількості сонячної енергії, яку поглинає пластина СК, та кількості енергії, яка втрачається у навколишньому середовищі [2, 4, 13, 14]

$$Q_{\text{СК}} = A_{\text{СК}} F_R [E_{\text{пox}} (\tau\alpha) - K_{\text{втр}} (t_1 - t_{0,\text{п}})] = a C_{\text{в}} (t_2 - t_1),$$

де  $F_R$  – коефіцієнт відводу теплоти з СК, в.о., значення якого залежить від типу СК [15];

$\tau$  – пропускна здатність прозорого покриття по відношенню до сонячного випромінювання, в.о., значення якого залежить від типу СК [15];

$\alpha$  – поглинальна здатність пластини СК по відношенню до сонячного випромінювання, в.о., значення якого залежить від типу СК [15];

$K_{\text{втр}}$  – повний коефіцієнт теплових втрат СК, Вт/м<sup>2</sup>·°C, значення якого залежить від типу СК [15].

Оцінювання режиму роботи СК може здійснюватися на підставі характерного графіка добової зміни температури навколишнього повітря для певного сезону року, виміряного у фактичному або передбачуваному місці розташування СК. Необхідно зазначити, що навіть за наявності можливості отримання достатнього обсягу статистичних даних, враховуючи добову та сезонну нестационарність реальних графіків зміни температури оточуючого повітря, є більш обґрунтованим при формуванні відповідних типових графіків орієнтуватися не на точкові (детерміновані), а на інтервальні оцінки ординат, формуючи їх за допомогою врахування довірчих інтервалів відповідних статистичних характеристик. Застосовані процедури у більшості випадків дають можливість аргументовано знизити рівень невизначеності сформованих добових інтервальних типових графіків зміни температури навколишнього повітря. Отже, оцінку температури для кожного періоду часу  $t$  отримуємо в інтервальному вигляді  $[\underline{t}_{0,\text{п}}, \bar{t}_{0,\text{п}}]$ .

Маючи інтервальну оцінку температури навколишнього повітря  $[\underline{t}_{0,\text{п}}, \bar{t}_{0,\text{п}}]$ , отриману на підставі відповідного типового графіка, визначаємо інтервальну оцінку теплової потужності СК на виході

$$[Q_{\text{СК}_t}, \bar{Q}_{\text{СК}_t}] = A_{\text{СК}} [F_R (\tau\alpha)_n E_{\text{пox}} - F_R K_{\text{втр}} (t_1 - [\underline{t}_{0,\text{п}}, \bar{t}_{0,\text{п}}])].$$

Подальші розрахунки залежать від характеру існуючої початкової інформації відносно ССТ: параметри плоского колектора, діапазон робочих температур, кількість прозорих покриттів і властивість поглинальної поверхні пластини (пофарбована вона чорною матовою фарбою чи має селективне покриття).

Очевидно, що, як було показано вище, такі показники, як коефіцієнт, що враховує продуктивність ССТ і втрати теплоти у баку, а також значення ККД, які беруть участь у розрахунках, також є невизначеними величинами. У цьому випадку зазначені характеристики задаються у вигляді нечітких чисел із трикутними ФН (рис. 1).

Тоді потужність на виході ССТ для окремих періодів часу  $t$  можна оцінити таким чином:

$$\tilde{Q}_{\text{CCT}_t} = [\underline{Q}_{\text{CK}_t}, \bar{Q}_{\text{CK}_t}] \tilde{k}_{\text{p.б}} \tilde{k}_{\text{т.б}} \tilde{\eta}_{\text{H}} = A_{\text{CK}} [F_R(\tau\alpha)_n E_{\text{пох}} - F_R K_{\text{втр}}(t_1 - [t_{\text{о.п.}}, \bar{t}_{\text{о.п.}}])] \tilde{k}_{\text{p.б}} \tilde{k}_{\text{т.б}} \tilde{\eta}_{\text{H}}.$$

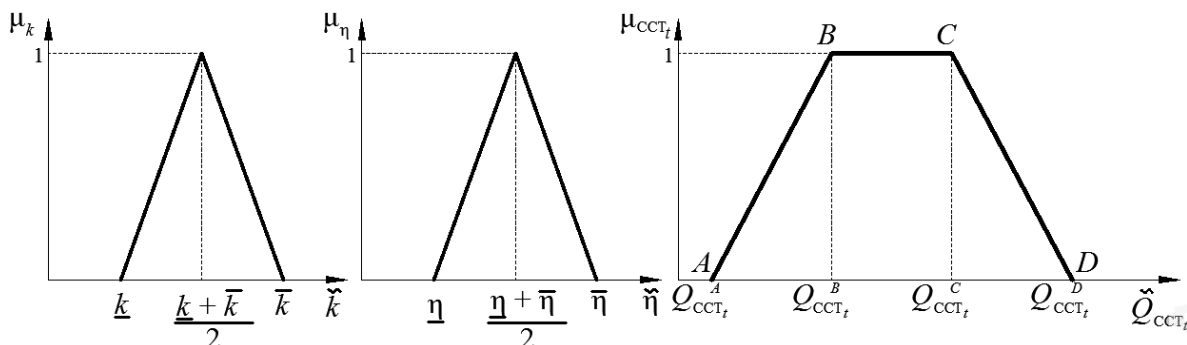


Рисунок 1 – Нечіткі оцінки відповідних коефіцієнтів і ККД, вихідної потужності ССТ

Враховуючи правила виконання операцій із нечіткими числами [16], результуюча величина буде представлена нечітким числом ( $\tilde{Q}_{\text{CCT}_t}$ ) із трапецієвидною ФН (рис. 1).

При цьому характерні точки ФН ( $A, B, C, D$ ) визначаються таким чином

$$Q_{\text{CCT}_t}^A = A_{\text{CK}} [F_R(\tau\alpha)_n E_{\text{пох}} - F_R K_{\text{втр}}(t_1 - t_{\text{о.п.}})] \underline{k}_{\text{p.б}} \underline{k}_{\text{т.б}} \underline{\eta}_{\text{H}},$$

$$Q_{\text{CCT}_t}^B = A_{\text{CK}} [F_R(\tau\alpha)_n E_{\text{пох}} - F_R K_{\text{втр}}(t_1 - t_{\text{о.п.}})] \frac{\underline{k}_{\text{p.б}} + \bar{k}_{\text{p.б}}}{2} \frac{\underline{k}_{\text{т.б}} + \bar{k}_{\text{т.б}}}{2} \frac{\underline{\eta}_{\text{H}} + \bar{\eta}_{\text{H}}}{2},$$

$$Q_{\text{CCT}_t}^C = A_{\text{CK}} [F_R(\tau\alpha)_n E_{\text{пох}} - F_R K_{\text{втр}}(t_1 - \bar{t}_{\text{о.п.}})] \frac{\underline{k}_{\text{p.б}} + \bar{k}_{\text{p.б}}}{2} \frac{\underline{k}_{\text{т.б}} + \bar{k}_{\text{т.б}}}{2} \frac{\underline{\eta}_{\text{H}} + \bar{\eta}_{\text{H}}}{2},$$

$$Q_{\text{CCT}_t}^D = A_{\text{CK}} [F_R(\tau\alpha)_n E_{\text{пох}} - F_R K_{\text{втр}}(t_1 - \bar{t}_{\text{о.п.}})] \bar{k}_{\text{p.б}} \bar{k}_{\text{т.б}} \bar{\eta}_{\text{H}}.$$

На рис. 2 представлено модель для ілюстрації розрахунку вихідних параметрів ССТ, який було розглянуто вище. У розрахунку враховується наявність різноманітних паспортних даних, типових і технічних характеристик обладнання, гідрометеорологічних, географічних та інших факторів. У наведеній моделі передбачено різні форми (представлення) завдання початкових даних із точки зору представлення рівня невизначеності (детерміновані, інтервальні та нечіткі оцінки, включаючи їх детермінований аналог) і. Результатом є оцінка вихідної потужності джерела генерації енергії, що відрізняється рівнем невизначеності й орієнтована на розв'язання різних типів технологічних задач. Наведену модель побудовано на підставі поєднання діючих вітчизняних і міжнародних нормативних документів, урахування особливостей фізичних процесів, що мають місце при перетворенні енергії та фактору невизначеності принципів технічних характеристик обладнання, метеорологічних і гідрологічних факторів, для об'єктивного аналізу та прийняття адекватних рішень при формуванні інтегрованих енергопостачальних систем.

**Висновки.** Запропонована методика дає можливість найбільш раціональним чином використати всю наявну відповідну початкову інформацію відносно характеристик ССТ та конкретних умов їх використання, з метою оцінки їх вихідної потужності для окремих періодів часу. Можливість безпосереднього врахування реальної невизначеності основних показників, що визначають вихідну потужність ССТ, дає можливість забезпечити достатню коректність і адекватність оцінок, що визначаються. Одночасно наведена модель не враховує деякі фактори, наприклад, вплив температури СК на їх ККД. Це пов'язано з тим, що по-перше, для врахування таких факторів необхідна додаткова інформація, яку не завжди можливо отримати в умовах експлуатації станції, а по-друге, відсутні переконливі дослідження відносно ступеня впливу зазначених факторів на вихідну потужність ССТ. Тому у процесі практичного застосування запропонованої математичної моделі вона може коригуватися та доповнюватися додатковими розрахунками, якщо буде доведено таку доцільність.

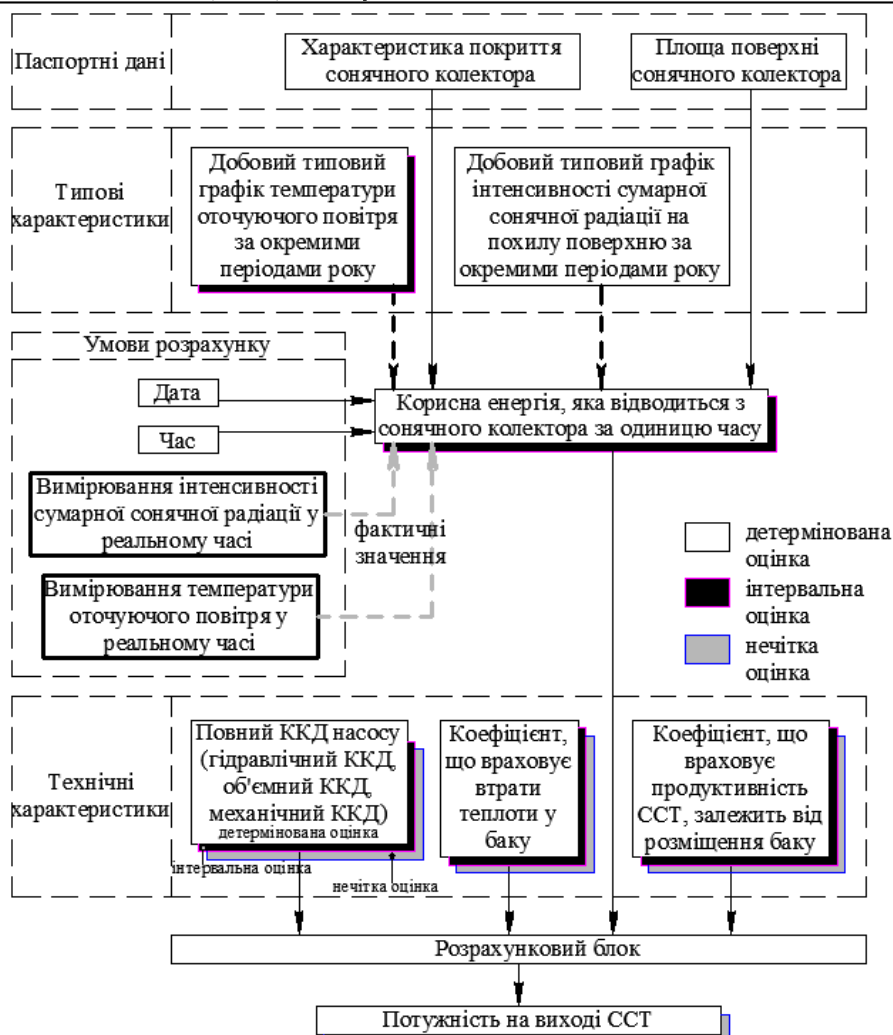


Рисунок 2 – Структурна схема визначення вихідної потужності ССТ

### Перелік літератури

1. Солнечная энергетика [Текст] : науч. пособ. для ВУЗов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин ; под ред. В.И. Виссарионова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.
2. Харченко, М.В. Индивидуальные солнечные системы [Текст] / М.В. Харченко. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
3. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Модель визначення вихідної потужності сонячної електростанції з урахуванням метеорологічних і географічних факторів» / А.Ф. Жаркін, В.А. Попов, О.С. Ярмолук. – № 52666 ; заявл. 21.10.2013 ; зареєстр. 19.12.2013.
4. Кривцов, В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика [Текст] / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2005. – 600 с.
5. Дудюк Д.Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі [Текст] : навч. посіб. / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин. – Львів : Магнолія 2006, 2008. – 188 с.
6. Nemes C. Potential solar irradiance assessment based on a digital elevation model [Text] / C. Nemes, F. Munteanu // Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2011. – V. 11. – № 4. – P. 89–92.
7. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии [Текст] / Д. Мак-Вейг. – М. : Энергоиздат, 1981. – 218 с.
8. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії [Текст] : навч. посіб. / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен [та ін.] ; за заг. ред. О.І. Солов'я. – Черкаси : ЧДТУ, 2007. – 484 с.
9. McVeigh J.C. Low-cost solar water heater [Text] / J.C. McVeigh. – Proc. Conf. on Appropriate Technology, University of Newcastle-upon-Tyne, 1976.
10. Бекман У. Расчет систем солнечного теплоснабжения [Текст] / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи ; пер. с англ. – М. : Энергоиздат, 1982. – 80 с.
11. Солнечная энергия : Солнечные коллекторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html>.

12. Спеціальне водопостачання [Текст] : навч. посіб. для ВНЗів / О.А. Петухова, І.А. Антіпов, М.М. Кулешов, А.М. Чернуха. – Х. : Університет цивільного захисту України, 2007. – 100 с.
13. Компанія виробництва сонячних та кваліфікаційної консультації «Solbat» : Додаткове обладнання. Акумулятори [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.solbat.su/dopobr/batteries/>.
14. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений [Текст]. – СПб. : Государственный гидрологический институт, 2005. – 46 с.
15. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии [Текст] / Дж. Твайделл, А. Уэйр ; пер. с англ., под ред. В.А. Коробкова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
16. Мушик Э. Методы принятия технических решений [Текст] / Э. Мушик, П. Мюллер. – М. : Мир, 1990. – 206 с.

**V. Popov, O. Yarmoliuk**

**Power Supply Department of National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»  
EVALUATION OF METEOROLOGICAL AND GEOGRAPHICAL FACTORS IN ASSESSING  
MODES OF SOLAR HEATING SYSTEMS**

*Algorithms assessment estimates the power output of solar heating systems with uncertainty a number of hardware specifications, meteorological, geographic, and other factors based on the elements of the mathematical apparatus of fuzzy sets. It was found that when evaluating modes of the solar heating system are fully taken account, national and international operating regulations, especially the physical processes that occur when converting energy under sunlight into thermal energy. Improved method for determining the amounts of heat, which can be obtained with the use of solar heating systems in certain periods of the day are typical, given the uncertainty associated with the complexity of predicting ambient air temperature and cloudy sky. The paper presents a block diagram of the definition of output, taking into account the existence of different passport data, model, technical, and other factors.*

**Keywords:** insufficient and unreliable information, solar radiation, meteorological factors, solar collector.

**References**

1. Solar power [Text] / V.Y. Vyssaryonov, H.V. Deriuhyna, V.A. Kuznetsova, N.K. Malynyn ; ed. V.Y. Vyssaryonov. – М. : Yzdatelskyi dom MEI. – 2008. – 317 p.
2. Kharchenko M.V. Individual solar systems [Text] / M.V. Kharchenko. – М. : Enerhoatomyzdat, 1991. – 208 p.
3. The certificate of registration of copyright «Model definition output solar power based meteorological and geographic factors» / A.F. Zharkin, V.A. Popov, O.S. Yarmoliuk. – № 52666 ; claimed 21.10.2013 ; registered 19.12.2013.
4. Kryvtsov V.S. Inexhaustible energy. Bk. 3. Alternative Energy [Text] / V.S. Kryvtsov, A.M. Oleinykov, A.Y. Yakovlev. – Kh. : Nats. aerokosm, un-t «KhAY», 2005. – 600 p.
5. Dudiuk D.L. Alternative energy: basic theory and problems [Text] / D.L. Dudiuk, S.S. Mazepa, Ya.M. Hnatyshyn. – Lviv : Mahnoliia 2006, 2008. – 188 p.
6. Nemes C. Potential solar irradiance assessment based on a digital elevation model [Text] / C. Nemes, F. Munteanu // Advances in Electrical and Computer Engineering. – 2011. – V. 11. – № 4. – P. 89–92.
7. Mak-Veih D. The use of solar energy [Text] / D. Mak-Veih. – М. : Enerhoatzdat, 1981. – 218 p.
8. Alternative and renewable energy sources [Text] / O.I. Solovei, Yu.H. Leha, V.P. Rozen [and others] ; ed. O.I. Solovei. – Cherkasy : ChDTU, 2007. – 484 p.
9. McVeigh J.C. Low-cost solar water heater [Text] / J.C. McVeigh. – Proc. Conf. on Appropriate Technology, University of Newcastle-upon-Tyne, 1976.
10. Bekman U. Calculation of solar heating [Text] / U. Bekman, S. Klein, Dzh. Daffy ; Eng. transl. – М. : Enerhoatzdat, 1982. – 80 p.
11. Solar energy: solar collectors [the electronic resource]. – Access mode : <http://rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html>.
12. Special water supply [Text] / О.А. Петухова, І.А. Антіпов, М.М. Кулешов, А.М. Чернуха. – Х. : Університет цивільного захисту України, 2007. – 100 p.
13. Company production of solar and professional advice «Solbat» : Additional equipment. Accumulators [the electronic resource]. – Access mode : <http://www.solbat.su/dopobr/batteries/>.
14. Methodic recommendations for determination of estimated hydrological characteristics in the presence of these hydrometric observations [Text]. – СПб. : Gosudarstvennyi hydrolohycheskyi ynstytut, 2005. – 46 p.
15. Tvaiddell Dzh. Renewable energy [Text] / Dzh. Tvaiddell, A. Ueir ; Eng. transl., ed. V.A. Korobkova. – М. : Enerhoatomyzdat, 1990. – 392 p.
16. Mushyk E. Methods of making technical decisions [Text] / E. Mushyk, P. Miuller. – М. : Myr, 1990. – 206 p.

В.А. Попов, д-р техн. наук, доц., Е.С. Ярмолюк, канд. техн. наук, ст. преп.

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ  
ОЦЕНИВАНИИ РЕЖИМОВ РОБОТЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*Разработаны алгоритмы оценок выходной мощности систем солнечного теплоснабжения с учетом неопределенности технических характеристик оборудования, метеорологического, географического и другого ряда факторов на основе использования элементов математического аппарата теории нечетких множеств. Установлено, что при оценке режимов работы системы солнечного теплоснабжения в полной мере учтены отечественные и международные действующие нормативные документы, особенности физических процессов, имеющих место при преобразовании соответственно энергии солнечного излучения в тепловую. Усовершенствована методика определения объемов теплоты, которая может быть получена с помощью систем солнечного теплоснабжения в отдельные характерные периоды суток, учитывая неопределенность, связанную со сложностью прогнозирования температуры окружающего воздуха и облачности неба. В работе предложена структурная схема определения выходной мощности, учитывающая наличие различных паспортных данных, типовых и технических характеристик оборудования и других факторов.*

**Ключевые слова:** недостаточность и недостоверность информации, солнечное излучение, метеорологические факторы, солнечный коллектор.

Надійшла 03.10.2015

Received 03.10.2015

УДК 621.311

М.Й. Бурбело, д-р техн. наук, Л.М. Мельничук, канд. екон. наук  
Вінницький національний технічний університет

**ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛІВ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ  
НАПРУГОЮ 10(6) кВ ЗА ЕКОНОМІЧНІСТЮ**

*В статті проаналізовано можливість вибору кабелів за економічною густиною струму в сучасних економічних умовах. Визначено значення економічної густини струму для кабелів з паперовою ізоляцією та з ізоляцією із зшитого поліетилену. Показано, що застосування критеріїв Вальда, Гурвіца, Лапласа, Севіджа тісно пов'язано з вибором кабелів за економічною густиною струму за різних його значень в діапазоні невизначеності.*

**Ключові слова:** економічна густина струму, зведені річні витрати, економічний переріз.

**Розгляд проблеми і постановка завдання**

Переріз кабелів напругою 6...35 кВ вибирають за економічною густиною струму для нормального режиму роботи

$$s_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}, \tag{1}$$

де  $j_{ек}$  – економічна густина струму.

Задачу визначення економічної густини струму в ЛЕП мережі формулюють у вигляді мінімізації зведених річних витрат

$$З = E(a_0 + a_1 s)l + 3\rho I^2 \frac{l}{s} c_0 \tau \rightarrow \min, \tag{2}$$

де  $E = (E_n + E_a + E_o)$  – сумарний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, який містить номативний, амортизаційний та експлуатаційний складники;  $a_0, a_1$  – коефіцієнти, що характеризують залежності вартості ліній від перерізу.

Знайшовши похідну зведених річних витрат за площею перерізу та прирівнявши її до нуля

$$\frac{\partial З}{\partial s} = E a_1 l - 3\rho I^2 \frac{l}{s^2} c_0 \tau = 0, \tag{3}$$

отримують  $j_{ек}^2 = \frac{E a_1}{3\rho c_0 \tau}$ . Отже, збільшення вартості кабелів приводить до збільшення економічної

густини струму, а збільшення часу максимальних втрат і ціни електроенергії, навпаки, до її зменшення.

Значення економічної густини струму для різних типів кабельних та повітряних ЛЕП в залежності від часу використання максимального навантаження  $T_m$  наведено в ПУЕ [4]. Під час розрахунків економічної густини струму, яка наведена в ПУЕ, було прийнято  $E=0,2$ . Однак оскільки ці значення були отримані в середині минулого століття в інших економічних умовах, то їх застосування у даний час є неприйнятним.

#### Обґрунтування результатів дослідження

За критерій ефективності в сучасних умовах можна вибрати питомі дисконтовані витрати на 1 км лінії електропередачі, які можна записати у такому вигляді

$$B = \frac{B_o + B_{втр}}{d} + K, \quad (4)$$

де  $B_o$  – питомі витрати на технічне обслуговування та ремонт лінії;  $B_{втр}$  – питома вартість втрат електроенергії на лінії;  $K$  – питомі капітальні вкладення на спорудження лінії;  $d$  – норма дисконту, яка залежить від знецінювання коштів, які будуть витрачені в майбутньому на експлуатацію мереж внаслідок інфляції, ступеня ризику інвесторів та рівня ліквідності обладнання.

Складові питомих дисконтованих витрат дорівнюють:

$$B_o = \frac{\alpha_o \%}{100} K; \quad B_{втр} = 3I_m^2 r_0 \tau c_0,$$

де  $\alpha_o$  – коефіцієнт відрхувань на технічне обслуговування та ремонти ліній, %;  $I_m$  – максимальне навантаження лінії електропередачі;  $r_0$  – питомий опір проводів 1 км лінії;  $\tau$  – час максимальних втрат.

Визначимо значення економічної густини струму станом на 2012 рік ( $c_0=1,05$  грн./кВт год). В табл. 1 наведені вартості кабелів ААБ2л та АПвПг.

Таблиця 1 – Вартість кабелів станом на 2012 рік

$s, \text{мм}^2$	3×50	3×70	3×95	3×120	3×150	3×185	3×240
ААБ2л	58818	69088	79583	89598	102968	118356	143864
АПвПг	104304	119351	136545	149028	167013	186467	213386

В табл. 2 та 3 наведені значення питомих дисконтованих витрат, що визначені за  $d=0,2$  відповідно для кабелів ААБ2л та АПвПг.

Таблиця 2 – Питомі дисконтовані витрати для кабелів ААБ2л, тис. грн.

$s, \text{мм}^2$	$\tau=2000$ год для $I, \text{А}$			$\tau=4000$ год для $I, \text{А}$			$\tau=6000$ год для $I, \text{А}$		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
3×50	153,5	-	-	247,8	-	-	342,3	-	-
3×70	136,6	221,0	-	204,1	372,8	-	271,6	524,7	-
3×95	<b>129,3</b>	191,5	278,5	179,1	303,4	477,5	228,8	415,3	676,4
3×120	<b>129,0</b>	178,2	247,1	168,3	266,8	404,6	207,7	355,4	562,1
3×150	134,5	<b>173,8</b>	229,0	<b>166,0</b>	244,7	355,0	<b>197,5</b>	315,6	481,0
3×185	143,9	175,8	<b>220,5</b>	169,4	233,3	322,7	<b>195,0</b>	290,8	424,8
3×240	163,6	188,2	222,6	183,2	<b>232,5</b>	301,4	202,9	276,8	380,1

Таблиця 3 – Питомі дисконтовані витрати для кабелів АПвПг, тис. грн.

$s, \text{мм}^2$	$\tau=2000$ год для $I, \text{А}$			$\tau=4000$ год для $I, \text{А}$			$\tau=6000$ год для $I, \text{А}$		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
3×50	198,8	-	-	293,3	-	-	387,8	-	-
3×70	<b>181,9</b>	271,2	-	254,3	423,1	-	321,9	575,0	-
3×95	186,3	248,5	335,5	236,0	360,4	534,4	285,8	472,3	733,4
3×120	188,4	<b>237,6</b>	306,5	<b>227,8</b>	326,2	464,0	267,2	414,8	621,5
3×150	198,5	<b>237,9</b>	293,0	<b>230,0</b>	308,8	419,0	<b>261,5</b>	379,6	545,0
3×185	212,0	243,9	<b>288,6</b>	237,5	<b>301,4</b>	390,8	<b>263,1</b>	358,9	493,0
3×240	233,1	257,7	292,1	252,8	<b>302,0</b>	370,9	272,4	346,3	449,6

З таблиць випливає, що в 2012 році економічна густина струму для кабелів з паперовою ізоляцією приблизно становить 1 А/мм<sup>2</sup> для τ=2000 год., 0,65 А/мм<sup>2</sup> – для τ=4000 год., 0,55 А/мм<sup>2</sup> – для τ=6000 год., а для кабелів із зшитого поліетилену – 1,25 А/мм<sup>2</sup> для τ=2000 год., 0,8 А/мм<sup>2</sup> – для τ=4000 год., 0,6 А/мм<sup>2</sup> – для τ=6000 год.

Значно більш складним є завдання вибору економічного перерізу за умов невизначенності струму навантаження або економічних умов. Припустимо, що необхідно вибрати кабель зі зшитого поліетилену у випадку, коли значення струму може змінюватися в діапазоні від 100 до 200 А за τ=2000 год.

За критерієм Вальда визначається найкраще рішення за найгірших умов. Тому цей критерій також називається критерієм гарантованого успіху. Оскільки цей критерій орієнтується на найгірші умови, то його називають також критерієм крайнього песимізму. Критерій Вальда (гарантованого успіху) записують у вигляді

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{y \in Y} B. \quad (5)$$

За критерієм Вальда найкращим є переріз  $x^*=185$  мм<sup>2</sup>, який збігається з кабелем, вибраним за економічною густиною струму для його найбільшого значення.

Критерій Гурвіца (песимізму – оптимізму)

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \left( \alpha \max_{y \in Y} B + (1 - \alpha) \min_{y \in Y} B \right). \quad (6)$$

Цей критерій оперує заданим коефіцієнтом песимізму  $0 < \alpha < 1$ . При  $\alpha < 0,5$  критерій Гурвіца характеризує поміркований оптимізм, а при  $\alpha > 0,5$  – поміркований песимізм.

За критерієм Гурвіца для  $\alpha=0,5$  найкращим є переріз  $x^*=150$  мм<sup>2</sup>, для якого медіана витрат за різних струмів найближча до середнього значення витрат. Якщо  $\alpha < 0,5$ , то оптимальне значення перерізу зменшується, а при  $\alpha > 0,5$  – збільшується.

Критерій Лапласа

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \sum_{i=1}^n B_i p_i, \quad (7)$$

де  $p_i$  – ймовірність появи  $y_i$ , яким відповідають витрати  $B_i$ .

За критерієм Лапласа у разі рівномірного розподілу навантаження найкращими є перерізи  $x^*=120$  та 150 мм<sup>2</sup>, які збігаються з економічною густиною струму для його середнього значення.

Критерій Севіджа (критерій мінімального ризику)

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{y \in Y} (B - \min_{x \in X} B). \quad (8)$$

За критерієм Севіджа визначають ризики  $\Delta B = B - \min_{x \in X} B$  і знаходять  $x^* = \arg \min_{x \in X} \max_{y \in Y} \Delta B$ .

Кращим є переріз  $x^*=150$  мм<sup>2</sup>, який забезпечує найменше збільшення витрат порівняно з тим, якби були вибрані кабелі з економічними перерізами за різних значень струмів.

В табл. 4 та 5 наведені значення питомих дисконтованих витрат, що визначені за  $d=0,15; 0,2$  та  $0,25$  у випадку якщо значення струму дорівнює 100 А відповідно для кабелів ААБ2л та АПвПг.

Зі збільшенням дисконтної ставки за сталої вартості кабелів відбувається незначне збільшення економічної густини струму. Однак збільшення дисконтної ставки поступово приведе до збільшення ціни кабелів, що зменшить значення економічної густини струму.

Водночас, у зв'язку з нестабільністю економіки України на початок 2016 року вартість кабелів зростає порівняно з 2012 роком приблизно в 2,6 рази, а ціна електроенергії – в 1,6 рази, що призводить до збільшення економічної густини струму в 1,6 рази.

Таблиця 4 – Питомі дисконтовані витрати за струму 100 А для кабелів ААБ2л, тис. грн.

s, мм <sup>2</sup>	τ =2000 год для d			τ =4000 год для d			τ =6000 год для d		
	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25
3×50	184,8	153,5	134,4	310,8	247,8	210,0	436,8	342,3	285,6
3×70	159,1	136,6	123,1	249,1	204,1	177,1	339,1	271,6	231,1
3×95	145,9	<b>129,3</b>	<b>119,4</b>	212,2	179,1	159,2	278,5	228,8	199,0
3×120	<b>142,1</b>	<b>129,0</b>	121,1	194,6	168,3	<b>152,6</b>	247,1	207,7	184,1
3×150	145,0	134,5	128,2	<b>187,0</b>	<b>166,0</b>	<b>153,4</b>	229,0	<b>197,5</b>	<b>178,6</b>
3×185	152,4	143,9	138,8	<b>186,5</b>	169,4	159,2	<b>220,5</b>	<b>195,0</b>	<b>179,7</b>
3×240	170,1	163,6	159,6	196,4	183,2	175,4	<b>222,6</b>	202,9	191,1



Таблиця 5 – Питомі дисконтовані витрати за струму 100 А для кабелів АПвПг, тис. грн.

s, мм <sup>2</sup>	τ = 2000 год для d			τ = 4000 год для d			τ = 6000 год для d		
	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25	0,15	0,2	0,25
3×50	230,3	198,8	179,9	356,3	293,3	255,5	482,3	387,8	331,1
3×70	209,4	<b>181,9</b>	<b>173,4</b>	299,4	254,3	227,3	389,3	321,9	281,3
3×95	<b>202,9</b>	186,3	176,3	269,2	236,0	216,1	335,5	285,8	255,9
3×120	<b>201,5</b>	188,4	180,5	254,0	<b>227,8</b>	<b>212,0</b>	306,5	267,2	243,5
3×150	209,0	198,5	192,2	<b>251,0</b>	230,0	217,4	293,0	<b>261,5</b>	<b>242,6</b>
3×185	220,5	212,0	206,9	254,6	237,5	227,3	<b>288,6</b>	<b>263,1</b>	247,8
3×240	239,6	233,1	229,1	265,9	252,8	244,9	292,1	272,4	260,6

Водночас, у зв'язку з нестабільністю економіки України на початок 2016 року вартість кабелів зроста порівняно з 2012 роком приблизно в 2,6 рази, а ціна електроенергії – в 1,6 рази, що призводить до збільшення економічної густини струму в 1,6 рази.

#### Висновки

Економічна густина струму для кабелів з паперовою ізоляцією в сучасних умовах приблизно становить 1 А/мм<sup>2</sup> для τ=2000 год., 0,65 А/мм<sup>2</sup> – для τ=4000 год., 0,55 А/мм<sup>2</sup> – для τ=6000 год. Економічна густина струму для кабелів із зшитого поліетилену приблизно становить 1,25 А/мм<sup>2</sup> для τ=2000 год., 0,8 А/мм<sup>2</sup> – для τ=4000 год., 0,6 А/мм<sup>2</sup> – для τ=6000 год.

У разі вибору перерізу кабелів за критерієм Вальда (крайнього песимізму) найкращим є переріз, вибраний за економічною густиною струму для його найбільшого значення. За критерієм Гурвіца (поміркованого песимізму) для α=0,5 найкращим є переріз, для якого медіана витрат за різних струмів найближча до середнього значення витрат. За критерієм Лапласа у разі рівномірного розподілу навантаження найкращими є перерізи, які збігаються з економічною густиною струму для його середнього значення. За критерієм Севіджа (мінімального ризику) кращим є переріз, який збігається з рішенням за критерієм Гурвіца і забезпечує найменше збільшення витрат у разі різних значень струмів.

#### Список літератури

1. Справочник по проектированию электроснабжения / [под ред. Ю. Г. Барыбина и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / [под ред. А. А. Федорова]. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – Т.1 – 580 с., 1987. – Т.2 – 591 с.
3. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения : учебник для студентов вузов / В. В. Зорин, В. В. Тисленко. – Чернигов : ЧГТУ, 2005. – 341 с.
4. Правила улаштування електроустановок. – Харків : Вид-во «Форт», 2011. – 736 с.

M.J. Burbelo, L.M. Melnychuk

#### SELECT PROFILE CABLE IN DISTRIBUTION NETWORK VOLTAGE 10(6) kV ECONOMY

The article analyzes the choice of cables on economic current density in the current economic conditions. The values of economic current density for paper insulated cables with XLPE insulation. It is shown that the application of the criteria Wald, Hurwitz, Laplace, Savage is closely linked with the choice of cables on economic current density at its various values in the range of uncertainty.

**Keywords:** economic current density, annual adjusted costs, economic profile.

#### References

1. Barybin Y. (1990), Guide to the design of power supply, Energoatomizdat, Moscow, Russia.
2. Fedorov A. (1986, 1987) Handbook of electricity and electrical equipment, Energoatomizdat, Moscow, Russia.
3. Zorin V., Tislenko V. (2005) Power supply systems, general purpose, Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine.
4. Rules for Electrical Installation (2011), Fort, Kharkiv, Ukraine.

М. И. Бурбело, д-р техн. наук, Л. М. Мельничук, канд. екон. наук

Винницький національний технічний університет

#### ВЫБОР СЕЧЕНИЯ КАБЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 (6) кВ ПО ЭКОНОМИЧНОСТИ

В статье проанализирована возможность выбора кабелей по экономической плотности тока в современных экономических условиях. Определены значения экономической плотности тока кабелей с бумажной изоляцией и с изоляцией из зшитого полиэтилена. Показано, что применение критериев Вальда, Гурвица, Лапласа, Севиджа тесно связано с выбором кабелей по экономической плотности тока при различных его значениях в диапазоне неопределенности.

**Ключевые слова:** экономическая плотность тока, годовые приведенные затраты, экономическое сечение.

Надійшла 15.01.2016

Received 15.01.2016

## РОЗРАХУНОК ГЕОЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ПРИ ГЕОМАГНІТНИХ ЗБУРЕННЯХ

В роботі представлено метод розрахунку геоелектричного поля за однорідною моделлю структури Землі для визначення поверхневої напруги між заземленими нейтралами трансформаторів магістральної лінії електропередавання. Виконано розрахунок геоелектричного поля, з використанням апарату прямого і зворотного перетворення Фур'є та визначенням поверхневого опору Землі як функції від частоти коливання магнітного поля при геомагнітних збуреннях навколосемного простору.

**Ключові слова:** геомагнітні індукційні струми, геоелектричне поле, перетворення Фур'є

### Вступ

Турбулентність іоносферних струмів, викликана потоками заряджених частинок, що прямують від Сонця, призводить до збурення геомагнітного поля Землі. Геомагнітне поле, відповідно до закону Фарадея, призводить до наведення електричного поля на поверхні регіонів, над якими відбувається флуктуація магнітосфери. Поверхневий потенціал, що має місце в точках заземлення нейтралей трансформаторів магістральних ліній електропередавання викликає протікання геомагнітних індукційних струмів в колі: фазні проводи ліній електропередач, обмотки трансформаторів та провідники заземлених нейтралей.

### Мета та завдання

Оскільки діапазон частот ГІС (геомагнітних індукційних струмів) знаходиться в межах 0,001 – 1 Гц, коливання магнітного поля можуть проникати на сотні кілометрів у глиб поверхні Землі. Тому при розрахунках геоелектричного поля і струмів ГІС, необхідно враховувати як провідності Земної кори, так і її мантиї. Враховуючи при цьому те, що поверхневий опір є функцією від частоти.

### Результати дослідження

Для визначення поверхневої напруги між двома точками заземлених нейтралей магістральних ліній електропередавання необхідно визначити вектор геоелектричного поля в кожній точці проходження лінії електропередач і розрахувати криволінійний інтеграл для цих векторів по кривій проходження траси лінії. Оскільки визначення вектора геоелектричного поля пов'язане з достовірністю даних про зміну вектора магнітної індукції магнітного поля Землі, який для території України відомий лише в регіоні міст Києва та Львова, тому для спрощення розрахунку маючи індукцію магнітного поля в певній точці, розраховуємо вектор геоелектричного поля і приймаємо його однорідним по всій трасі проходження лінії електропередач. В цьому випадку напруга між двома точками заземлених нейтралей визначається за формулою:

$$U_{12} = \oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = |\mathbf{E}| \cdot |\mathbf{r}_{12}| \cdot \cos\alpha, \quad (1)$$

де  $\mathbf{E}$  - вектор геоелектричного поля;  $L$  - шлях проходження лінії електропередавання;  $\mathbf{r}_{12}$  - радіус вектор, що сполучає дві точки заземлення нейтралей земної поверхні;  $\alpha$  - кут, що утворюється між векторами  $\mathbf{E}$  та  $\mathbf{r}_{12}$ .

Залежність геоелектричного поля від геомагнітного в прийнятій точці та повного поверхневого опору описується виразами:

$$E_x(\omega) = Z(\omega)H_y(\omega) \quad (2)$$

$$E_y(\omega) = -Z(\omega)H_x(\omega), \quad (3)$$

де  $E_x(\omega)$  - складова геоелектричного поля, яка направлена на північ (В/м);  $E_y(\omega)$  - складова геоелектричного поля, яка направлена на схід (В/м);  $H_x(\omega)$  - складова напруженості геомагнітного поля, яка направлена на північ (А/м);  $H_y(\omega)$  - складова напруженості геомагнітного поля, яка направлена на схід (А/м);  $Z(\omega)$  - повний поверхневий опір (Ом).

Зв'язок між напруженістю магнітного поля  $H(\omega)$  та магнітною індукцією  $B(\omega)$  можна записати у вигляді:

$$H(\omega) = -\frac{B(\omega)}{\mu_0}, \quad (4)$$

де  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнітна проникність повітряного простору.

Поверхневий повний опір  $Z(\omega)$  залежить від структури Землі. Для обчислення повного поверхневого опору була використана одновимірна модель з однорідною структурою в поперечному напрямку [1]. Модель не враховує поперечні зміни провідності, але забезпечує прийнятні наближення при розрахунку поверхневого опору. До розрахунку вектора однорідного геоелектричного поля були взяті дані зміни провідностей прошарків Землі в залежності від глибини у квадранті прийнятої точки для території на якій знаходиться місто Львів (модель 42) [2].

Кожен прошарок Землі характеризується власним коефіцієнтом розповсюдження хвилі:

$$k_n = \sqrt{j\omega\mu_0\sigma_n}, \quad (5)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість, (рад/с);  $\mu_0$  – магнітна проникність повітряного простору;  $\sigma_n$  – провідність шару  $n$ , 1/(Ом м);  $j$  – уявна одиниця.

Для нижнього шару приймаємо, що відбиття хвилі відсутнє і поверхневий опір шару розраховується за виразом:

$$Z_n = \frac{j\omega\mu_0}{k_n}. \quad (6)$$

Для розрахунку поверхневого опору шару вище, визначаємо коефіцієнт відбиття хвилі від шару нижче:

$$r_n = \frac{1 - k_n \frac{Z_{n+1}}{j \cdot \omega \cdot \mu_0}}{1 + k_n \frac{Z_{n+1}}{j \cdot \omega \cdot \mu_0}}. \quad (7)$$

Тоді повний поверхневий опір для шару, що знаходиться вище, розраховується за формулою:

$$Z_n = j\omega\mu_0 \left( \frac{1 - r_n \cdot e^{-2k_n d_n}}{k_n (1 + r_n \cdot e^{-2k_n d_n})} \right). \quad (8)$$

Ці кроки повторюються для кожного з шарів у напрямку до поверхні Землі. До розрахунку беремо тільки повний поверхневий опір верхнього шару ( $Z_1$ ), в якому вже враховано коефіцієнти відбиття шарів, що розміщені нижче.

Послідовність розрахунку геоелектричного поля приведена на рис. 1.

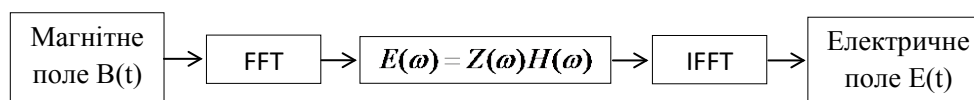


Рисунок 1 – Послідовність розрахунку геоелектричного поля

Дані щодо зміни індукції магнітного поля від часу  $B(t)$  були взяті із сайту Intermagnet (International Real-time Magnetic Observatory Network) для Львівської обсерваторії за 06.06.2015р.

Застосовуючи до компонент коливань індукції магнітного поля Землі виду  $B_x(t)$  та  $B_y(t)$  швидке перетворення Фур'є (FFT) отримуємо частотний спектр зміни індукції магнітного поля для  $B_x(\omega)$ ,  $B_y(\omega)$ . Коефіцієнти розповсюдження та відповідні повні поверхневі опори є функціями від частоти, тому послідовність подібних розрахунків слід повторювати для кожної частоти.

За формулами (2) та (3) знаходимо значення напруженості геоелектричного поля  $E(\omega)$ . Застосування зворотного швидкого перетворення Фур'є (IFFT) до значень компонент геоелектричного поля  $E_x(\omega)$  і  $E_y(\omega)$  дозволить отримати криві коливань напруженості геоелектричного поля від часу  $E_x(t)$  та  $E_y(t)$ , які показані на рис.2 і рис 3.

За умови прийняття геоелектричного поля однорідним коливання магнітного поля можна вважати однаковими в кожній точці поверхні при незмінній величині повного поверхневого опору.

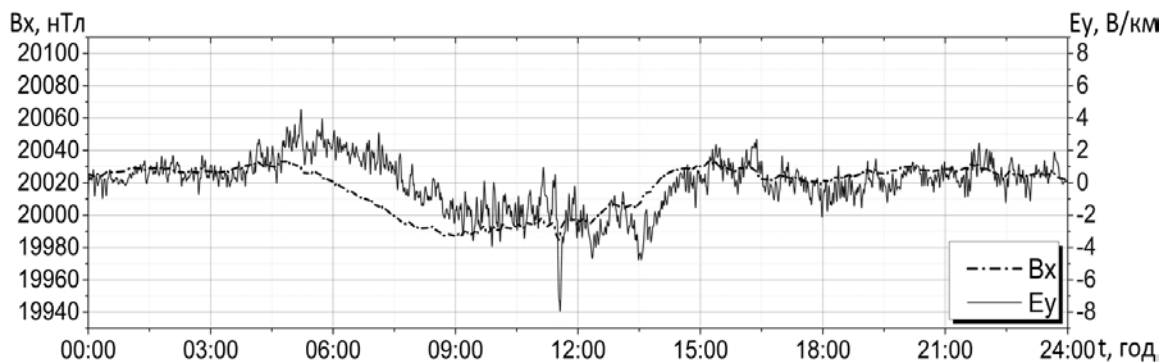


Рисунок 2 – Залежність зміни компонент вектора магнітної індукції геомагнітного ( $B_x$ ) та геоелектричного ( $E_y$ ) полів від часу

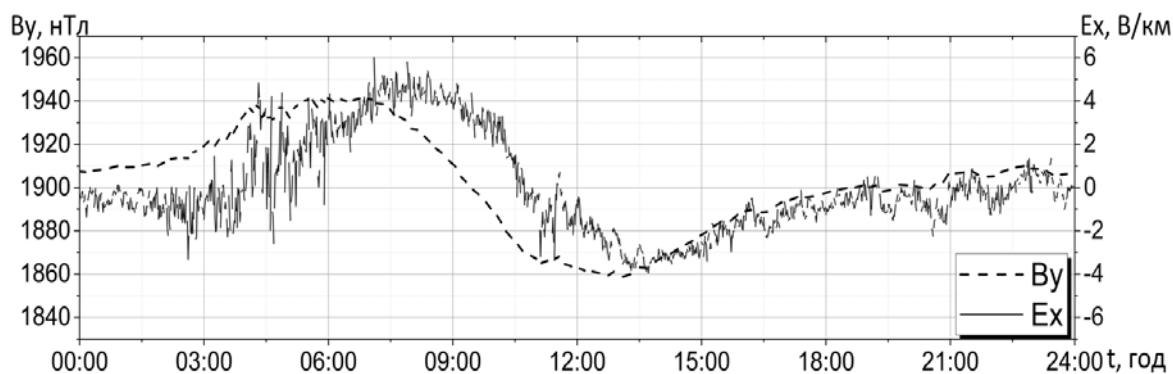


Рисунок 3 – Залежність зміни компонент вектора магнітної індукції геомагнітного ( $B_y$ ) та геоелектричного ( $E_x$ ) полів від часу

**Висновки.** Зважаючи на невизначеність даних щодо коливань магнітного поля в кожній точці проходження лінії електропередавання, при розрахунках геомагнітних індукційних струмів геоелектричне поле в прийнятному наближенні можна вважати однорідним і розраховувати за даними коливань магнітного поля в одній точці Земної поверхні. Згідно результатів розрахунків, для прийнятих вхідних даних, можна стверджувати, що компонента напруженості геоелектричного поля, спрямована на схід, досягає максимального значення 8 В/км, а компонента, спрямована на північ, досягає максимального значення 6 В/км. Отримані максимальні значення компонент напруженості геоелектричного поля мають місце в різні моменти часу, однак кожна з компонент може створити значні струми ГІС в мережі. Оскільки лінії 750 кВ України характеризуються значною протяжністю та порівняно невеликим опором електричного кола для квазіпостійних струмів ГІС, останні можуть сягати сотень ампер та створювати аварійні ситуації в системі.

Представлений метод розрахунку геоелектричного поля за однорідною моделлю структури Землі дозволяє в певному наближенні визначити максимальні значення поверхневої напруги між заземленими нейтраліями трансформаторів магістральної лінії електропередавання та на їх основі виконати розрахунок можливих максимальних значень геомагнітних індукційних струмів в періоди геомагнітних збурень навколосезонного простору.

#### Список літератури

1. DRAFT Application Guide for Computing GIC in the Bulk Power System // NERC. – 2013. – с. 39.
2. A. Ádám, E. Prácsér, V. Wetztergom. Estimation of the electric resistivity distribution (EURHOM) in the European lithosphere in the frame of the EURISGIC WP2 project // Acta Geodaetica et Geophysica. – 2012. – Vol.47, Issue 4. – С. 377-387.

V.V. Kyryk, R.V. Nahorni

#### National Technical University of Ukraine « Kyiv Polytechnic Institute » GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENTS CALCULATION DURING GEOMAGNETIC DISTURBANCES

*A new method is presented to calculate geo-electric field using uniform Earth structure model for defining surface potential between grounded neutral of grid power transformers. It was calculated geo-electric field*

*applying direct and inverse Fourier transform and calculated a surface impedance as a function of frequency of magnetic field oscillation during near-Earth space geomagnetic disturbances.*

**Key words:** geomagnetically induced currents, geoelectric field, Fourier transform

#### References

1. DRAFT Application Guide for Computing GIC in the Bulk Power System // NERC. – 2013. – с. 39.
2. A. Ádám, E. Prácsér, V. Wesztergom. Estimation of the electric resistivity distribution (EURHOM) in the European lithosphere in the frame of the EURISGIC WP2 project // Acta Geodaetica et Geophysica. – 2012. – Vol.47, Issue 4. – С. 377-387.

УДК 621.314.223

**В.В. Кирик**, д-р тех. наук, професор, **Р.В. Нагорный**, аспірант

#### **Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» РАСЧЕТ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ**

*В работе представлен метод расчета геоэлектрического поля на основании однородной модели структуры Земли для определения поверхностного напряжения между заземленными нейтральными трансформаторов магистральных линий электропередач. Выполнен расчет геоэлектрического поля с использованием аппарата прямого и обратного преобразования Фурье и определения поверхностного сопротивления Земли как функции от частоты колебания магнитного поля при геомагнитных возмущениях околоземного пространства.*

**Ключевые слова:** геомагнитный индуцированный ток, геоэлектрическое поле, преобразование Фурье.

Надійшла 07.12.2015

Received 07.12.2015

УДК 502/504:620.92

**В.П. Кравченко**, д-р техн. наук, професор, **Є.В. Кравченко**, **І.В. Бондар**  
Одеський національний політехнічний університет

#### **ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ІНСОЛЯЦІЇ В РАЙОНІ М. ОДЕСИ**

*Використання сонячних установок (СУ) знижує споживання органічного палива і, відповідно, антропогенне навантаження на довкілля. Основним параметром при проектуванні СУ є величина інсоляції. В роботі за вимірами метеостанції уточнено середньомісячну та середньорічну інсоляцію в м. Одесі. Проведено співставлення отриманих величин з літературними даними. Проведено розрахунок приведених витрат при використанні сонячної установки чи котла на природному газі для гарячого водопостачання. Показано, що з урахуванням податків за викиди шкідливих речовин приведені витрати для сонячної установки на 31 % більші.*

**Ключові слова:** інсоляція, сонячні установки, приведені витрати.

#### **Вступ**

Одним із перспективних напрямів відновлювальних джерел енергії, що в останні роки дуже активно впроваджуються в світову промисловість і побут, є сонячна енергетика. Розробки і промислова продукція в цій області на сьогодні дуже активно розвиваються в таких країнах як Німеччина, США, Великобританія, Японія, Корея та Китай і становлять вагомий відсоток енергетичного виробітку в світі [1, 2]. Використання сонячних установок на півдні України є одним з перспективних вже сьогодні методів видобутку електроенергії і тепла, які на відміну від традиційних методів (спалювання вуглеводнів, застосування атомної енергії та ін.), не сильно поширені, але становлять інтерес через свою екологічність та відновлюваність [3]. Впровадження та екологічне обґрунтування сонячних установок (СУ) вимагає знання інсоляції в регіоні. За спостереженнями за кліматом, впливає, що клімат змінюється в бік збільшення температури [4], отже використання СУ буде більш виправдано. Тому була поставлена задача уточнити середньомісячні та середньорічні значення енергії, отриманої від сонця.

© В.П. Кравченко, Є.В. Кравченко, І.В. Бондар, 2016

Інсоляція змінюється в залежності від координат місцевості. При проектуванні СУ кількість сонячної енергії, яка надходить до неї, має велике значення. Точне значення сонячної інсоляції має використовуватися також у техніко-економічному розрахунку, що є обґрунтуванням доцільності її впровадження.

Визначенням та уточненням значення інсоляції займаються в багатьох країнах. Так робота [5] присвячена досліджуванню інсоляції в Ірані. В результаті аналізу за значенням річної інсоляції Іран був поділений на п'ять районів. Але відсутній аналіз використання СУ для умов цієї країни. В [6] наводяться дані щодо прямої та розсіяної складових інсоляції, але лише для теплої половини року, що не дає змогу розрахувати річну кількість інсоляції через недостатню кількість даних. Достатньо ретельно визначене це питання для Німеччини. У Німеччині практично в кожному регіоні створені можливості для ефективного використання енергетичного потенціалу сонця. Хоча річна інсоляція знаходиться в межах від 900 до 1200 кВт·год/м<sup>2</sup> [7], – це менше приблизно на 100 кВт·год/м<sup>2</sup>·рік ніж в нашому найтеплішому регіоні. Отже на півдні України СУ буде вигідніше використовувати, ніж в Німеччині. В [8, 9] наводиться сумарна кількість сонячної енергії, що поступає на горизонтальну поверхню, немає даних щодо прямої і розсіяної складових, а це не дозволяє розрахувати інсоляцію в залежності від кута нахилу колектора.

Відносно України слід відмітити наступне. В [10] наводиться, що інсоляція в Україні коливається в діапазоні від 900 до 1300 кВт·год/м<sup>2</sup>·за рік. В [11] карта України в залежності від значення інсоляції за рік поділена на чотири зони (I зона 1350 кВт·год/м<sup>2</sup>, II зона 1250 кВт·год/м<sup>2</sup>, III зона 1150 кВт·год/м<sup>2</sup>, IV зона 1000 кВт·год/м<sup>2</sup>). Тобто, значення інсоляції підвищилися на 100 кВт·год/м<sup>2</sup>. Територіальні зони достатньо великі і представляється, що наведені значення потребують уточнення.

### Мета та задачі дослідження

Метою роботи є уточнення інсоляції для м. Одеси та економічне обґрунтування використання сонячної установки для гарячого водопостачання.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. Зібрати дані замірів метеостанції. Визначити середньомісячну та середньорічну інсоляцію.
2. Порівняти отримані в результаті обробки дані з наведеними в літературі.
3. Розрахувати річні приведені витрати для сонячної установки і котельної на природному газі для гарячого водопостачання (ГВП).

### Визначення середньомісячної та середньорічної інсоляції

Інсоляція вимірювалася за допомогою метеостанції Davis 6162EU, яка встановлена на даху головного навчального корпусу Одеського національного політехнічного університету. Були проаналізовані наявні дані з березня 2012 по серпень 2015 року (з 12.03.12 по 31.08.15). Метеостанція наводить результати вимірювання інсоляції у двох одиницях:

- $E = \text{Solaren (Langley)}$  – кількість сонячної енергії за годину, 1 Langley = 41,84 кДж/м<sup>2</sup>;
- $R = \text{Solarrad}$  – середньо годинна потужність сонячного випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>.

Наведені значення двох параметрів корелюють друг з другом.

Подальші розрахунки виконувалися за допомогою вимірів потужності сонячного випромінювання  $R$ , оскільки кількість сонячної енергії за годину численно дорівнює сонячному випромінюванню у Вт·год.

Розрахунки середньомісячних та середньорічного значення інсоляції проводилися звичайними методами. Особливістю є наявність не повних таблиць. Тобто на початку та кінці розглянутого періоду часу були не повні місяці та доби. Тому усереднення спочатку проводилося за відповідними годинами та добами різних років.

Результати розрахунків наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Середньо годинні значення інсоляції за кожний місяць, кВт·год/м<sup>2</sup>

Години/Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
1	2	3	4	5	6	7
5:00:00	0	0	0	0	0	0,03393
6:00:00	0	0	0,17857	0,55	10,0363	20,4619
7:00:00	0	0	7,72235	24,2333	77,9345	101,192
8:00:00	0,08602	0,5119	47,8045	112,35	188,796	217,73
9:00:00	3,49966	20,631	135,801	231,05	316,323	347,361
10:00:00	33,5444	75,8929	239,04	356,708	435,166	480,272
11:00:00	82,5565	137,238	330,313	466,433	555,907	591,148

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
12:00:00	120,644	192,25	403,324	533,825	646,43	677,643
13:00:00	138,669	227,357	418,691	570,775	679,38	711,501
14:00:00	137,845	236,095	397,442	581,208	671,525	714,39
15:00:00	117,683	214,81	361,108	564,875	639,591	627,344
16:00:00	82,4553	171,738	288,155	471,775	565,131	535,288
17:00:00	35,7715	105,286	199,525	346,533	445,272	433,67
18:00:00	3,70867	30,6905	86,7254	213,083	307,739	317,533
19:00:00	0	1,55952	14,7081	92,6417	164,541	193,828
20:00:00	0	0	0,20968	14,1333	50,2684	81,7917
21:00:00	0	0	0	0	2,64819	12,4714
22:00:00	0	0	0	0	0	0,10833
23:00:00	0	0	0	0	0	0
Всього за день	756,464	1414,06	2930,75	4580,18	5756,69	6063,77
За місяць	23,4504	39,5937	90,8532	137,405	178,457	181,913
Години/Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
5:00:00	0	0	0	0	0	0
6:00:00	8,1754	1,03226	0,17778	0	0	0
7:00:00	58,5212	33,6237	7,43333	0,08602	0	0
8:00:00	147,307	137,097	71,5444	16,5914	0,68889	0
9:00:00	246,448	265,376	186,833	83,9785	19,1444	2,70084
10:00:00	347,324	385,312	312,3	163,892	62,0778	30,9935
11:00:00	453,031	495,656	425	247,774	113,389	73,9935
12:00:00	548,054	597	500,656	306,011	149,256	108,868
13:00:00	605,865	636,495	557,233	339,097	166,7	130,869
14:00:00	644,804	619,634	545,322	335,57	169,211	126,055
15:00:00	640,739	580,29	508,944	294,183	141,411	101,98
16:00:00	592,062	504,118	412,544	216,215	98,2222	64,124
17:00:00	523,154	390,387	292,944	119,086	36,6333	18,828
18:00:00	432,24	259,151	146,011	24,8925	2,45556	0,3533
19:00:00	315,419	133,118	37,4778	1,47312	0	0
20:00:00	195,626	30,9677	1,54444	0	0	0
21:00:00	113,643	0,67742	0	0	0	0
22:00:00	79,879	0	0	0	0	0
23:00:00	47,4435	0	0	0	0	0
Всього за день	6058,73	5469,94	4005,97	2148,85	959,189	658,765
За місяць	187,672	167,168	120,179	66,6143	28,7757	20,4217

За цими усередненими даними було отримано середньорічне значення інсоляції, яке дорівнює 1242,48 кВт·год/м<sup>2</sup>.

#### Зіставлення заміряних даних з літературними значеннями інсоляції

Для порівняння заміряних даних з наявними в літературі визначимо інсоляцію, Вт·год/м<sup>2</sup>, на горизонтальну поверхню в безхмарний день для широти м. Одеси за літературними даними. В [8] приведені дані по сумарному прямому і розсіяному випромінюванню, на горизонтальну поверхню залежно

від широти місцевості. Звідси шляхом лінійної інтерполяції було визначено відповідні дані для широти м. Одеса (табл. 2).

Таблиця 2 – Сумарна інсоляція, на горизонтальну поверхню в безхмарний день для широти м. Одеси ( $\varphi=46,47^\circ$ ), кВт·год/м<sup>2</sup> [8]

Місяць	Інсоляція за місяць, кВт·год/м <sup>2</sup>	Середньо денна інсоляція, кВт·год/м <sup>2</sup>
Січень	63,249	2,040
Лютий	94,365	3,3708
Березень	160,990	5,193
Квітень	197,342	6,578
Травень	240,509	7,758
Червень	245,574	8,185
Липень	244,569	7,889
Серпень	207,509	6,693
Вересень	166,805	5,560
Жовтень	119,060	3,8406
Листопад	76,305	2,543
Грудень	56,435	1,820
Ітого за рік	1872,717	61,474

Визначимо інсоляцію, в реальних умовах хмарності для широти м. Одеси. Згідно з даними НАСА [9] річна реальна інсоляція у м. Одесі дорівнює 1298,2 кВт·год/м<sup>2</sup>. Визначимо коефіцієнт хмарності, який враховує реальні погодні умови (табл. 3) відношенням інсоляції в реальних умовах хмарності до інсоляції при безхмарному небі (табл. 2).

Отриманий за допомогою даних табл. 3 коефіцієнт хмарності не відповідає даним, наведеним в [6]. Помилка становить 3,8 %.

Порівняємо значення інсоляції, заміряні метеостанцією, з теоретичними (табл. 4). З представлених даних, видно що теоретична інсоляція за рік більша за заміряні дані з метеостанції. Заміряні дані менші на 55,77 кВт·год/м<sup>2</sup> за теоретичні (4,3 %).

З табл. 4 видно, що заміряні та теоретичні дані інсоляції, в літні місяці майже сходяться, а весною заміряні дані вищі за теоретичні (в квітні відмінність на 6,01 кВт·год/м<sup>2</sup> (4,37%), в травні - на 3,3 кВт·год/м<sup>2</sup> (1,85%), в червні - на 6,4 кВт·год/м<sup>2</sup> (3,51%), в липні - на 0,43 кВт·год/м<sup>2</sup> (0,22%), в серпні - 1,93 кВт·год/м<sup>2</sup> (1,1%), в вересні 2,28 кВт·год/м<sup>2</sup> (1,83%). В зимні місяці та березень місяць заміряні дані сонячної інсоляції нижчі за теоретичні. Максимальна відмінність заміряних результатів від теоретичних в лютому [на 19,5 кВт·год/м<sup>2</sup> (49%)] та в листопаді [на 13,3 кВт·год/м<sup>2</sup> (46%)]. Отже, клімат все ж таки змінюється в сторону збільшення інсоляції, хоч лише в літні місяці, але все одно буде більш вигідно використовувати СУ, оскільки теплова потужність для гарячого водопостачання повністю покривається в літні місці, в зимовий же час потужність сонячної енергії не покриває всю кількість теплоти, яка потрібна. Недостатня кількість теплоти взимку забезпечується вторинним паливом, наприклад, природним газом.

Таблиця 3 – Інсоляція в реальних умовах хмарності, кВт/м<sup>2</sup>, та коефіцієнт хмарності

Місяць	Інсоляція при безхмарному небі за місяць, кВт·год/м <sup>2</sup>	Інсоляція в реальних умовах хмарності, кВт·год/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт хмарність
1	63,25	38,75	0,6126
2	94,37	59,08	0,6261
3	160,99	95,48	0,5931
4	197,34	131,4	0,6658
5	240,51	175,15	0,7282
6	245,57	175,5	0,7146
7	244,57	187,24	0,7656
8	207,51	165,23	0,7963
9	166,81	117,9	0,7068
10	119,06	78,12	0,6561
11	76,31	42,16	0,5525
12	56,44	32,24	0,5713
Всього за рік	1872,73	1298,25	



Таблиця 4 – Середньомісячна та середньорічна інсоляція на горизонтальну поверхню, кВт·год/м<sup>2</sup>

Місяць	Теоретична інсоляція		Заміряна інсоляція	
	місячна	річна	місяць	річна
Січень	38,75	1298,25	23,45	1242,48
Лютий	59,08		39,59	
Березень	95,48		90,85	
Квітень	131,4		137,41	
Травень	175,15		178,46	
Червень	175,5		181,91	
Липень	187,24		187,67	
Серпень	165,23		167,16	
Вересень	117,9		120,18	
Жовтень	78,12		66,61	
Листопад	42,16		28,77	
Грудень	32,24		20,42	

### Техніко-економічне обґрунтування використання сонячної установки для гарячого водопостачання (ГВП)

Для співставлення даних щодо зменшення техногенного навантаження за рахунок зниження використання природних ресурсів та викидів продуктів згорання визначимо витрати сонячних установок та котельних на ГВП та плату за викиди та порівняємо їх.

#### Визначення приведених витрат для котельної установки на природному газі

Визначимо розрахункові приведені витрати котельної на природному газі:

$$Z_k = e_n \cdot K + I, \quad (1)$$

де  $e_n$  – нормативний коефіцієнт окупності,  $e_n = 0,15$  [12].

$K$  – капітальні витрати. Під номінальною потужністю СУ будемо приймати найвищу середньодобову теплову потужність, що приймається сонячною установкою в літній день липня місяця (табл. 4):  $187/(31 \cdot 16) = 0,4$  кВт. Для порівняння різних енергетичних установок вони повинні мати однакові потужності, тому потужність котла має бути теж 0,4 кВт. Вартість котла визначається пропорційно його потужності [13] і буде дорівнювати 380 грн;

$I$  – експлуатаційні річні витрати в розглянутій установці. Експлуатаційні витрати враховують вартість палива, амортизаційні витрати, зарплатню та екологічну складову. Зарплатню в даному випадку можна не враховувати. Екологічна складова визначається через плату за викиди, які вміщують платежі за викиди CO<sub>2</sub> відповідно Кіотському протоколу та Податковому кодексу України. Таким чином:

$$I = p \cdot K + g_{\text{пг}} \cdot C_{\text{пг}} + Z_{\text{вик}}, \quad (2)$$

де  $p$  – коефіцієнт амортизації,  $p=0,06$ ;

$K$  – капіталовкладення;

$g_{\text{пг}}$  - кількість природного газу, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{пг}}$  – вартість природного газу. Прийнято  $C_{\text{пг}} = 7,18$  грн/м<sup>3</sup> [14];

$Z_{\text{вик}}$  – плата за викиди забруднюючих речовин, грн.

Отримана енергія за рік від сонця розраховується за формулою:

$$Q_{\text{рік}} = \sum_{1}^{12} q_{\text{міс}}, \quad (3)$$

де  $q_{\text{міс}}$  - енергія сонця, яка була отримана кожного місяця, Дж.

$Q_{\text{рік}} = 1242$  кВт · год/м<sup>2</sup> (табл.4).

Ця енергія і економиться та може бути отримана від котельної.

Необхідна кількість енергії від котла розраховується за формулою:

$$Q_{\text{кот}} = \frac{Q_{\text{рік}}}{\eta_{\text{кот}}} = \frac{1242 \cdot 3600}{0,898} = 4979 \text{ МДж}, \quad (4)$$

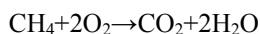
де  $\eta_{\text{котла}}$  - КПД котла. Прийнято  $\eta_{\text{котла}} = 89,8\%$  [15].

Відповідна кількість природного газу:

$$g_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{кот}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{4979}{35} = 142 \text{ м}^3 \quad (5)$$

де  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  - теплота згоряння природного газу. Прийнято використання природного газу Шебелинського родовища  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 35 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$  [16].

При спалюванні природного газу утворюється  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , згідно з Податковим кодексом України (ст. 243) здійснюється плата за викиди цих речовин. В подальших розрахунах  $C_{\text{CO}_2} = 0,26$  грн/т  $\text{CO}_2$  та  $C_{\text{NO}_x} = 1553,79$  грн/т  $\text{NO}_x$  [17]. При спалюванні  $1 \text{ м}^3$  природного газу ( $\text{CH}_4$ ) згідно рівнянню:



виходить

$$1 \text{ м}^3 = \frac{12+32}{22,4} = \frac{44}{22,4} = 1,964 \text{ кг} = 0,001964 \text{ т } \text{CO}_2.$$

При спалюванні  $1 \text{ м}^3$  природного газу утворюється  $0,00078 \text{ т } \text{NO}_x$  [18].

Таким чином, плата за викиди при спалюванні  $1 \text{ м}^3$  природного газу:

$$Z_{\text{вик}} = g_{\text{CO}_2} \cdot (C_{\text{CO}_2} + C_{\text{kiot}}) + \text{NO}_x \cdot C_{\text{NO}_x} \quad (6)$$

$$Z_{\text{вик}} = 0,001964 * (0,26 + 15 \cdot 23) + 0,00078 * 1553,79 = 0,80 \text{ грн},$$

де  $C_{\text{kiot}}$  – плата за викиди  $\text{CO}_2$  відповідно Кіотському протоколу. Значення змінюється в від 15 до 50 \$/т  $\text{CO}_2$ . Прийнято  $C_{\text{kiot}} = 15$  \$/т = 345 грн./т  $\text{CO}_2$ .

При спалюванні  $142 \text{ м}^3$  плата за викиди:

$$Z_{\text{вик}} = 0,8 * 142 = 113,67 \text{ грн/м}^3.$$

Експлуатаційні річні витрати:

$$И = 0,06 \cdot 380 + 142 \cdot 7,18 + 113,67 = 1156,03 \text{ грн/рік}$$

Розрахункові приведені витрати в котельній установці:

$$Z_{\text{к}} = 0,15 * 380 + 1156 = 1213 \text{ грн/рік}$$

#### Визначення приведених витрат для сонячної установки

Капітальні витрати в цьому випадку - це вартість  $1 \text{ м}^2$  сонячної установки. Для аналізу прийнято використання плоских сонячних колекторів «Акватех» (м. Сімферополь). Вартість колектора становить 7514 грн [20]. При корисній площі колектора  $1,8 \text{ м}^2$  питома вартість колектора складе  $K_{\text{cy}} = 7514/1,8 = 4174$  грн/м<sup>2</sup>. Оскільки сонячна установка включає ще багато інших експлуатаційних елементів, прийнято  $K_{\text{cy}} = K_{\text{cy}} * 2 = 4174 * 2 = 8348$  грн.

Експлуатаційні річні витрати для сонячної установки враховують тільки амортизаційну складову. Таким чином приведені витрати:

$$Z_{\text{cy}} = (0,15 + 0,06) \cdot 8348 = 1753 \text{ грн/рік}.$$

Отже, витрати у разі застосування сонячних установок вищі за витрати для котельної на природному газі на 31 %. Не вважаючи на це альтернативні джерела енергії мають розвиватися через екологічну чистоту та перспективність за рахунок серійного виробництва та підвищення ККД.

#### Висновки:

1. Визначено середньомісячну та річну кількість сонячної інсоляції за проміжок часу з березня 2012 по серпень 2015 року. Кількість інсоляції усереднена за чотири не повних роки –  $1242,48 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$ .

2. Зіставлено отримані значення інсоляції за вимірами метеостанції з наявними в літературі даними. Отримано, що вимірний тепловий потік ( $1248,9 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$ ), який падає на горизонтальну поверхню, менший за теоретичні дані ( $1298,25 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$ ) на  $50,77 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$  (4,3%). Уточнено значення коефіцієнта, що враховує зниження інсоляції через хмари.

3. Розраховано річні приведені витрати для котельної на природному газі та сонячної установки однаковою продуктивністю, яка відповідає кількості теплоти, що виробляє  $1 \text{ м}^2$  сонячного колектора за

рік. Була врахована екологічна складова приведених витрат, яка складається з плати за викиди відповідно Податковому кодексу України та Кіотському протоколу. Частка екологічної складової в експлуатаційних витратах дорівнює 10 %. Приведені витрати у разі застосування сонячних установок вищі за затрати для котельної на природному газі лише на 31 %.

#### Список літератури

1. Michael Forst. Germany's module industry poised for growth // SUN & Wind Energy. –Vol.5. – 2011. – pp. 256-263.
2. Бекиров Э.А. Компьютерное моделирование сложных энергосистем с концентраторами солнечной энергии / Э.А.Бекиров, А.П.Химич // *Відновлювана енергетика* – №1(24). –2011. – С. 74-80.
3. Украина и Россия: обзоры рынка фотовольтаики, август 2011: [Электронный ресурс] / О.Е. Гадалова, С. Г. Симоненко, Б.Л. Эйдельман, В.М. Звероловлев, Д. Лукомский, М. Черевко, и др. //Открытый отчет информационно-аналитического агентства Cleandex PV – Режим доступа World Wide Web: [http://www.cleandex.ru/cleanwatch/2011/08/29/Russia\\_and\\_Ukraine\\_photovoltaic\\_market\\_report\\_2011](http://www.cleandex.ru/cleanwatch/2011/08/29/Russia_and_Ukraine_photovoltaic_market_report_2011)
4. Глобальное изменение климата [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://temperatures.ru/articles/global\\_climate\\_change-01.01.2010](http://temperatures.ru/articles/global_climate_change-01.01.2010).
5. M. Saligheh, F. Sasanpour, Z. Sonboli & M. Fatahi Department of Geography, Tehran Tarbiat Moallem University, Iran The Spatial Analysis of Insolation in Iran Received: June 13, 2011 Accepted: July 12, 2011 Published: December 31, 2011 doi:10.5539/eer.v1n1p157 URL: <http://dx.doi.org/10.5539/eer.v1n1p157-162>
6. Гершкович В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий. Пособие по проектированию. Часть.6: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013\\_3/art118.html](http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013_3/art118.html).
7. Гелиотехника Logasol для горячего водоснабжения и поддержки отопления. Издание: 02/2005 A6.01.1 стр. 118 [http://esco.co.ua/journal/cities/2013\\_7/art203.pdf](http://esco.co.ua/journal/cities/2013_7/art203.pdf)
8. СНиП 23-01-99\* Строительная климатология. - М. 2003. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://gostrf.com/norma\\_data/7/7001/](http://gostrf.com/norma_data/7/7001/)
9. Эффективность солнечных батарей в теплоснабжении / <http://www.teploenergo.od.ua/index.php?page=solnechnye-batarei> (Дата обращения 09.08.2015)
10. Специальная серия. Солнечные системы. Viessman, 05/2008. – 28 с. [http://www.viessmann.ua/content/dam/internetua/pdf\\_dokumente/projektanleitung/vitosol/book.pdf](http://www.viessmann.ua/content/dam/internetua/pdf_dokumente/projektanleitung/vitosol/book.pdf)
11. Книга о солнце. Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения. Viessmann. – К.: «Злато-Граф», 2010. – 194 с.
12. Кругликов П.А. Технико-экономические основы проектирования ТЭС и АЭС/ П.А. Кругликов. – С-П.: Северо-западный государственный заочный технический университет, 2003. – 118 с.
13. Газовый котел Гелиос: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teplvod.dp.ua/kotli-gelios.html>
14. Постановление НКРЭ от 03.03.2015 № 583 «Об утверждении Розничных цен на природный газ, который используется для потребностей населения»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [/http://www.nerc.gov.ua/?id=14329](http://www.nerc.gov.ua/?id=14329) на 03.03.2015
15. Теплотехнический справочник. Т.1 /Под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1975. – 744 с.
16. Газовый котел GAZ5000-zwe-24-5-MFK. Каталог оборудования: [Электронный ресурс] – Режим доступа: [/http://klimat-s.com.ua/kotli/bosch/gaz-5000---zwe-24-5-mfk](http://klimat-s.com.ua/kotli/bosch/gaz-5000---zwe-24-5-mfk)
17. Податковий кодекс України: [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2755-17/page29> на 11.06.2015
18. Науково-технологічний центр «Реактивелектрон» Національної академії наук України. ГДК 34.02.305-2002. Викиди забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення: [Електронний ресурс]. / Режим доступа: <http://www.eco.com.ua/content/vikidi-zabrudnyuvanih-rechovin-u-atmosferu-vid-energetichnih-ustanovok-metodika>. Чинний від 01.07.2002 – 40 с.
19. Плоский солнечный коллектор AFL-AL. Каталог товаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://simferopol.prom.ua/p19227458-ploskij-solnechnyj-kollektor.html> 20.12.2015

**V.P. Kravchenko, I.V. Kravchenko, I.V. Bondar**  
**Odessa National Polytechnic University**

#### INSTRUMENTAL DETERMINATION OF INSOLATION FOR CITY ODESSA

*Use of the solar installations (SI) reduces consumption of organic fuel and, respectively, anthropogenic load on the environment. Key parameter for design of SI is insolation size. The geographical position and climatic conditions of the South Ukraine are favorable for use of solar energy. Clarification of average monthly and annual amount of sunny energy falling on a horizontal surface is carried out in this article. In the analysis, data of measurements of a meteorological station of the Odessa national polytechnic university from March, 2012 till April, 2015 were used. Average daily values of insolation for every month, and also total amounts of the energy falling for every month and for all year are defined. The analysis of comparison of the received results to literary data showed that in summer months measured values of insolation exceed theoretical, in cold months measured*

values of insolation are slightly lower than the theoretical. The total amount of energy per year, which falls on a horizontal surface is less than 7.4% in the literature. The value of coefficient that takes into account the decline of insolation from a cloudiness is specified. The economic justification of solar installation use for hot water supply is carried out. The annual economic charges for solar installation and a boiler room on natural gas are defined. The analysis of comparison showed that at the accounting of a payment for harmful substances emissions in environment, economic charges for SI on 31% more than for boiler.

**Keywords:** insolation, solar installations, the economic charges

#### References

1. Michael Forst. Germany's module industry poised for growth // SUN & Wind Energy. -Vol.5. - 2011. - pp. 256-263.
2. EA Bakirov Computer simulation of complex power systems with solar concentrators / E.A.Bekirov, A.P.Himich // Vidnovlyuvana Energetics - №1 (24). -2011. - S. 74-80.
3. Ukraine and Russia: the photovoltaic market surveys, August 2011: [E-resource] / OE Gadaloa, SG Simonenko, BL Adelman, VM Zverolovlev, D. Lukomsky, Cherevko, et al. // Open a report of information-analytical agency Cleandex PV - mode access World Wide Web: [http://www.cleandex.ru/cleanwatch/2011/08/29/Russia\\_and\\_Ukraine\\_photovoltaic\\_market\\_report\\_2011](http://www.cleandex.ru/cleanwatch/2011/08/29/Russia_and_Ukraine_photovoltaic_market_report_2011)
4. Global climate change [electronic resource] / Access: [http://temperatures.ru/articles/global\\_climate\\_change](http://temperatures.ru/articles/global_climate_change) - 01.01.2010.
5. M. Saligheh, F. Sasanpour, Z. Sonboli & M. Fatahi Department of Geography, Tehran Tarbiat Moallem University, Iran The Spatial Analysis of Insolation in Iran Received: June 13, 2011 Accepted: July 12, 2011 Published: December 31 2011 doi: 10.5539 / eer.v1n1p157 URL: <http://dx.doi.org/10.5539/eer.v1n1p157-162>
6. Hershkovitz VF Energy-efficient residential buildings. Benefit design. Chast.6: [electronic resource]. □ Access: [http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013\\_3/art118.html](http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013_3/art118.html).
7. Solar technology Logasol for hot water and heating support. Edition: 02/2005 A6.01.1 p. 118 [http://esco.co.ua/journal/cities/2013\\_7/art203.pdf](http://esco.co.ua/journal/cities/2013_7/art203.pdf)
8. SNIP 23-01-99 \* Building Climatology. - M., 2003. [Electronic resource] / Access: [http://gostrf.com/norma\\_data/7/7001/](http://gostrf.com/norma_data/7/7001/)
9. The efficiency of solar panels in the heating / <http://www.teploenergo.od.ua/index.php?page=solnechnye-batarei> (Date Treatment 08/09/2015)
10. Special Edition. Solar system. Viessman, 05/2008. - 28. [http://www.viessmann.ua/content/dam/internetua/pdf\\_dokumente/projektanleitung/vitosol/book.pdf](http://www.viessmann.ua/content/dam/internetua/pdf_dokumente/projektanleitung/vitosol/book.pdf)
11. The Book of sontse. Design Guidelines solar heating. Viessmann. - K. : "Golden-Count", 2010. - 194 p.
12. Kruglikov PA Technical and economic bases of designing of TPP and NPP / PA Kruglik. - C-P. : Northwestern State Technical University, 2003. 118.
13. Gas boiler Helios: [E-resource]. □ Access: <http://teplovod.dp.ua/kotli>
14. Resolution NERC from 03.03.2015 № 583 "On approval of retail prices for natural gas, which is used for the needs of the population": [electronic resource]. Access: <http://www.nerc.gov.ua/?id=14329> on 03/03/2015
15. Thermal Engineering Handbook. Vol.1 / Ed. VN Yureneva, PD Lebedev. - M. : Energia, 1975. - 744 p.
16. Gas boiler GAZ5000-zwe-24-5-MFK. Catalogue: [electronic resource] / Access: <http://klimat-s.com.ua/kotli/bosch/gaz-5000---zwe-24-5-mfk>
17. podatkovih Code of Ukraine: [E-resource]. / Access: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2755-17/page29> on 06/11/2015
18. NAUKOVO-tehnologichny center "ReaktivElektron" Natsionalnoї Academy of Sciences of Ukraine. HDV 34.02.305-2002. Vikidi zabrudnyuyuchih rechovin od atmosphere at energetichnih installations. Methods viznachennya: [E-resource]. / Access: <http://www.eco.com.ua/content/vikidi-zabrudnyuvalnih-rechovin-u-atmosferu-vid-energetichnih-ustanovok-metodika>. Chinny od 01.07.2002 - 40.
19. A flat solar collector AFL-AL. Catalog [electronic resource]. / Access: <http://simferopol.prom.ua/p19227458-ploskij-solnechnyj-kollektor.html> 20.12.2015

УДК 502/504:620.92

**В.П. Кравченко**, д-р техн. наук, профессор, **С.В. Кравченко, И.В. Бондарь**

**Одесский национальный политехнический университет**

#### ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНСОЛЯЦИИ В РАЙОНЕ Г. ОДЕССЫ

*Использование солнечных установок (СУ) снижает потребление органического топлива и, соответственно, антропогенную нагрузку на окружающую среду. Основным параметром при проектировании СУ является величина инсоляции. В работе по замерам метеостанции уточнена среднемесячная и среднегодовая инсоляция в г. Одессе. Проведен расчет приведенных затрат при использовании солнечной установки или котла на природном газе для горячего водоснабжения. Показано, что с учетом налогов за выбросы вредных веществ приведенные затраты для солнечной установки на 31 % больше.*

**Ключевые слова:** инсоляция, солнечные установки, приведенные затраты

Надійшла 30.11.2015

Received 30.11.2015

## ОЦІНКА СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ САМОНЕСУЧИХ ІЗОЛЬОВАНИХ ПРОВОДІВ ПРИ ЇХ ВИРОБНИЦТВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*У статті розглянуто чинники, що впливають на скорочення терміну експлуатації лінії з самонесучими ізольованими проводами. Проаналізовано методи діагностики стану ізоляції та арматури проводу.*

*Мета дослідження:* виявити параметри, за якими можна оцінити приблизно термін експлуатації ліній з самонесучими ізольованими проводами.

*Методика реалізації:* використання даних випробувальних тестів для отримання значень параметрів, за якими далі враховується термін експлуатації.

*Результати досліджень:* представлена формула для розрахунку часу експлуатації, наведено приклади розрахунку за цією формулою.

*Висновки:* оцінка терміну експлуатації лінії з самонесучими ізольованими проводами є непростою задачею, яка вимагає проведення спеціальних випробувань для ізоляції проводу.

**Ключові слова:** лінія з самонесучими ізольованими проводами, ізоляція, електричний пробій, електрична міцність, арматура, випробування.

**Вступ.** На даний час в Україні велика частина повітряних ліній низької напруги працює за межами терміну експлуатації. Зважаючи на те, що надійність цих ліній і так є низькою через недоліки їх конструктивного виконання та аварійні ситуації, знеструмлення споживачів (особливо у районах із складними кліматичними умовами) набувають стихійного характеру. Існує також проблема несанкціонованого підключення до повітряних ліній. Головним засобом підвищення надійності ліній низької напруги є використання самонесучих ізольованих проводів (СІП). Впродовж останніх років перехід від повітряних ліній електропередач з оголеними проводами до СІП пришвидшується. Розглядаючи проблему терміну експлуатації СІП, для інженерів і економістів розподільних мереж постає питання вигідності такої заміни. Відповідь на це питання залежить від якомога точнішого визначення часу корисної експлуатації ліній із СІП. Очевидно, що через наявність шару ізоляції термін експлуатації СІП буде коротшим ніж у звичайних оголених проводів. Недотримання виробниками стандартів якості та використання ненадійних кріплень і затискачів є факторами, які скорочують цей термін. В свою чергу належна експлуатація мережі з СІП навпаки подовжить “життя” ізоляції.

**Мета роботи.** Проаналізувати фактори, що впливають на старіння СІП та розглянути методи оцінки терміну їх експлуатації.

**Матеріал і результати досліджень.** Щоб оцінити скільки прослужить лінія з СІП, необхідно дослідити аварії і пошкодження, що виникають у таких лініях, та процеси старіння. Можливі випадки, коли ізоляцію проводу пошкоджують у процесі виготовлення, транспортування або встановлення, що у майбутньому стане причиною аварії. Проникнення вологи в ізоляцію, а також явище часткових розрядів є іншими факторами ризику для СІП. Досвід використання СІП показав, що майже всі аварії так чи інакше пов'язані з пошкодженням ізоляції і тому саме вона, першочергово, стає об'єктом дослідження при оцінці терміну експлуатації. Ізоляція СІП може погіршуватись поступово через контакт із деревами, бетонними конструкціями, тощо. Застосування затискачів, що не відповідають стандарту, може полегшити проникнення вологи в ізоляцію, де вода перетворюється на пару. Розширюючись, пара утворює невеликі порожнини в шарі ізоляції, що призводить до різкого погіршення ізоляційних властивостей [1]. Так само і часткові розряди є згубними для ізоляції. Вони зазвичай виникають у місцях з'єднання або скручення. Процес може бути розтягнутим у часі але наслідком є руйнування ізоляції. Зниження напруги пробою ізоляції може бути фактором, що вказує на її руйнування. Якщо вчасно визначити точки, де стан ізоляції є незадовільним, і замінити ділянку проводу, то можна уникнути втрат, які може спричинити пробій ізоляції. У старінні ізоляції значну роль відіграє температура. Зазвичай проблем з охолодженням на повітрі не виникає, але у випадку короткого замикання (КЗ) температура перевищить межу, що негативно вплине на ізоляцію. При температурі вище за 90°C кристали в ізоляції починають плавитись і окислюватись. Це веде до втрати ізоляційних властивостей шитого поліетилену. Крім того, КЗ викликає проблеми із збільшенням довжини проводів або їх зміщення. Довжина проводу може збільшуватись і за високих атмосферних температур. Холодна погода компенсуватиме збільшення довжини але не повністю. Таким чином, довжина проводу також може бути використана для оцінки терміну експлуатації. Для того, щоб дослідити СІП на протязі всього терміну експлуатації, в лабораторіях застосовують штучне старіння.

Процес моделюється механічним, тепловим і електричним впливом на провід. Для створення необхідних температур через провід пропускають відповідні струми, це відбувається циклічно по 8-10 годин кілька разів на тиждень. Так як вплив температур від струмів КЗ впливає на довжину кабелю, то збільшення довжини може бути індикатором його віку. Для теплового старіння проводу його розміщують у термостаті. При цьому для моделювання реальних температурних змін у термостаті змінюються температурні режими. Щоб створити умови вологого середовища СІП може бути поміщено у ємність із водою, після чого вимірюється зміна маси проводу для контролю вологопоглинання. Якість ізоляції на стадії виробництва СІП контролюється наступними параметрами:

- міцністю при розтягуванні (не менше 12,5 МПа) та розриві (не менше 200 МПа);
- після старіння в термостаті при температурі 135°C на протязі 168 год. зміною міцності при розтягуванні (не більше  $\pm 25\%$ ) та зміною відносного видовження при розриві (не більше  $\pm 25\%$ );
- відносним видовженням після витримки на протязі 15 хв. при температурі 200°C і розтягувальному навантаженні 0.2 МПа (не більше 175%);
- залишковим відносним видовженням після зняття навантаження і охолодження (не більше 15%);
- зміною маси після витримки на протязі 336 год. у воді при 85°C (не більше 1 мг/см<sup>2</sup>);
- глибиною продавлювання при температурі 90°C за 4 год. (не більше 50%);
- вмістом сажі (не більше 2.5%).

Важливою вимогою до ізоляції СІП є також стійкість до впливу атмосферних факторів. Для моделювання впливу атмосферних явищ провід піддається впливу світлового потоку потужністю 2.2 Вт/м<sup>2</sup> при довжині хвилі 240-40 нм, дощу з температурою води 10-30°C з інтенсивністю 15-25 дм<sup>3</sup>/год, від'ємної температури -40°C.

Таким чином, висновок про термін експлуатації СІП можна зробити, проаналізувавши стан ізоляції, який є визначальним фактором. Пошкодження ізоляції можуть бути механічними або електричними (тобто пробій ізоляції). Щоб створити напругу електричного пробую пробою використовують тест із голкою, яку занурюють в ізоляційний шар (рис. 1). У тесті є дві величини, що формуватимуть зміни у ізоляційній структурі, – прикладена напруга та глибина занурення голки.

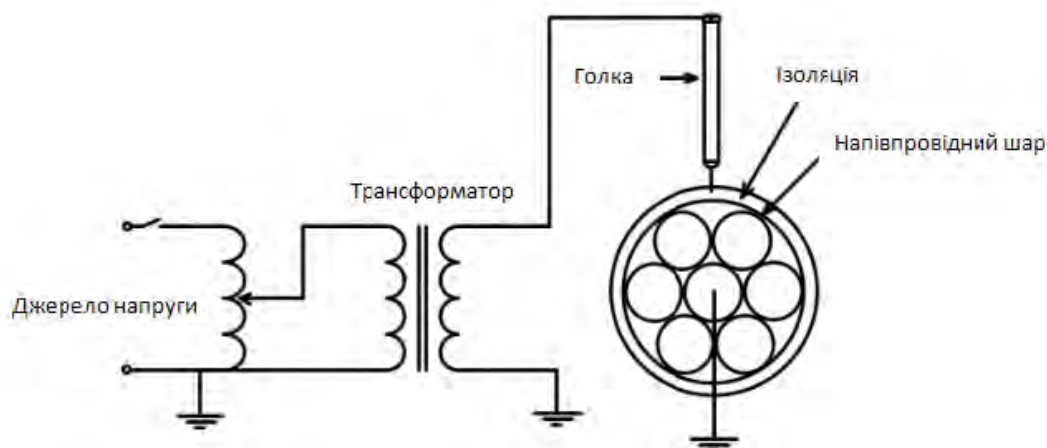


Рисунок 1 – Тест з електричного пробую ізоляції проводу

В процесі експлуатації з часом змінюється довжина кабелю, що також впливатиме на стан ізоляції. Іранські вчені запропонували формулу для оцінки терміну експлуатації проводу [2]:

$$T_{\text{зал}} = a_1 + a_2 L + a_3 E \quad (1)$$

де  $L$  – збільшення довжини проводу за період експлуатації,  $E$  – напруга пробую ізоляції проводу;  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  – коефіцієнти, для яких значення розраховані емпірично. Підставляючи їх значення у формулу (1), отримаємо вираз:

$$T_{\text{зал}} = 67.19 - 0.0435L + 2.095E \quad (2)$$

Результати реального лабораторного тесту на пробій ізоляції наведені в табл.1.

Таблиця 1. Результати лабораторного тесту на пробій ізоляції

Вік СІП (у роках)	0	5	10	15	20
Збільшення довжини проводу (мм)	1000	1100	1155	1270	1297
Напруга пробною ізоляції (кВ)	13.60	11.6	9.8	8.8	8.7
Очікуваний термін подальшої експл. (років)	58.2	43.6	37.5	30.4	32

У таблиці також розраховано очікуваний термін подальшої експлуатації за формулою (2). Очевидно, що напруга пробною буде зменшуватись із часом і на цю зміну також впливатиме зміна довжини проводу, що видно із наведеного досліді. На рисунку 2 приведено графік цієї залежності.

Не менш важливими для визначення терміну експлуатації ліній із самонесучими ізольованими проводами є також випробування арматури для СІП. На рисунку 3 показано як проводяться діелектричні випробування проколюючих затискачів у воді, метою яких є перевірка електричної міцності під дією напруги.

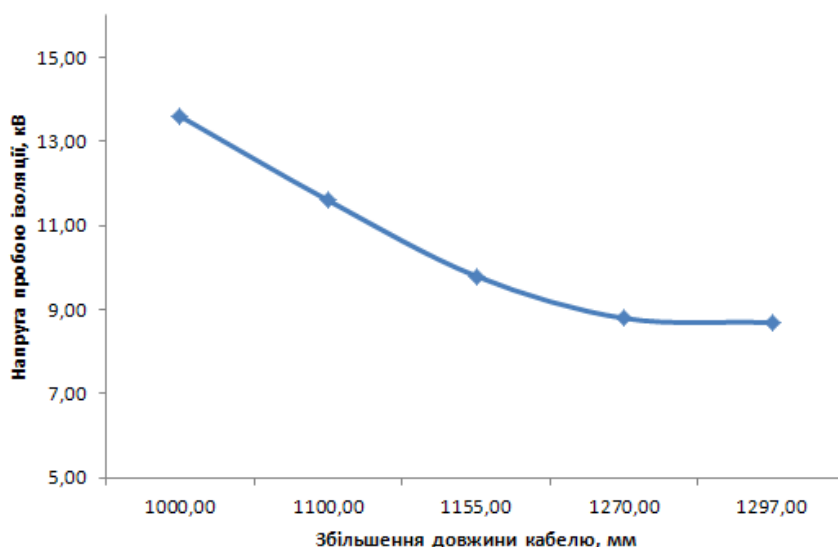


Рисунок 2 – Залежність напруги пробною ізоляції від зміни довжини проводу

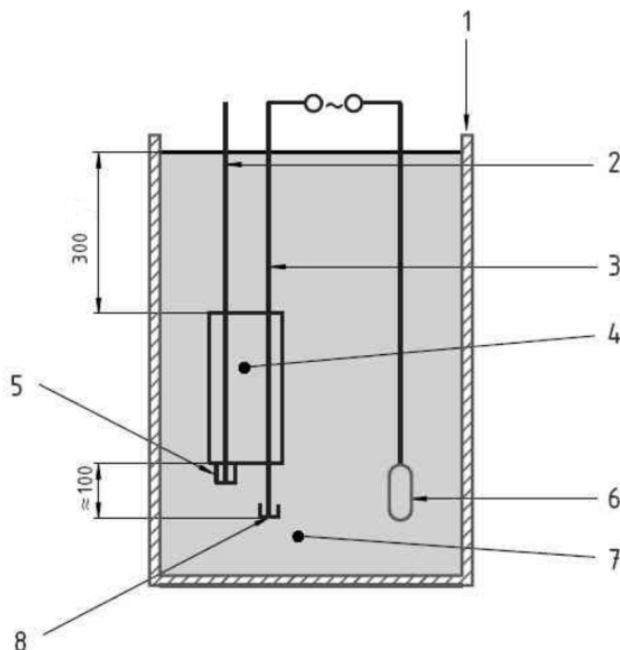


Рисунок 3 – Діелектричні випробування проколюючих затискачів

Розміри на рисунку подані у мм. У ємність 1 поміщують проколюючий затискач 4, що з'єднує ізольований провід відпайки 2 та ізольований провід головної ділянки 3 мають на кінцях водонепроникні

ізолювальні ковпачки 5 та 8, ємність заповнена водою 7, до якої електродом 6 підводиться напруга [3]. Затискач перебуває у воді 30 хв, перш ніж буде подана напруга у 4 кВ на протязі 60 с.

Затискачі проколюючого і пресованого типу мають наступні типові випробування: на механічну міцність проводу при встановленому на ньому затискачі; на зсув проводу відгалуження; на надійність механічного та електричного з'єднання випробування зривної головки проколюючого затискача; монтажу при низьких температурах; електричне старіння під дією робочих струмів та струмів КЗ; діелектричні випробування напругою у воді або повітрі, після чого контролюється струм витоку [4]. Затискачі натяжного та підтримуючого типів вимагають випробувань на розтягування та проковзування у різних температурних режимах, на механічну та електричну міцність. Як і проводи СПП, арматура для них піддається також атмосферним випробуванням, які додатково ускладнюються наявністю соляного туману або наявністю двоокису сірки в камері випробування.

**Висновки.** Оцінка терміну експлуатації СПП є непростю задачею і вимагає спеціального устаткування. Треба відмітити, що деякі чинники залишаються неврахованими. Так, добре відомо, що лінії СПП є дуже чутливими до грозових перенапруг і від них досить часто виникають пошкодження лінії. Але наведений аналіз дає змогу наближено розрахувати, скільки прослужить лінія і дати більш точну відповідь на питання, чи буде вигідною заміна звичайних проводів на СПП.

#### Список літератури

1. Щерба А.А., Перетятко Ю.В., Золотарев В.В. Самонесущие изолированные и высоковольтные защищенные провода. – К. : ИЭД НАНУ, 2008.
2. Nowbakht A., Ahrarinouiri M., Mansourisaba M. Presenting new method to estimate the remaining life of aerial bundled cable network // Int.Conf., June 2015 on Electricity distribution. – Lyon. – P.112 – 118
3. prEN 50483-2. Test requirements for Low Voltage Aerial Bundled Cable Accessories. Tension and suspension clamps for self supporting system/ CENELEC. –2005. –26 p
4. Дрёмов В.В., Блинов И.В. Соединительные прессуемые зажимы Sicame для самонесущих изолированных проводов: характеристики, монтаж и методы испытаний// Электрические сети и системы. –2010. -№ 2. –С. 10 –14.

N. Buslova, B. Kniaziev

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

#### INSULATION CONDITION OF AERIAL BUNDLED CABLES ESTIMATION WHILE THEIR PRODUCING AND OPERATION

*The article deals with factors that affect on lifetime shortening of line with aerial bundled cables. The methods of diagnostics of insulation and cable accessories were considered.*

*The objective of work is to reveal parameters which can be used to estimate approximately the lifetime of lines with aerial bundled cables.*

*Results: presented the formula for estimation of lifetime and examples of calculation by this formula.*

*Conclusions: evaluation of lifetime line with aerial bundled cables is a difficult task that requires special tests for wire insulation.*

**Keywords:** line with aerial bundled cables, insulation, electrical breakdown, dielectric strength, accessory, testing.

#### References

1. Sherba A.A., Peretiatko Y.V., Zolotarev V.V. Aerial bundled and highvoltage insulated cables. – К. : IED NAS of Ukraine, 2008.
2. Nowbakht A., Ahrarinouiri M., Mansourisaba M. Presenting new method to estimate the remaining life of aerial bundled cable network // Int.Conf., June 2015 on Electricity distribution. – Lyon. – P.112 – 118
3. prEN 50483-2. Test requirements for Low Voltage Aerial Bundled Cable Accessories. Tension and suspension clamps for self supporting system/ CENELEC. –2005. –26 p
4. Dremov V.V., Blinov E.V. Connecting mouldable Sicame clamps for aerial bundled cables: characteristics, installation and testing methods// Electrical networks and systems. –2010. -№ 2. –P. 10 –14.

УДК 621.315

Н.В. Буслова, канд.техн.наук, доцент; Б.О. Князев, магистрант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

#### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

*В статье рассмотрены факторы, которые влияют на сокращение срока эксплуатации линии с самонесущими изолированными проводами. Проанализированы методы диагностики состояния изоляции и арматуры провода.*



*Цель исследования: выявить параметры, по которым можно оценить приблизительно срок эксплуатации линий с самонесущими изолированными проводами*

*Методика реализации: использование данных испытательных тестов для получения значений параметров, по которым далее рассчитывается срок эксплуатации.*

*Результаты исследований: представлена формула для расчета времени эксплуатации, приведены примеры расчета по этой формуле.*

*Выводы: оценка срока эксплуатации линии с самонесущими изолированными проводами является непростой задачей, которая требует проведения специальных испытаний для изоляции провода*

**Ключевые слова:** линия с самонесущими изолированными проводами, изоляция, электрический пробой, электрическая прочность, арматура, испытания.

Надійшла 15.02.2016

Received 15.02.2016

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 621.38

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, професор, В.І. Василенко  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### ЕНЕРГЕТИЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

*У статті розглянута проблема ефективного використання енергетичних ресурсів в Україні. Визначені питання підвищення енергетичної ефективності, представлені основні показники енергоефективності в промисловості для простого технологічного процесу, виробничої одиниці та підприємства в цілому. Наведені основні методи підвищення енергоефективності.*

*Проаналізовано необхідність застосування трьох систем показників: енергетичних, економічних, екологічних, що вважається достатнім для всебічної оцінки ефективності нововведень.*

**Ключові слова:** енергетична ефективність, паливно-енергетичні ресурси, енергозбереження, енергетичні показники енергоефективності, системний підхід, енергоефективне проектування.

Розробки Світової ради з енергетики показали, що до 2020 р. очікується подвоєння попиту на електроенергію у порівнянні з 1990 р. [1]. Прогнозується, що ТЕС збільшать споживання вугілля на 2,4% (з 26,1 до 28,5%), частка топкового мазуту зменшиться на 5,1% (з 31,8 до 26,7%), а природного газу збільшиться на 1,6% (з 19,3 до 20,9%). Практично не зміняться обсяги виробництва електроенергії ГЕС (на рівні 5,7 – 5,8% від усього обсягу виробництва електроенергії), а АЕС збільшать обсяги виробництва енергії на 1,3% (з 4,5 до 5,8%).

В найближчому майбутньому слід очікувати переходу енергетики в новий якісний стан, пов'язаний з неухильним підвищенням енергоефективності. Його відмінні риси полягають у наступному [2]:

- заміщення вичерпних вуглеводневих ресурсів, до яких відносяться вугілля, нафта, газ, відновлюваними джерелами енергії – енергією вітру, сонця, геотермальних джерел тощо;
- інтеграція енергетики з іншими високотехнологічними галузями і перехід до загального виробництва енергії, у тому числі в побуті (наприклад, технологія Smart Grid);
- інтелектуалізація та автоматизація управління енергетичними потоками;
- формування конкурентоспроможних замінників нафтопродуктів, що використовуються в якості моторного палива;
- бурхливий розвиток нанотехнологій і впровадження їх у енергетику для підвищення енергоефективності.

Проблема ефективного використання енергетичних ресурсів є вкрай актуальною на сьогодні для України. За часів незалежності в державі слабко модернізувалась економіка, і використовуються застарілі енерго- і ресурсномісткі технології з високою часткою екологічно небезпечних виробництв та низькою їх ефективністю. 25 листопада 2015 року на засіданні Кабінету Міністрів України схвалено проект розпорядження «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року» [3].

Національний план розроблявся в тісній співпраці із європейськими та вітчизняними експертами і науковцями. З його прийняттям Україна отримала можливість запровадити європейську практику планування та прогнозування розвитку енергетики, реалізації політики підвищення енергоефективності.

Згідно з Планом, передбачено досягнення у 2020 році національної індикативної мети щодо енергозбереження у розмірі 9% від середнього показника кінцевого внутрішнього енергоспоживання за період протягом 2005–2009 рр., що становить 6,5 млн. тонн нафтового еквіваленту. Крім того, Національний план дій визначає проміжну мету – у 2017 році скоротити енергоспоживання в розмірі 5%.

Для встановлення мети використані укрупнені та окремі дані щодо споживання енергії. Ці дані надані Державною службою статистики України. Реалізація заходів, необхідних для досягнення орієнтовної мети, потребує мобілізації значних фінансових ресурсів, розширення заходів з підвищення енергоефективності, запланованих державою, та подальшої лібералізації енергетичного ринку, особливо на стороні пропозиції енергетичних послуг, а також розвитку державно-приватних партнерств у галузі енергоефективності.

Також план дій передбачає вдосконалення нормативно-правової бази у сфері енергоефективності, послідовне впровадження європейських підходів до реалізації державної політики у цій сфері.

Прийняття Україною Національного плану дій з енергоефективності до 2020 року є одним із основних зобов'язань у рамках імплементації Директиви 2006/32/ЄС щодо енергетичної ефективності кінцевого використання енергії та енергетичних послуг. Імплементація цього документа передбачена Угодою про Асоціацію в рамках реалізації Договору про заснування Енергетичного Співтовариства.

Подальший розвиток української економіки та здатність продукції вітчизняних промислових підприємств конкурувати на світовому ринку неможливі без подальшого впровадження енергозберігаючих заходів, які спрямовані на скорочення енергетичної складової в загальній структурі собівартості продукції. На сьогодні, за оцінками експертів, українські підприємства витрачають у десятки разів більше енергоресурсів на виробництво одиниці продукції, ніж їх конкуренти в економічно розвинених країнах. Вдале вирішення проблем енергозбереження тісно пов'язане з можливістю запровадження енергоефективних інноваційних проектів. Впровадження в життя таких проектів є однією з основних умов виживання (виходу з кризи) більшої частини українських підприємств, регіонів та країни в цілому.

Потенціал енергозбереження – це економія паливно-енергетичних ресурсів, яка може бути одержана внаслідок ліквідації всіх видів втрат енергії (оборотних втрат енергії) у національному господарстві. За оцінками фахівців загальний потенціал енергозбереження в Україні, за прогнозними даними, у 2030 р. становитиме 570,3 млн т у. п. [4].

Під енергоефективністю розуміють оптимальне використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) за існуючих рівнів технологічного розвитку та вимогах охорони навколишнього середовища. Основним показником енергоефективності є питома витрата енергії в розрахунку на одиницю корисного продукту в усіх сферах діяльності людини (економіці, техніці, побуті). Стосовно до національної та регіональної економіки таким показником служить енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП) і валового регіонального продукту (ВРП).

Одним із способів підвищення енергоефективності є енергозбереження. Об'єктами енергозбереження та підвищення енергоефективності можуть бути технічні та економічні системи, підприємства та організації, галузева, регіональна та національна економіки.

Підвищення енергоефективності – загальносвітова тенденція розвитку енергетичного сектору економіки [2].

В якості енергоресурсу енергоефективність характеризується унікальним потенціалом одночасного сприяння довгострокової енергетичної безпеки, економічного зростання, поліпшення здоров'я і добробуту людей. Вона є основним інструментом скорочення викидів парникових газів. Заходи з енергоефективності, за допомогою скорочення або обмеження споживання енергії, можуть підвищити стійкість до різноманітних ризиків, таких як зростання і мінливість цін на енергію, навантаження на енергетичну інфраструктуру і збої в системах енергопостачання [5].

Енергозбереження – це необхідність, яка продиктована неможливістю забезпечення прибутковості виробництва при постійній позитивній динаміці цін на енергоносії та дефіциту газу та електроенергії. Ці фактори стримують розвиток більшості галузей вітчизняної економіки.

Енергоефективність слід розглядати як реальний спосіб підвищення рентабельності і конкурентоспроможності підприємства. Ефективне використання енергоресурсів є одним з найбільш надійних і економічно доцільних способів підвищення прибутковості підприємства. У той же час, цей спосіб найменш зрозумілий багатьом власникам і керівникам підприємств [6].

Енергоефективність – широко вживаний термін якісного характеру, що означає засіб досягнення різних цілей, в тому числі: цілей національної та міжнародної політики, а також цілей бізнесу, найважливішими з яких є [7]:

- зниження викидів вуглекислого газу (запобігання зміні клімату);
- підвищення безпеки енергопостачання (в результаті більш стійкого виробництва);
- зниження витрат (підвищення конкурентоспроможності бізнесу).

Систематичне підвищення енергоефективності – це закон розвитку цивілізації. Науково-технічний прогрес робить ресурс підвищення енергоефективності поновлюваним: постійно з'являються нові технології, що дозволяють підвищити ефективність використання енергії. Тобто мінімальні питомі витрати енергії систематично знижуються [8].

Дуже часто як індикатор енергоефективності приймають показник енергоємності економіки (витрати всіх первинних енергоресурсів або кінцевого споживчого продукту – електроенергії по відношенню до ВВП або ВРП). Сам показник ВВП не може вважатися цілком обґрунтованим індикатором кінцевого результату, бо розраховується за штучно сформованою величиною паритету купівельної спроможності. ВВП враховує вартість доданого виробленого продукту, нічого не кажучи про соціальний ефект економічної діяльності та про внесок енергетичного фактора. Тому необхідний пошук інших індикаторів, що характеризують енергетичний результат [9].

Міжнародне енергетичне агентство (International Energy Agency, IEA) запропонувало представити енергетичні показники енергоефективності у відповідності до «пірамідального підходу» – від найбільш агрегованого рівня до дезагрегованого [5, 10]. На рис. 1 показники представлені для кожного сектора, а потім для кожного підсектору або виду кінцевого споживання.

Верхній ряд піраміди (самий укрупнений показник) визначається як відношення енергоспоживання до ВВП. Інакше, він може бути визначений як відношення енергоспоживання до іншої макроекономічної змінної, такої як чисельність населення. Для спостереження за двома основними факторами споживання корисно розглядати показники, пов'язані як з ВВП, так і з населенням одночасно.

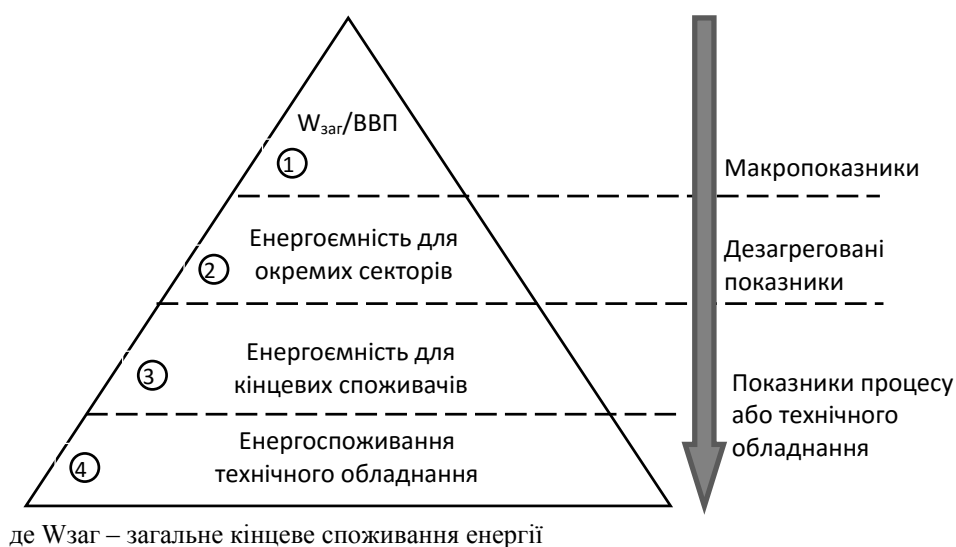


Рисунок 1 – Піраміда енергетичних показників ІЕА

Другий ряд елементів можна визначити як енергоемність кожного з основних секторів, що вимірюється як енергоспоживання на одиницю діяльності в кожному секторі. Корисно розглядати енергоспоживання у відношенні як до фізичних, так і до вартісних одиниць, у відповідності до основних факторів сектору.

Нижній ряд піраміди – це підсектори або види кінцевого споживання в кожному секторі, які послідовно надають все більш докладну інформацію, наприклад, яка характеризує конкретні енергетичні послуги, фізичні процеси або ключові технічні пристрої кінцевого споживання енергії.

Укрупнені показники дають загальне уявлення про причини тенденцій енергоспоживання в секторі. Однак необхідна більш детальна інформація для розуміння ключових факторів енергоспоживання та аналізу політики впливу на ці тенденції.

Найбільшу питому вагу (55–58%) у структурі потенціалу енергозбереження України має промисловість. Висока енергоемність випуску продукції є наслідком відставання у темпах оновлення обладнання промислових підприємств, впровадження новітніх технологій, а також тінізації та незадовільної галузевої структури національної економіки та її експортоорієнтованості. Зростання цін на енергоносії посилює загрозу негативних змін в економіці, падіння рентабельності виробництва, зменшення частки промисловості у ВВП та переваги цінової конкурентоспроможності імпортованої продукції щодо продукції українських виробників. Отже, пріоритетним напрямом сучасних стратегій розвитку вітчизняних промислових підприємств є ефективне використання енергетичних ресурсів, в основі якого лежить мінімізація споживання енергетичного ресурсу при отриманні корисного ефекту. Забезпечення оптимального використання енергоресурсів вимагає проведення оцінки економічної ефективності їх використання [11].

Найбільш широко використовується в промисловості показник енергоефективності, що являє собою витрати енергії на одиницю виробленої продукції або виходу технологічного процесу – «питоме енергоспоживання» (ПЕС):

$$w_{\text{сп}} = \frac{\sum_i E}{P}, \quad (1)$$

де  $E$  – спожита енергія,  $P$  – вироблена продукція.

ПЕС можна представити як відношення спожитої енергії до будь-якої грошової величини, наприклад, обороту компанії, доданої вартості, ВВП і т.п.:

$$w_{\text{сп}} = \frac{\sum_i E}{M} = \frac{\text{ГДж}}{\text{євро обороту}}, \quad (2)$$

де  $E$  – спожита енергія,  $M$  – оборот установки.

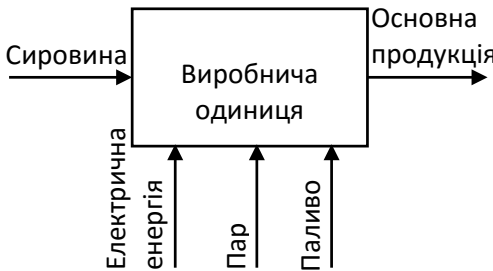
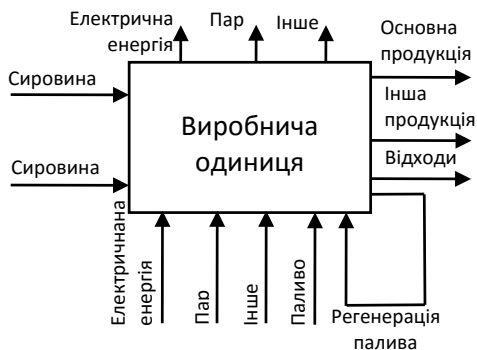
Як правило, ПЕС має розмірність ГДж/т і може застосовуватися для установок, в яких вихід продукції вимірюється в одиницях маси. Для енерговиробних установок (електростанцій, сміттєспалювальних

заводів) більш доречним може бути використання в якості показника енергоефективності ККД установки – відношення виробленої енергії (ГДж) до підведеної енергії (ГДж). Як показник ПЕС можуть використовуватися й інші відношення, такі, як витрати енергії на м<sup>2</sup> (наприклад, при покритті рулонної сталі, в деяких операціях при виробництві автомобілів), витрати енергії на одного працівника тощо.

Оскільки грошовий обсяг випуску, як правило, зростає з плином часу, ПЕС може знижуватися з відсутністю будь-якого зростання фізичної енергоефективності (якщо не використовувати перерахунку в незмінні ціни). Тому слід уникати використання цього показника при обговоренні фізичної енергоефективності установки[7].

Показники енергоефективності в промисловості представлені в таблиці 1 [7,12,13].

Таблиця 1 – Показники енергоефективності в промисловості.

Опис процесу	Показник енергоефективності
	<p style="text-align: center;">Рисунок 2 – Потоки енергії у разі простого технологічного процесу</p> <p>Простий технологічний процес. Для простоти передбачається, що в рамках процесу не виробляється енергія, що постачається зовнішнім споживачем, процес використовує один вид сировини і виробляє один вид продукції. Процес використовує пар, електроенергію і паливо.</p> $w_{СП} = \frac{E_{s,in} + E_{e,in} + E_{f,in}}{P}$ <p>де <math>w_{СП}</math> – показник енергетичної ефективності (ПЕС); <math>E_{s,in}</math> – енергія пари, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції <math>P</math>; <math>E_{e,in}</math> – електроенергія, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції <math>P</math>; <math>E_{f,in}</math> – енергія палива, яка підводиться до процесу і використовується для виробництва кількості продукції <math>P</math>.</p> <p>Споживання різних потоків енергії в рівнянні має бути приведені до первинної енергії на основі ККД виробництва відповідних форм енергії.</p>
	<p style="text-align: center;">Рисунок 3 – Потоки енергії виробничої одиниці</p> <p>Виробнича одиниця представляє більш складну ситуація, в якій мають місце як енергія, що постачається за межі системи, так і регенерація палива в межах підрозділу або процесу. Цей приклад демонструє принципи, застосовні, з</p> $w_{СП} = \frac{E_{s,in} + E_{e,in} + (E_{f,in} + E_{f,rec}) + E_{o,in} - (E_{s,out} + E_{e,out} + E_{f,out})}{P_1}$ <p>Потоки від <math>F_1</math> до <math>F_n</math> являють собою різні види сировини, яка використовується при виробництві основної продукції <math>P_1</math>, а також супутньої продукції. Потоки супутньої продукції розділені на дві групи: продукція, яка</p>

Продовження таблиці 1 – Показники енергоефективності в промисловості.

Опис процесу	Показник енергоефективності
<p>відповідними уточненнями, по багатьом підприємствам. Матеріальні потоки сировини і продукції йдуть в горизонтальному напрямку.</p>	<p>повертається в процес в якості палива (<math>P_f</math>), інші види супутньої продукції (<math>P_2</math>). Потоки енергії представляють різні види енергії, що підводиться до процесу або поставляється за його межі. Вхідні і вихідні потоки енергії представлені у вертикальному напрямку: <math>E_s</math> – пар або гаряча вода; <math>E_e</math> – підводиться електроенергія; <math>E_f</math> – паливо (газоподібне, рідке, тверде); <math>E_o</math> – інше, в цей потік включаються будь-які допоміжні ресурси, для виробництва яких потрібна енергія.</p>
<p>Рисунок 4 – Вхідні і вихідні потоки підприємства</p>	
<p>Складне виробниче підприємство може включати більше однієї виробничої одиниці або технологічного процесу. Для визначення енергоефективності підприємства в цілому його слід розділити на компоненти, в числі яких будуть як компоненти, що забезпечують основний технологічний процес, так і допоміжні компоненти. Виробниче підприємство може випускати різні види продукції, кожен з яких характеризується власною енергоємністю. Тому визначення осмислених показників енергоефективності для підприємства в цілому не завжди являє собою просту задачу.</p>	$I_{EE} = \frac{\sum_{i=\text{підр}} P_{i,j} \times w_{\text{спбаз},j}}{E_{\text{підпр}}}$ <p>де <math>I_{EE}</math> – індекс енергоефективності для підприємства; <math>P_{i,j}</math> – випуск продукції виду <math>j</math> підрозділом <math>i</math> за даний період; <math>w_{\text{спбаз},j}</math> – базове ПЕС для виду продукції <math>j</math>; <math>E_{\text{підпр}}</math> – енергоспоживання підприємства за певний період</p>

Здійснення оцінки економічної ефективності використання енергоресурсів потребує розрахунку коефіцієнту енергоефективності, який обчислюється за формулою:

$$K_{ен} = R/C, \tag{3}$$

де  $R$  – результат або ефект від здійснення енергозберігаючих заходів, грн.;  $C$  – витрати капіталу або обсяг інвестицій для реалізації енергоефективного проекту, грн.

Показники енергоефективності можуть бути прямі, тобто такі, які безпосередньо визначають ефективність використання ПЕР, і непрямі, в яких ефективність використання ПЕР прямо не відображається, але значною мірою залежить від рівня та структури використання ПЕР (таблиця 2). Система таких показників дає можливість підрахувати результати реалізації енергоефективного проекту на промисловому підприємстві [11].

Таблиця 2 – Основні показники енергоефективності підприємства

Найменування показника	Формула для обчислення показника	Позначення
Прямі показники		
Енергоемність випуску продукції, кг.у.п./грн.	$e_{в.пр.} = \frac{P}{V_b}$	де $P$ – обсяг споживання ПЕР на енергетичні цілі, кг.у.п.; $V_b$ – обсяг випуску продукції на підприємстві, грн.
Енергоемність валової доданої вартості (ВДВ), кг.у.п./грн.	$e_{ВДВ} = \frac{P}{V_{ВДВ}}$	де $V_{ВДВ}$ – обсяг ВДВ на підприємстві.
Паливоємність $V_{e(ВДВ,ВВП)}$ , електроємність $W_{e(ВДВ,ВВП)}$ , теплоємність $Q_{e(ВДВ,ВВП)}$	$B_{e(ВДВ,ВВП)} = \frac{\sum B_i}{V_{e(ВДВ,ВВП)}};$ $W_{e(ВДВ,ВВП)} = \frac{W_i}{V_{e(ВДВ,ВВП)}};$ $Q_{e(ВДВ,ВВП)} = \frac{Q_i}{V_{e(ВДВ,ВВП)}}$	де $B$ – обсяг споживання органічного палива, кг.у.п./грн.; $W$ – обсяг споживання електроенергії кВт/год; $Q$ – обсяг споживання теплової енергії, Гкал.
Коефіцієнт корисного використання енергії	$k_{кв} = \frac{E_k}{E_3}$	де $E_k$ – кількість використаної електроенергії, кВт; $E_3$ – загальна кількість електроенергії, кВт.
Непрямі показники		
Середня ціна одиниці спожитих ПЕР, грн./т у.п.	$C_{сеп}^{ПЕР} = \frac{\sum C_i \cdot B_i + T_e \cdot W + T_t \cdot Q}{\sum B_i + W + Q}$	де $C_i$ – ціна на $i$ -й вид органічного палива, грн./т.у.п.; $B_i$ – споживання $i$ -го виду органічного палива, т у.п.; $T_e$ – тариф на електроенергію, грн/кВт/год; $W$ – споживання електроенергії кВт/год/т.у.п.; $T_t$ – тариф на теплову енергію, грн/Гкал; $Q$ – споживання теплової енергії Гкал/т.у.п.
Енергоемність основних виробничих фондів, т у.п./грн.	$E_{ОВФ} = \frac{\sum B_i + W + Q}{D_{ОВФ}}$	$W$ – обсяг спожитої електроенергії кВт/год; $Q$ – обсяг спожитої теплової енергії т.у.п.; $D_{ОВФ}$ – середньорічна вартість основних виробничих фондів, грн.
Вартість спожитих ПЕР на одиницю обсягу випуску продукції, грн	$C_e = \frac{C_{пр}}{V_e}$	$C_{пр}$ – вартість спожитих ПЕР на виробництво певного обсягу випуску продукції, грн; $V_e$ – обсяг випуску продукції, грн.
Частка витрат на ПЕР в обсязі проміжного споживання (випуску), %	$l_{пс(в)} = \frac{C_{пр}}{V_{пс(в)}} \times 100\%$	$V_{пс(в)}$ – обсяг проміжнеспоживання, грн.
Частка витрат ПЕР у собівартості проукції, робіт, послуг, %	$l_{сб} = \frac{C_{пр}}{C_{сб}} \times 100\%$	$C_{сб}$ – собівартість продукції, робіт, послуг, грн.
Коефіцієнт енергоозброєності праці	$K_{енп} = \frac{N}{C_{нз}}$	$N$ – енергетична поужність підприємства, кВт/люд.; $C_{нз}$ – чисельність зайнятих працівників, люд.

З метою підвищення енергоефективності можна використовувати наступні методи [7]:

### 1. Зміни у виробничих методах і характеристиках продукції.

#### – Зміни схеми виробництва.

Можуть включати, наприклад, виведення з експлуатації збиткових виробничих ліній, зміна конфігурації допоміжного виробництва або об'єднання підрозділів з аналогічними функціями. Прагнення до підвищення енергоефективності також може бути одним з мотивів подібних змін.

#### – Припинення виробництва енергоємної продукції.

Компанія може прийняти рішення припинити виробництво певного виду продукції, що відрізняється високою енергоемністю. Це призведе до зниження як загальних, так і питомих енерговитрат підприємства.

Компанія має право розглядати таке рішення як захід з підвищення енергоефективності навіть при відсутності яких-небудь додаткових заходів.

– Делегування функцій зовнішньому підряднику (outsourcing).

Виробництво одного з видів допоміжних ресурсів, наприклад, стисненого повітря, може бути делеговане зовнішньому підряднику. Купівля стисненого повітря із зовнішнього джерела призводить до скорочення енергоспоживання підприємства з одночасним зростанням енерговитрат постачальника.

– Передача окремих етапів технологічного процесу зовнішньому підряднику.

Компанія-оператор може розглянути можливість передачі зовнішньому підряднику енергоємних етапів технологічного процесу, наприклад, термічної обробки металевих деталей. Оскільки це не скасовує необхідності у виконанні даної операції, таке рішення не може розглядатися як захід з підвищення енергоефективності, і відповідні енергозатрати повинні враховуватися при розрахунках. Даний захід може бути більш енергоефективним в силу кращого знання особливостей процесу (що сприяє оптимізації останнього), а також більшого обсягу виробництва (ефект масштабу).

## **2. Інтеграція енергосистем.**

– Внутрішнє виробництво енергії.

Внутрішнє виробництво енергії (у формі електрики або пари) без збільшення споживання первинної енергії є одним із визнаних способів підвищення енергоефективності. Засоби оптимізації останньої можуть включати обмін енергією з сусідніми процесами і установками (або непромисловими користувачами).

– Використання кисню при спалюванні палива.

Кисень може використовуватися при спалюванні палива на теплових електростанціях та інших підприємствах з метою підвищення ККД згоряння, а також зниження витрати палива. Крім того, використання кисню сприяє підвищенню енергоефективності в силу зниження масового потоку повітря в димових газах, а також скороченню викидів NO<sub>x</sub>. Проте виробництво кисню на підприємстві або за його межами, вимагає енергії, і ці енерговитрати також необхідно враховувати.

– Інтеграція процесів і розукрупнення компаній.

Будівництво виробничих комплексів з високим ступенем інтеграції забезпечує значні економічні переваги. В інших випадках ринкова стратегія полягає в розукрупненні компаній на окремі виробничі одиниці. Результатом обох процесів є виникнення складних виробничих комплексів, де присутня безліч компаній-операторів, взаємодіючих між собою. При цьому енергоресурси для такого комплексу можуть вироблятися однією з присутніх там компаній, або їх купують із зовнішніх джерел. Може також формуватися складна структура потоків енергії між виробництвами різних компаній, які перебувають на загальному майданчику.

В цілому подібні складні виробничі комплекси мають значний потенціал ефективного використання енергії за рахунок інтеграції енергосистем.

## **3. Системний підхід до менеджменту енергоефективності.**

Хоча певне енергозбереження може бути досягнуто за допомогою оптимізації окремих компонентів (наприклад, двигунів, насосів або теплообмінників), найбільший потенціал енергозбереження пов'язаний з використанням системного підходу. Такий підхід починається на рівні установки в цілому з розгляду складових її виробничих одиниць або систем та оптимізації: (а) способу взаємодії цих систем; (б) кожної системи окремо. Лише після цього має сенс звернутися до оптимізації окремих компонентів обладнання.

Системний підхід важливий, зокрема, у зв'язку з використанням енергоресурсів. Традиційно зусилля операторів зосереджені на оптимізації енергоспоживаючих процесів і обладнання – «заходи на стороні споживання».

## **4. Енергоефективне проектування.**

На етапі планування будівництва нового підприємства або установки (або великої реконструкції існуючих об'єктів) слід оцінити витрати, пов'язані з енергоспоживанням виробничих процесів, обладнання та допоміжних систем протягом усього терміну служби об'єкта. У багатьох випадках може з'ясуватися, що витрати, пов'язані з енергоспоживанням складають значну частину сукупної вартості, що розраховується для всього терміну служби підприємства та установки.

При розгляді питань енергоефективності на етапах планування чи проектування нового об'єкта потенціал енергозбереження виявляється вище, а відповідні інвестиції значно нижче, ніж при оптимізації енергоефективності підприємства в процесі комерційної експлуатації.

У процесі енергоефективного проектування використовуються ті самі технічні знання, підходи і методи, що і в процесі енергоаудиту на існуючих підприємствах. Найважливіша відмінність полягає в тому, що на етапі проектування існує можливість вибору в таких областях, як основні проектні параметри установки, виробничий процес, який використовується, основне виробниче обладнання тощо. Це робить можливим вибір найбільш енергоефективних технологій. Здійснення подібних змін на діючому підприємстві, як правило, є неможливим або вкрай витратним.



Енергоефективне проектування забезпечує найбільшу віддачу в разі нового будівництва або великої реконструкції. Однак це не повинно бути перешкодою для застосування даного методу при плануванні модернізації, реконструкції або капітального ремонту існуючих об'єктів. Оцінка реальних потреб в енергії є найважливішим елементом енергоефективного проектування, що дозволяє визначити ті області, на які будуть спрямовані основні зусилля під час наступних етапів планування і проектування.

З впровадженням енергоефективного проектування пов'язаний максимальний потенціал енергоефективності в промисловості, що також створює можливості для застосування енергоефективних рішень, впровадження яких на існуючих підприємствах може виявитися неможливим. У багатьох проектах досягаються обсяги енергозбереження, що становлять 20 – 30% від загального енергоспоживання. Ці величини значно перевершують те, що може бути досягнуто в результаті енергоаудитів на діючих підприємствах.

Будь-яке підприємство знаходиться в єднанні з зовнішнім середовищем, яке в значній мірі впливає на всю його діяльність, оскільки воно є наслідком отримання всіх ресурсів, потрібних для успішної діяльності. Підприємство не може обійтися без поставок енергетичних ресурсів, співробітників, видобутку потрібної інформації, які воно отримує саме із зовнішнього середовища, потім підприємство перетворює ці ресурси в послуги та товари, які потрапляють у зовнішнє середовище. Постійна взаємодія з зовнішнім середовищем допомагає існувати й розвиватися підприємству. Дія зовнішнього середовища на підприємство величезна, вона може виражатися в різних факторах, надавати благополучні умови для успішної роботи всього підприємства, або навпаки, представляти загрозу його існуванню. Умови дій зовнішнього середовища різноманітні, вони складаються з безлічі компонентів, які надають різний вплив на процвітання підприємства. Неможливо підприємству бути у відриві від зовнішнього середовища, слід постійно з ним контактувати. Різноманітність складових зовнішнього середовища в значній мірі впливають на підприємство кожне у своєму ступені і періодичності. І для успішного розвитку необхідно проводити дослідження факторів, що впливають на процвітання підприємства. Для цього використовують PEST аналіз. Він являє собою деяку макроекономічну модель, в якій відображена оцінка впливу зовнішнього середовища на діяльність підприємства.

PEST аналіз – це стратегічний аналіз соціальних (S – social), технологічних (T – technological), економічних (E – economic), політичних (P – political) факторів зовнішнього середовища організації. Він застосовується в процесі стратегічного планування та управління великими підприємствами, а також для цілей оцінки інвестиційних ризиків.

Аналіз виконується за схемою «фактор – підприємство». Результати PESTаналізу дозволяють оцінити зовнішню економічну ситуацію, що складається у сфері виробництва та комерційної діяльності в найближчій перспективі декількох років [14, 15].

При аналізі ефективності реалізації енергозберігаючих заходів доцільно враховувати як системні властивості (наприклад, критерії вибору енергозберігаючих заходів), у першу чергу міжсистемні зв'язки елементів, так і вимоги, що висуваються до їх моделей, з точки зору адекватності (достовірності) відображення енергетичних та інформаційних сигналів. Необхідно враховувати множину значимих характеристик відповідної системи, сформулювавши при цьому жорстко обґрунтовані припущення та вибравши форму представлення моделі, рівень її деталізації [16].

При оцінці та виборі системи енергозберігаючих, екологічно прийнятих заходів часто необхідно використовувати багатоваріантний аналіз – скалярну та векторну оптимізацію, залучаючи для цього різні моделі, наприклад, тренди, регресійні моделі, Парето-поверхні, розмиті множини тощо. При виборі енергоефективного обладнання і критеріїв вибору енергозберігаючих заходів можна виділити як перспективний метод аналізу ієрархій [17, 18], який полягає в декомпозиції задачі вибору на більш прості складові частини і подальшій обробці послідовності рішень експерта на основі парних порівнянь. Пропонована методика вибору енергоефективного обладнання і критеріїв вибору енергозберігаючих заходів дозволяє здійснювати порівняння альтернативних варіантів і може бути використана для обґрунтування вибору енергозберігаючих заходів.

Базовими елементами в процесі підвищення енергоефективності підприємства є розробка відповідної системи критеріїв оцінки та її елементів, методик оцінки ефективності схем функціонування в режимах оптимального споживання енергоносіїв, проведення їх енерготехнологічного обстеження та оцінки взаємного впливу окремих елементів. Щодо процедури досягнення ефективності енергоресурсів, то вони визначаються багатьма факторами, що обумовлюють існування та застосування відносно великої кількості показників. Визначення та урахування цих факторів, а також у першу чергу їх пріоритетності, обумовило необхідність застосування трьох систем показників: енергетичних, економічних, екологічних, що вважається достатнім для всебічної оцінки ефективності нововведень [19, 20].

У багатьох енергетичних процесах використовують якісно нерівноцінні енергоресурси, а саме таку енергію, як механічну, електричну та хімічну. Це визначає необхідність існування величини, яка дозволяє порівнювати неоднорідні енергоресурси за фізично однорідними категоріями. Такою величиною може стати критерій екологічно-економічної ефективності, який буде слугувати критерієм для порівняння

різних енерготехнологій за економічними, екологічними і технічними параметрами. Він розраховується за такою формулою:

$$E = E_1 \times E_2 \times E_3, \quad (4)$$

де  $E_1, E_2, E_3$  – відповідно параметри екологічності, економічності, ефективності [16,19].

Проблема енергозбереження тісно пов'язана з екологічною, оскільки видобуток, переробка та споживання енергоресурсів практично завжди супроводжуються забрудненням навколишнього середовища. При виявленні резервів покращення екологічної ситуації шляхом зниження викидів у процесі спалювання палива можливе виконання умов забезпечення охорони життєдіяльності людини. Це може бути досягнуто при раціональному підборі видів палива за рахунок впровадження досконалих критеріїв вибору енергозберігаючих заходів, використання повномасштабної та часткової підготовки палива до спалювання, впровадження нових технологій, пошуку нетрадиційних відновлюваних альтернативних джерел енергії та використання вторинних ресурсів [21, 22].

Критерії екологічності можна представити у вигляді:

$$E_1 = E_B \times E_{AB}, \quad (5)$$

де  $E_B$  та  $E_{AB}$  – екологічна та абсолютно екологічна безпечність.

Екологічна шкода, яка буде заподіяна середовищу, визначається згідно співвідношення:

$$E_B = 1/E_B', \quad (6)$$

Можна зазначити ще одну умову впровадження енергозберігаючих заходів, яка буде впливати на екологічність – скорочення споживання енергоресурсів, яке має здійснюватися на фоні контрольованої якості. Завдяки цьому викиди шкідливих речовин будуть автоматично скорочуватись.

Систему економічних показників для визначення економічної ефективності енергозберігаючих заходів складають вартісні показники використання енергоресурсів і супутніх виробничих процесів з метою попередження можливих втрат та покращення результатів діяльності галузі економіки, регіону або підприємства (організації) [19].

Завдяки існуючій у світовій практиці методиці розрахунку ефективності, енергозберігаючі проекти або заходи слід проводити з використанням таких показників, як чистий дисконтований прибуток, термін окупності, індекс прибутковості [19, 20]. Наприклад, у процесі визначення ефективності енергозберігаючого проекту необхідно провести порівняння різночасових економічних показників шляхом їх приведення до якогось одного певного моменту. Результати дослідження дають змогу вважати енергозберігаючий захід або проект економічно ефективним при наявності прибутку, який утворився при впровадженні даного заходу:

$$E_2 = \frac{C_{зп} \times Q_{зп}}{B_{\Sigma}}, \quad (7)$$

де  $C_{зп}$  та  $Q_{зп}$  – ціна та вартість заміщеного умовно палива;  $B_{\Sigma}$  – сумарні приведені витрати за термін служби генеруючого енергооб'єкта. Величина  $B_{\Sigma}$  визначається як сума наступних доданків:

$$B_{\Sigma} = B_B + B_E + B_{П} + B_{Тр} + B_{Л.П.} + B_{Д} + B_{Е.ЗБ}, \quad (8)$$

де  $B_B, B_E, B_{П}, B_{Тр}, B_{Л.П.}, B_{Д}$  – приведені затрати на будівництво генеруючого енергооб'єкта, його експлуатацію протягом терміну служби, на паливо, транспорт, лінії електропередач і додаткові витрати;  $B_{Е.ЗБ}$  – приведені сумарні витрати на компенсацію екологічного збитку. Величина  $C_{зп} \times Q_{зп} = E_{П}$  визначає економічну ефективність від заміщення палива. Це досить таки важливий показник, оскільки може порівнювати різні технології і визначення економічного ефекту від використання енергетичного потенціалу [16].

Отже, показники ефективності використання ПЕР дають змогу порівняти у просторі та часі рівень ефективності використання цих ресурсів в агрегатах, технологічних процесах, підприємствах, об'єднаннях, організаціях, за видами економічної діяльності, в галузях економіки й промисловості, регіонах і у державі, а також ефективність структури споживання енергоносіїв з погляду економічної доцільності їхнього застосування у різних технологічних процесах й агрегатах з урахуванням енергетичного ефекту та ціни на них тощо.

Підвищення енергоефективності на підприємстві підвищує доходи підприємства і, разом з тим, приносить такі результати як:

- заощадження коштів, що забезпечує зростання конкурентоспроможності підприємства, особливо при зростанні цін на енергоносії;
- збільшення продуктивності через удосконалення виробничих процесів, що пов'язані із способом використання енергії;
- встановлення квот на викиди, що дозволяє знизити залежність від цін на енергоносії, зменшити ризики компанії, що, в свою чергу, підвищує вартість підприємства;
- скорочення викидів у навколишнє середовище, через що покращується екологічний стан, а з ним – імідж підприємства.

Набір показників, який входить до складу системи оцінки енергоефективності, для кожного підприємства необхідно уточнювати, звертаючи увагу на енергоємність продукції, масштаби виробництва, а також особливості технологічних процесів, що допускають застосування альтернативних енергоносіїв. Також при формуванні набору показників необхідно звертати увагу на проблеми енергоефективності, які є загальними для інфраструктури, а саме значна втрата теплової енергії в допоміжних процесах, високий фізичний і моральний знос устаткування, неефективне використання вторинних ресурсів, низьке завантаження технологічних потужностей та інше. Наведені показники слід використовувати як базову систему показників, в яку необхідно, в залежності від обставин, вносити додаткові критерії енергоефективності.

#### **Список літератури:**

1. Енергетичний потенціал України. [Електронний ресурс]:// <http://www.necin.com.ua/energetika-ukrayini/23-energetichniy-potencial-ukrayini.html>
2. Иншаков О.В., Богачкова Л.Ю., Олейник О.С. Повышение энергоэффективности в контексте вступления России в ВТО: проблема, межрегиональные сравнения, пути решения. // Современная экономика: проблемы и решения. – 2013. – № 1. – С. 17 – 31.
3. Національний план дій з з енергоефективності на період до 2020 року. [Електронний ресурс]://<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15>
4. Гололобова О.М.; Ларка М.І. Аналіз рівня використання потенціалу енергозбереження в промисловості України. // Сборник научных трудов «Вестник НТУ "ХПИ"» Технічний прогрес та ефективність виробництва – 2015. – № 25. – С. 127 – 134.
5. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]: // [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials\\_RU\\_final\\_FULL.PDF](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_RU_final_FULL.PDF)
6. Никитина О.Л., Кокорин Д.В., Лебедев Н.А. Энергоэффективность и ресурсосбережение в России. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул). [Электронный ресурс]:// [http://edu.secna.ru/media/f/innov\\_fin\\_menedgment\\_tez\\_2013.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/innov_fin_menedgment_tez_2013.pdf)
7. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. Проект Программы сотрудничества ЕС и России "Гармонизация экологических стандартов II" Представительство ВР в России РХТУ имени Д.И. Менделеева 2009 г. [Электронный ресурс]: // [http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/Power\\_efficiency.pdf](http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/Power_efficiency.pdf)
8. Башмаков И.А. Российский ресурс энергоэффективности: масштабы, затраты и выгоды // Вопросы экономики. – 2009. – №2. – С.71 – 89.
9. Бушуев В.В. Энергоэффективность. (социально-технологические и экономические аспекты) тезисы. [Электронный ресурс]: // [http://www.energystrategy.ru/ab\\_ins/source/Bushuev\\_Strong\\_Rus-25.06.10.doc](http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/Bushuev_Strong_Rus-25.06.10.doc).
10. Показатели энергоэффективности: основы статистики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]: // <https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/EEIrussianversion.PDF>
11. Сердюк Б. М., Маслікевич М.Р. Сутність оцінки енергоефективності підприємства. [Електронний ресурс]:// [http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2011\\_29.pdf](http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2011_29.pdf)
12. Системи енергетичні технічні. Основні положення (ISO 13600:1997, IDT) / пер. і наук. – техн. ред. Б. Стогній [та ін.]. – Чинний від 2002.04.01. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2001. – IV, 9 с. – (Державний стандарт України).
13. Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту (ISO 13601:1998, IDS) / пер. та наук.–техн. ред. Б. Стогній [та ін.]. – Чинний від 2002.05.01. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 2001. – IV, 31 с. – (Державний стандарт України).
14. PEST анализ и пример его проведения. [Электронный ресурс]://<http://profmeter.com.ua/communication/learning/course/course12/lesson253/>
15. PEST анализ. [Электронный ресурс]://<http://www.markint.ru/pest-analiz/>
16. Беляев Ю.М. Критерии эколого-экономической эффективности энергетических технологий // Промышленная энергетика. – 2003. – № 8. – С.39 – 44.
17. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
18. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
19. Микитенко В.В. Оцінка ефективності енерго- і ресурсозберігаючих технологій // Проблеми науки. – 2001. – № 12. – С.35 – 41.
20. Микитенко В.В. Інноваційна модель аналізу та прогнозу ефективності галузей і технологій // Проблеми науки. – 2002. – №4. – С.37 – 41.
21. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

22. Конторович Л.Н., Кирпичевский С.Г. Лингвистическая модель постановки задачи оптимизации трансформаторов с системе ОПТРАН // Методы анализа режимов электроэнергетических систем и установок. – К.: Наук. Думка, 1987.

S.P. Denysyuk, V.I. Vasilenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

### ENERGY, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ENERGY EFFICIENCY INDICATORS

*In the article is considered the problem of energy efficiency in Ukraine. Questions of increase of energy efficiency are identified. Represented the main indicators of energy efficiency in the industry for a simple process, production units and the enterprise as a whole. Resulted main methods of increasing energy efficiency.*

*The analysis of the need for the three indicators: energy, economic, environmental, considered sufficient to assess the effectiveness of comprehensive innovation.*

**Keywords:** energy efficiency, fuel and energy resources, energy conservation, energy efficiency indicators, systems approach, energy efficient design.

#### References:

1. The energy potential of Ukraine. [Electronic resource]: // <http://www.necin.com.ua/energetika-ukrayini/23-energetichniy-potencial-ukrayini.html>
2. Inshakov O.V., Bogachkova L.Y., Oleinik O.S. Improving energy efficiency in the context of Russia's WTO accession: the problem, inter-regional comparisons and solutions. // *Modern Economy: Problems and Solutions*. – 2013. – № 1. – С. 17 – 31.
3. National Action Plan on energy efficiency for the period until 2020. [Electronic resource]: // <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15>
4. Goloshchapov A.M.; Lark M.I. Analysis of the use of energy efficiency potential in industry of Ukraine. // *Collection of scientific works "Vestnik NU" HPI " Technological advances and efficiency – 2015*. – № 25. – С. 127 – 134.
5. Energy efficiency indicators: the bases of formation of policy. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. [Electronic resource]: // [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials\\_RU\\_final\\_FULL.PDF](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_RU_final_FULL.PDF)
6. Nikitina O.L., Kokorin D.V., Lebedev N.A. Energy efficiency and resource conservation in Russia. Altai State Technical University. II Polzunova I.I. (Barnaul). [Electronic resource]: // [http://edu.secna.ru/media/f/innov\\_fin\\_menedgment\\_tez\\_2013.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/innov_fin_menedgment_tez_2013.pdf)
7. Reference Document on best available techniques for energy efficiency. Draft Programme of cooperation between the EU and Russia "Harmonisation of Environmental Standards II" Representation of BP's Russian name RCTU D.I. Mendeleev in 2009 [electronic resource]: // [http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/Power\\_efficiency.pdf](http://www.muctr.ru/univsubs/ecocentre/files/Power_efficiency.pdf)
8. Bashmakov I.A. Russian energy efficiency resources: the scope, costs and benefits // *Questions of economy*. – 2009. – №2. – С.71 – 89.
9. V.V. Bushuyev. Energy efficiency. (socio-technological and economic aspects) theses. [Electronic resource]: // [http://www.energystrategy.ru/ab\\_ins/source/Bushuev\\_Strong\\_Rus-25.06.10.doc](http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/Bushuev_Strong_Rus-25.06.10.doc)
10. Energy efficiency indicators: fundamentals of statistics. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. [Electronic resource]: // [https://www.iea.org/media/training/euukraine2015/EEI\\_russianversion.PDF](https://www.iea.org/media/training/euukraine2015/EEI_russianversion.PDF)
11. Serdyuk B.N., Mazurkiewicz M.R. The essence of the evaluation of energy efficiency. [Electronic resource]: // [http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2011\\_29.pdf](http://probl-economy.kpi.ua/pdf/2011_29.pdf)
12. Energy systems engineering. Basic provisions (ISO 13600: 1997, IDT) / Lane. and Sciences. – Engineering. Ed. B. Stogniy [et al.]. – Effective as of 2002.04.01. – Official. kind. – K.: State Standard of Ukraine, 2001. – IV, 9 p. – (State Standard of Ukraine).
13. Energy systems engineering. Structure for analysis. The sectors of energy supply and consumption (ISO 13601: 1998, IDS) / Lane. and Sciences. – Engineering. Ed. B. Stogniy [et al.]. – Effective as of 2002.05.01. – Official. kind. – K.: State Standard of Ukraine, 2001. – IV, 31 p. – (State Standard of Ukraine).
14. PEST analysis and Example of its Conducting. [Electronic resource]: // <http://profmeter.com.ua/communication/learning/course/course12/lesson253/>
15. PEST analysis. [Electronic resource]: // <http://www.markint.ru/pest-analiz/>
16. Y. M. Belyaev. Criteria for environmental and economic efficiency of energy technologies // *Industrial Energy*. – 2003. – № 8. – С.39 – 44.
17. T. Saaty, K. Kearns. Analytical planning. Organisation systems. – M.: Radio and Communications, 1991. – 224 c.
18. T. Saaty. Making decisions. The method of analysis of hierarchies. – M.: Radio and Communications, 1993. – 278 c.
19. V. V. Mikitenko. Evaluating the effectiveness of energy and resource saving technologies // *Problems of Science*. – 2001. – № 12. – С.35 – 41.

20. V. V. Mikitenko. The innovative model of analysis and forecasting efficiency of industries and technologies // Problems of science. – 2002. – №4. – С.37 – 41.

21. M. P. Kovalko, S. P. Denysyuk/ Energy efficiency – a priority direction of state policy of Ukraine. – Kyiv: UEZ, 1998. – 506 с.

22. L. N. Kontorovich, S. G. Kirpichevsky. The linguistic model posing the problem of optimizing the system transformers OPTRAN // Methods of analysis modes elektroenergeticheskikh systems and plants. – K. : Science Dumka, 1987.

**УДК 621.38**

**С.П. Денисюк, д-р техн. наук, профессор, В.И. Василенко**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

*В статье рассмотрена проблема эффективного использования энергетических ресурсов в Украине. Определены вопросы повышения энергетической эффективности, представлены основные показатели энергоэффективности в промышленности для простого технологического процесса, производственной единицы и предприятия в целом. Приведены основные методы повышения энергоэффективности.*

*Проанализирована необходимость применения трех систем показателей: энергетических, экономических, экологических, что является достаточным для всесторонней оценки эффективности нововведений.*

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, топливно-энергетические ресурсы, энергосбережения, энергетические показатели энергоэффективности, системный подход, энергоэффективное проектирование.

Надійшла 21.01.2016

Received 21.01.2016

**УДК 504.064.4:658.567.3**

**Ю.С. Калмыкова, асс., \*В.И. Ларин, д-р хим. наук, проф., Э.Б. Хоботова, д-р хим. наук., проф.  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
\*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина**

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТВАЛЬНЫХ  
ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ**

*Приведены результаты разработки шлакощелочных вяжущих (ШЩВ) на основе доменных шлаков металлургических комбинатов Украины. Определен минералогический, элементный и оксидный составы шлаков и ШЩВ. Разработан способ изготовления радиационно-безопасных ШЩВ. Рассчитан экономический эффект при использовании отвальных доменных шлаков в строительной отрасли и доказана экономическая привлекательность инвестиционного проекта.*

**Ключевые слова:** отвальные доменные шлаки, загрязнение, утилизация, производство строительных материалов, экономический эффект.

**Вступление.** Шлаки черной металлургии являются неизбежным побочным продуктом основного производства, выход которых составляет 10- 40 % от произведенного металла. Они наносят серьезный вред окружающей среде и здоровью человека, занимают огромные площади, загрязняют токсическими соединениями почву, водный и воздушный бассейны, повышают себестоимость готовой продукции предприятий из-за значительных затрат на их транспортировку, размещение и хранение. В то же время, такие отходы, представляющие собой техногенные месторождения ценного вторичного сырья, могут обеспечить потребности промышленного производства в дорогостоящей и дефицитной для Украины продукции. Они находят широкое использование в дорожном строительстве, общестроительных работах при подготовке территорий. Однако объемы шлаков, которые скапливаются у ведущих производителей металла в Украине, значительно превышают потребности традиционных потребителей, и металлургические предприятия вынуждены искать новые направления использования шлаков.

Вопрос об использовании шлаков черной металлургии имеет большую историю. Известны многочисленные примеры использования металлургических шлаков в XVIII-XIX вв. С развитием техники в этой области открывались все новые пути и возможности. По словам академика И. П. Бардина шлаки – это вовсе не отходы, как было принято считать в течение столетий и как по инерции считают и сейчас нерадивые хозяйственники. Вопросы переработки шлаков в отдельные виды продукции рассматривались в работах П. П. Будникова, И. А. Значко-Яворского [1], Н. А. Сперантова и А. В. Тысского [2].

Анализ данных [3] о технических полезных свойствах металлургических шлаков Украины и опыта использования их в промышленных гидротехнических и других природоохранных объектах показал широкий диапазон возможностей их применения взамен естественных каменных и грунтовых материалов, а также бетонных элементов конструкций. Имеются все необходимые предпосылки для превращения шлаков черной металлургии из бросовых отходов в ценное сырье для народного хозяйства [4]. Шлаки – это база для дальнейшего строительства. Из доменных шлаков можно получить щебень, шлаковую пемзу, вяжущие вещества и элементы строительных конструкций. Шлакоперерабатывающие предприятия необходимо включать в единый технологический комплекс металлургических заводов.

**Постановка задачи.** Утилизация шлаков в производстве различных строительных материалов имеет преимущества в виде экономии средств, труда и природных ресурсов. Проявление отвальными доменными шлаками гидравлической активности легло в основу разработки способов получения на их основе шлакощелочных вяжущих (ШЩВ). Изучены свойства отвалных доменных шлаков металлургических комбинатов Украины: ОАО «Запорожсталь»; ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича» (ММК); ОАО Днепровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского (ДМК); ПАО Алчевский металлургический комбинат (АМК); ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» («АрселорМиттал»). В последнем случае исследованы отвалный и гранулированный доменный шлак. Составы шлаков изучены в работах [5, 6]. Показано, что отвалыные шлаки содержат достаточное количество аморфизированных веществ [7, 8], чтобы рассматриваться в качестве сырьевых компонентов производства ШЩВ. Согласно химическому, минералогическому и радионуклидному анализу отвалыные доменные шлаки можно использовать при производстве радиационно-безопасных ШЩВ.

**Получение ШЩВ.** Основываясь на полученных данных, разработаны способы производства ШЩВ, которые могут использоваться на предприятиях при изготовлении ШЩВ с пониженной радиационной активностью, предназначенных для сооружения зданий социального и жилого назначения [9-11]. Поставлена задача обеспечения высокой гидравлической активности и одновременного уменьшения удельной активности естественных радионуклидов (ЕР) утилизируемых шлаковых компонентов, решения экологической проблемы за счет ликвидации шлаковых отвалов при использовании фракций отвалных доменных шлаков затворением определенным щелочным реагентом, поддержания во времени высокой активности вяжущего, получения ШЩВ низкой стоимости с высокими прочностными характеристиками и специальными свойствами: высокой плотностью и жаростойкостью. Предложена определенная последовательность технологических операций. Проводится предварительное рассеивание отвалных доменных шлаков на гранулометрические фракции. В технологическом процессе используются фракции с высоким содержанием гидравлически активных минералов и низким уровнем радиоактивности, которые затворяются при перемешивании с одним из щелочных компонентов: 20 % раствором NaOH, 42,4 % раствором метасиликата натрия  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  (плотность  $\rho = 1,32 \text{ г/см}^3$ ), содощелочным плавом как отходом производства, представляющим водный раствор с массовыми долями компонентов, %: 33,7  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и 0,71 NaOH.

Схема способа изготовления радиационно-безопасных ШЩВ [9-11] представлена на рис. 1.

Отвалный доменный шлак из шлакового отвала 1 поступает в блок рассеивания 2, в котором с помощью набора сит осуществляют разделение шлака на гранулометрические фракции. Фракции шлака последовательно анализируются на радиационную безопасность в блоке 3 и на гидравлическую активность в блоке 4. Отобранная фракция, обладающая высокими гидравлическими свойствами и низкой удельной радиоактивностью, измельчается в шаровой мельнице 5 до удельной поверхности 270-495  $\text{м}^2/\text{кг}$ . Из шаровой мельницы 5 шлаковая мука через дозатор 6 поступает на смешивание шлака и щелочного компонента в емкость 7, оснащенную лопастными мешалками. В емкость 7 через дозатор 8 и насос 9 подают щелочной компонент, который предварительно приготавливают и хранят в резервуаре 10. Тщательно перемешанное готовое к применению ШЩВ поступает и резервуар 11, далее – на потребление. Способ относительно прост и может быть осуществлен с помощью стандартного оборудования. На способ получен патент.

Представленный способ имеет следующие преимущества: увеличение гидравлической активности утилизируемого шлакового компонента, обеспечение радиационной безопасности получаемого продукта, повышение экономической и экологической эффективности способа за счет использования отхода производства, снижение удельных капиталовложений, поддержание во времени высокой активности вяжущего, получение дешевых ШЩВ с высокими прочностными характеристиками, простота осуществления технологического процесса и используемого оборудования.



Необходим расчет и анализ финансовых показателей проекта создания линии по переработке вторичного сырья [12]. При этом все финансовые потоки (доходы от предлагаемого мероприятия, а так же текущие затраты на его реализацию) следует дисконтировать по той же норме дисконта, применяемого при определении дисконтированной стоимости проекта. Инвестиционный проект создания линии по переработке вторичного сырья считается финансово реализуемым, если его дисконтированный результат будет больше либо равен нулю. Для установления привлекательности инвестиционного проекта существует ряд показателей [12], в первую очередь, к которым следует отнести:

– чистый приведенный доход (ЧПД), представляющий разницу совокупного дохода, рассчитанного за период реализации проекта, и всех видов расходов, суммированных за тот же период, с учетом фактора времени (с дисконтированием разновременных доходов и расходов). Этот показатель рассчитывается аналитически, а также отображается в таблице денежных потоков. Максимум чистого денежного дохода выступает как один из важнейших критериев при обосновании проекта. Он обеспечивает максимизацию доходов владельцев капитала в долгосрочном плане. Величину ЧПД по годам реализации проекта определяют по формуле:

$$NVP = \sum_{t=0}^T \frac{P_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=t_n}^{t_c} \frac{KV_t}{(1+r)^t}, \text{ грн,}$$

где  $P_t$  – денежный поток (результат, достигаемый на каждом  $t$ -ом шаге расчета), грн;

$KV_t$  – сумма дисконтированных капитальных вложений на осуществляемое мероприятие, грн;

$T$  – горизонт расчета, лет;

$t_c$  – год начала инвестирования проекта;

$t_n$  – год завершения реализации проекта.

– индекс доходности (ИД), рассчитывается для каждого года реализации проекта. Этот показатель тесно связан с величиной  $NPV$ . При  $NPV > 0$   $PI > 1$  и наоборот, если  $PI > 1$  – проект эффективен, при  $PI < 1$  – неэффективен. Значение индекса доходности определяется как:

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{P_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{KV_t}{(1+r)^t}}.$$

– внутренняя норма доходности (ВНД) определяется аналитически как такое пороговое значение рентабельности, которое обеспечивает равенство нулю чистого приведенного дохода, рассчитанного за экономический срок жизни инвестиций. На практике его часто находят методом подбора, то есть, перебором различных значений учетных ставок. Проект считается рентабельным, если величина внутренней нормы доходности равна или больше требуемой инвестором нормы дохода на капитал. В противном случае инвестиции в данный проект нецелесообразны. Показатель внутренней нормы доходности следует определять по формуле:

$$IRR \rightarrow \sum_{t=0}^T \frac{P_t}{(1+r_{\text{вн}})^t} \cong \sum_{t=0}^T \frac{KV_t}{(1+r_{\text{вн}})^t},$$

где  $r_{\text{вн}}$  – норма дисконта, при которой величина приведенного финансового результата равна приведенным капиталовложениям.

Нельзя рассматривать каждый из перечисленных критериев самостоятельно, потому что этого недостаточно для принятия решения. Решение об инвестировании средств в осуществление технологического процесса по переработке вторичного сырья должно приниматься за учетом всех перечисленных критериев, что показано в таблице 1 и изображено графически на рисунке 2.

Проведенные расчеты показали, что инвестирование проекта по утилизации отвальных доменных шлаков является привлекательным для инвесторов.



Таблица 1 – Результаты расчета привлекательности инвестиционного проекта

Год реализации проекта (T)	Амортизационные отчисления по годам реализации (At), грн	Приведенный денежный поток по годам реализации (Pt), грн	Чистый приведенный доход по годам реализации (NVPt), грн	Индекс доходности по годам реализации (PIt)
1	2	3	4	5
1	350 000	1 080 000	-1 983 610	0,309
2	315 000	1 045 000	-1 281 510	0,553
3	283 500	1 013 500	-723 370	0,748
4	255 150	985 150	-278 670	0,903
5	229 640	959 640	76 390	1,027
6	206 670	936 670	360 460	1,126
7	186 000	916 000	588 170	1,205
8	167 400	897 400	771 030	1,269
9	150 660	880 660	918 110	1,361
10	135 600	865 600	1 036 610	1,320

Величина чистого приведенного дохода к концу реализации проекта при норме дисконта, равной 22 %, составляет 1 036 610 грн, срок их окупаемости – порядка 4 года 3 месяца, индекс доходности составляет 1,32, а внутренняя норма доходности превышает 38 %, что свидетельствует об устойчивости проекта.

### Срок окупаемости капиталовложений, лет

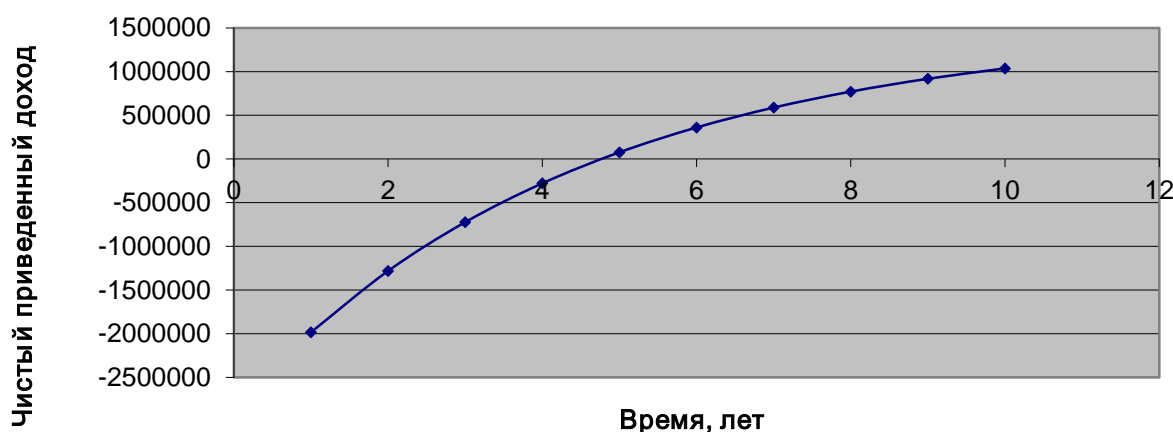


Рисунок 2 – Срок окупаемости капиталовложений, вложенных в проект по годам

**Преимущества использования металлургических шлаков** в сфере природоохранной деятельности взамен естественных материалов состоят в следующем:

- низкая стоимость материала (для шлаков, накопленных в отвалах, она фактически определяется затратами на перевозку до места строительства);
- возможность выполнять из шлаковых материалов различные элементы конструкций (упорные призмы, фильтрующие насыпи, противофильтрационные элементы) благодаря разнообразию их свойств;
- высвобождение площадей из-под отвалов у предприятий-производителей;
- возможность экономии природных ресурсов и снижения нагрузки на природную среду в районах добычи полезных ископаемых.

#### Выводы:

– Разработаны способы изготовления радиационно-безопасных шлакощелочных вяжущих с пониженной радиационной активностью с использованием отвального доменного шлака. Обоснованы стадии производственного процесса и технологическая схема, обеспечивающая преимущества в решении задач охраны окружающей природной среды и радиационной защиты населения.

– Обоснован экономический эффект использования отвальных доменных шлаков в строительной промышленности. Показано, что величина чистого приведенного дохода к концу реализации проекта

составляет 1 036 610 грн, срок их окупаемости – порядка 4 года 3 месяца, индекс доходности составляет 1,32, внутренняя норма доходности превышает 38 %, что свидетельствует об устойчивости проекта.

– Для реализации этих подходов производителям необходимо не только активизировать работу по стандартизации и сертификации шлаковой продукции, но и серьезное внимание уделять маркетингу рынка сбыта в этой сфере и обеспечить рекламу шлаковых материалов, в том числе с привлечением Интернет ресурсов.

#### Список литературы

1. Будников П. П. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы / П. П. Будников, И. Л. Значко-Яворский; под общ. ред. Ю. М. Бута. – М.: Промстройиздат, 1953. – 224 с.
2. Экономика использования металлургических шлаков / В. И. Довгопол – М.: Металлургия, 1964. – 110 с.
3. Цыганков В.Н., Свиренко Л.П., Михович Г.С. Строительные и экологические аспекты при регламентировании использования металлургических шлаков в промышленной гидротехнике/ Сб. научн. трудов XIII международн. научно-технической конференции “Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейна. Утилизация отходов. В 2-х т. Научн. ред. Костенко В.Ф. – Харьков: УкрВОДГЕО, 2005. Т.2. – С. 749-752.
4. Сперантов Н.А. Шлаковая вата // Н. А. Сперантов, А. В. Тысский; ред. К. Э. Горяйнов. – М.: Металлургиздат, 1953. – 191 с.
5. Уханёва М. И. Минералогия отвального доменного шлака и возможности его использования в строительстве / М. И. Уханёва, Э. Б. Хоботова, В. Н. Баумер // Проблемы охраны и использования природных ресурсов та екол. безпеки: зб. наук. пр. / УкрНДІЕП. – Х.: «Райдер», 2010. – Вип. XXXII. – С. 217-233.
6. Хоботова Э. Б. Отвальный доменный шлак как сырьевой компонент вяжущих веществ / Э. Б. Хоботова, Ю. С. Калмыкова // Экология и промышленность. – 2011. – № 1. – С. 35-40.
7. Хоботова Э. Б. Аморфная составляющая отвального доменного шлака ОАО «Запорожсталь» / Э. Б. Хоботова, М. И. Уханева, Ю. С. Калмыкова // Сб. науч. тр. XIX междунар. науч.-техн. конф. «Экологич. и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов». – Х.: УкрВОДГЕО, 2011. – С. 452-457.
8. Исследование радиоактивных свойств доменного шлака / Э. Б. Хоботова, М. И. Уханёва, В. Н. Баумер, Ю. С. Калмыкова // Наук. пр. ДонНТУ. Сер. Хімія і хім. технологія. – Донецьк, 2009. – Вип. 13. – С. 118-127.
9. Пат. UA 88689, МПК С 04 В 18/00. Спосіб виготовлення радіаційно безпечних шлаколузних в'язучих з використанням відвальних доменних шлаків / Хоботова Е.Б., Толмачов С.М., Беліченко О.А., Калмикова Ю.С.; власник Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – № U 2013 12846; заявл. 04.11.13; опубл. 25.03.14, Бюл. № 6.
10. Пат. UA 92438, МПК С 09 К 103/00(2006.01). Спосіб виготовлення радіаційно безпечних шлаколузних в'язучих на основі відвальних доменних шлаків і лужних компонентів / Хоботова Е.Б., Калмикова Ю.С.; власник Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – № U 2014 03571; заявл. 07.04.14; опубл. 11.08.14, Бюл. № 15.
11. Пат. UA 92992, МПК С 09 К 109/00 (2006.01). Спосіб виготовлення радіаційно безпечних шлаколузних в'язучих на основі відвальних доменних шлаків і метасилікату натрію / Хоботова Е.Б., Калмикова Ю.С.; власник Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – № U 2014 04264; заявл. 22.04.14; опубл. 10.09.14, Бюл. № 17.
12. Недов П.П., Желнин А.В. Экономический анализ капитальных инвестиций. – Х.: Плеяда, 1998. – 255 с.

**Yu. S. Kalmykova, \* V.I. Larin, E.B. Khobotova**  
**Kharkov National Automobile and Highway University**  
**\*Kharkov National V. N. Karazin University**

#### THE RATIONAL WAY USING OF DUMP BLAST FURNACE SLAG

*The results of development of slag-alkaline binders (SAB) based on blast furnace slags of Ukrainian metallurgical plants are presented. The mineralogical, elemental and oxide compositions of slags and SAB are determined. The method of radiation-safe SAB production are developed. The economic effect of blast furnace slags using in building industry are calculated and the economic attractiveness of investment project are proved.*

**Key words:** dump blast furnace slag, pollution, utilization, production of building materials, economic effect.

#### References

1. Tekst dlya per1. Budnikov P.P. Granulirovannyye domennyie shlaki i shlakovyie tsementyi / P.P. Budnikov, I. L. Znachko-Yavorskiy; pod obsch. red. Yu. M. Buta. – М.: Promstroyizdat, 1953. – 224 s.
2. Ekonomika ispolzovaniya metallurgicheskikh shlakov / V.I. Dovgopol – М.: Metallurgiya, 1964. – 110 s.

3. Tsygankov V.N., Svirengo L.P., Mihovich G.S. Stroitelnyie i ekologicheskie aspektyi pri reglamentirovaniі ispolzovaniya metallurgicheskikh shlakov v promyshlennoy gidrotehnikе/ Sb. nauchn. trudov HIII mezhdunarodn. nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Ekologiya i zdorove cheloveka. Ohrana vodnogo i vozdušnogo basseyna. Utilizatsiya othodov. V 2-h t. Nauchn. red. Kostenko V.F. – Harkov: UkrVODGEO, 2005. T.2. – S. 749-752.

4. Sperantov N.A. Shlakovaya vata // N. A. Sperantov, A.V. Tyisskiy; red. K. E. Goryaynov. – M.: Metallurgizdat, 1953. – 191 s.

5. Uhanyova M. I. Mineralogiya otvalnogo domennogo shlaka i vozmozhnosti ego ispolzovaniya v stroitelstve / M.I. Uhanyova, E.B. Hobotova, V.N. Baumer // Problemi ohoroni navkol. prirodno seredovischa ta ekol. bezpeki: zb. nauk. pr. / UkrNDIEP. – H.: «Rayder», 2010. – Vip. HHHII. – S. 217-233.

6. Hobotova E.B. Otvalnyiy domennyiy shlak kak syirevoy komponent vyazhuschih veschestv / E.B. Hobotova, Yu. S. Kalmyikova// Ekologiya i promyshlennost. – 2011. – № 1. – S. 35-40.

7. Hobotova E. B. Amorfnyaya sostavlyayuschaya otvalnogo domennogo shlaka OAO «Zaporozhstal» / E.B. Hobotova, M.I. Uhanеva, Yu.S. Kalmyikova // Sb. nauch. tr. XIX mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Ekologich. i tehnogennaya bezopasnost. Ohrana vodnogo i vozdušnogo basseynov. Utilizatsiya othodov». – H.: UkrVODGEO, 2011. – S. 452-457.

8. Issledovanie radioaktivnyih svoystv domennogo shlaka / E. B. Hobotova, M.I. UhanYova, V.N. Baumer, Yu.S. Kalmyikova // Nauk. pr. DonNTU. Ser. Himiya I him. tehnologiya. – Donetsk, 2009. – Vip. 13. – S. 118-127.

9. Pat. UA 88689, MPK S 04 B 18/00. Sposib виготовлення радіаційно безпечних шлакoлужних в'язхучих з використанням відвальних доменних шлаків / Hobotova E.B., Tolmachov S.M., BELLchenko O.A., Kalmikova Yu.S.; vlasnik Hark. nats. avtomob.-dor. un-t. – № U 2013 12846; zayavl. 04.11.13; opubl. 25.03.14, Byul. № 6.

10. Pat. UA 92438, MPK S 09 K 103/00(2006.01). Sposib виготовлення радіаційно безпечних шлакoлужних в'язхучих на основі відвальних доменних шлаків I luzhних компонентів / Hobotova E.B., Kalmikova Yu.S.; vlasnik Hark. nats. avtomob.-dor. un-t. – № U 2014 03571; zayavl. 07.04.14; opubl. 11.08.14, Byul. № 15.

11. Pat. UA 92992, MPK S 09 K 109/00 (2006.01). Sposib виготовлення радіаційно безпечних шлакoлужних в'язхучих на основі відвальних доменних шлаків I metasillkatu natrIyu / Hobotova E.B., Kalmikova Yu.S.; vlasnik Hark. nats. avtomob.-dor. un-t. – № U 2014 04264; zayavl. 22.04.14; opubl. 10.09.14, Byul. № 17.

12. Nedov P.P., Zhelnin A.V. Ekonomicheskiy analiz kapitalnyih investitsiy. – H.: Pleyada, 1998. – 255 s.

### **УДК 504.064.4:658.567.3**

**Ю.С. Калмикова**, асист., \* **В.І. Ларін**, д-р хім. наук, проф., **Е.Б. Хоботова**, д-р хім. наук, проф.

**Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

**\* Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна**

### **РАЦИОНАЛЬНІ ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДВАЛЬНИХ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ**

*Наведено результати розробки шлаколуужних в'язхучих (ШЛВ) на основі доменних шлаків металургійних комбінатів України. Визначено мінералогічний, елементний і оксидний склади шлаків і ШЛВ. Розроблено спосіб виготовлення радіаційно-безпечних ШЛВ. Розраховано економічний ефект при використанні відвальних доменних шлаків у будівельній галузі, та доведена економічна привабливість інвестиційного проекту.*

**Ключові слова:** відвальні доменні шлаки, забруднення, утилізація, виробництво будівельних матеріалів, економічний ефект.

Надійшла 30.10.2015

Received 30.10.2015

С.П. Шевчук, д-р техн. наук, проф.,  
С.В. Зайченко, д-р техн. наук, доц., проф.,  
В.В. Вапнична, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

## ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ МЕХАТРОННІ МЕТОДИ ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЛЯ З СИЛОВИМ ВИДАЛЕННЯМ СКЛАДОВИХ КОМПОНЕНТІВ

*У статті представлено нові енергоресурсозберігаючі способи сухого збагачення за тертям з силовим видаленням породи, що в порівнянні з традиційними способами не потребують значних витрат води і електричної енергії. З метою встановлення енергосилових параметрів побудована мехатронна модель процесів збагачення за тертям, реалізація яких проведено чисельними і аналітичними методами.*

*Отримані залежності розподілів тисків дозволяють встановити опори обертанню робочих органів при проведенні процесу збагачення.*

*Встановлено, що з підвищенням міцності породи контактні тиски зростають лінійно по дузі взаємодії для випадку дискової збагачувальної машини і за параболічною залежністю для валкової, що призведе до збільшення енергоємності процесу збагачення.*

*Розроблені способи сухого збагачення за тертям з силовим видаленням породи пройшли експериментальну перевірку на лабораторних стендах і промислове впровадження.*

**Ключові слова:** збагачення, тертя, порода, вугілля, енергоресурсозбереження.

**Вступ.** У структурі енергетичного балансу України частка імпорту енергоресурсів перевищує власний їх видобуток та виробництво, що ставить країну в серйозну залежність від імпорту, попри те, що Україна має всі можливості повністю забезпечити себе енергією. Оскільки на підвищення обсягів вироблення енергії з альтернативних джерел потрібно ще багато років, основним енергоносієм на близьку перспективу залишається вугілля. В останні роки розробка корисних копалин супроводжується зниженням якості видобутої первинної сировини, особливо при видобутку вугілля за рахунок збільшення зольності і ступеня подрібнення маси. Методи вологого збагачення вугілля, які знайшли широке застосування в Україні, потребують залучення в технологічний процес значного об'єму води і енергії з утворенням великої кількості відходів. Саме тому, проблема створення і реалізація ресурсоефективних методів збагачення дрібних і середніх класів вугілля в умовах геотехнічних підприємств особливо актуальна. Створення компактного і енергоємного обладнання машин для збагачення вугілля, яке можливо використати у умовах геотехнічних підприємств, дозволить значно зменшити транспортні витрати при доставці на збагачувальні фабрики.

Серед методів сухого збагачення маси, яка складається з компонентів, що мають різні коефіцієнти тертя, слід відзначити метод сухого збагачення за тертям [1, 2]. Запропоновані відомі схеми методом збагачення за тертям з ряду причин не знайшли широкого застосування. Головним недоліком існуючих схем збагачення за тертям слід вважати складність процесу взаємодії компонентів маси під час їх руху, і як наслідок, майже однакова траєкторія руху і мала швидкість часток компонентів. Також до недоліків відносять складність виготовлення робочих органів збагачувальних машин.

**Мета та завдання.** Для створення нової ресурсозберігаючої технології збагачення вугілля необхідно використати процеси сегрегації, в основу яких покладено використання триботехнічних властивостей матеріалів, що розділяються з наданням високої швидкості робочих органів для забезпечення необхідної продуктивності.

**Матеріал і результати досліджень.** Для усунення існуючих недоліків авторами запропонована нова схема сухого збагачення за тертям [3], яка передбачає силове відділення часток одного компоненту від іншого. Принцип роботи машини збагачення за тертям представлено на рисунку 1. При взаємодії частки діаметром  $d$  з валками діаметром  $D$  можливо два варіанти подальшого руху частки: перший – сил тертя  $\mu P$  буде недостатньо для подолання реакції нормальної складової дії валків на частку  $P$ , і вона буде ковзати по валках; другий – сили тертя захватять частку і відбудеться її подрібнення. Характер взаємодії валків з часткою визначають геометричні і фізичні параметри частки і валків. Спроектвавши на вісь  $OY$  сили, які діють на частку можливо знайти залежність між кутом захвату  $\alpha$  і коефіцієнтом тертя  $\mu$  для умов переходу ковзання в захват:

$$2P \cdot \sin(\alpha / 2) - 2\mu P \cos(\alpha / 2) = 0, \quad \operatorname{tg}(\alpha / 2) = \mu \quad (1)$$

Для визначення коефіцієнту тертя іноді використовують тангенс кута між тангенціальною і нормальною складовою  $tg\varphi$ . Підставивши значення для коефіцієнту тертя  $\mu$ , отримаємо значення для кута захвату:

$$tg(\alpha / 2) = tg\varphi, \alpha = 2\varphi. \quad (2)$$

З виразу (2) можливо зробити висновок, що при одних і тих самих геометричних параметрах взаємодії валків з масою частина матеріалу з більшим значенням кута тертя буде захоплюватись, а частина залишиться у зоні контакту. Даний ефект можливо застосувати при відділенні породи від вугілля, яке має коефіцієнт тертя у 2-3 рази менший ніж порода.

Також, розглянувши схему взаємодії частки маси з валком (рис. 1), можливо знайти зв'язок геометричних параметрів системи:

$$D = \frac{d \cdot \left( \cos \frac{\alpha}{2} - \frac{s}{d} \right)}{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (3)$$

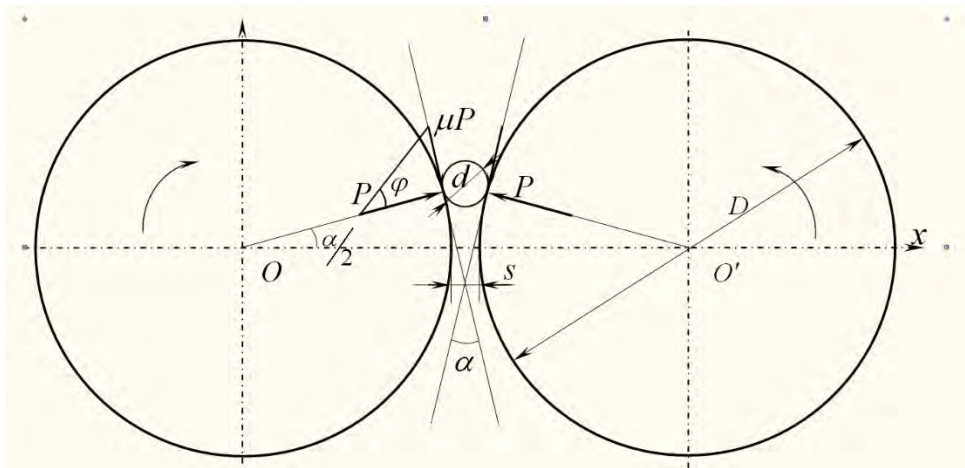


Рисунок 1 – Схема взаємодії частки з валками.

Зробивши аналіз виразу (3), можна прийти до висновку, що для різного діаметру частки  $d$  маси необхідно застосовувати валок різного діаметру  $D$ . Але таке рішення призводить до використання валків змінного радіусу (конічної форми), що призводить до високої металоємкості і складності конструкції збагачувальної машини, високих енерговитрат на подрібнення матеріалу.

З метою усунення даних недоліків авторами були проведені експериментальні дослідження збагачення за кутом тертя з силовим видаленням породи (рис. 2). Експериментальна установка містить в собі валки постійного діаметру, з можливістю зміни міжосьової відстані і привід.

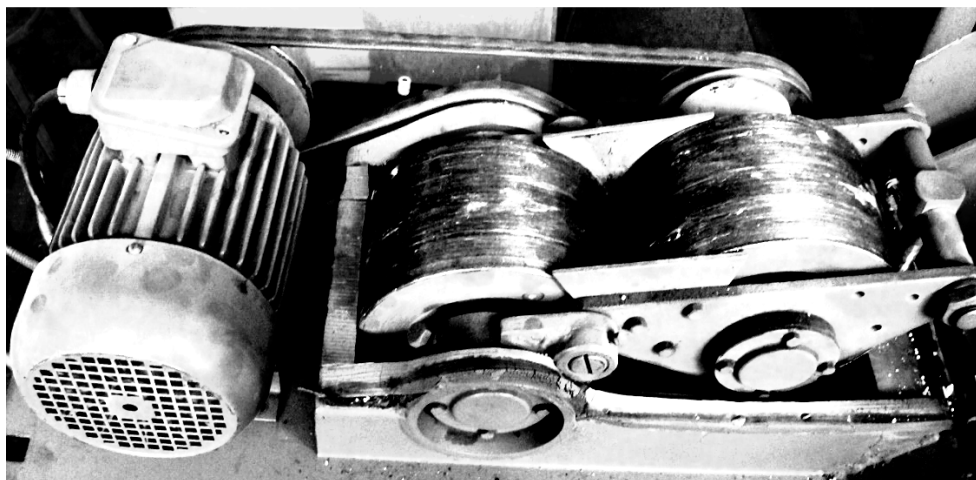


Рисунок 2 – Експериментальна установка сухого збагачення за тертям

Проведені дослідження підтвердили можливість збагачення за кутом тертя з силовим видаленням породи циліндричними валками і створення нової схеми машини (рис. 3). Важливою відмінністю нової

машини є циліндричні валки 1, осі яких розташовані під кутом одна до одної. Це дозволить змінити відстань між валками  $S$  вздовж їх довжини і, як наслідок, дозволяє обробляти масу різних розмірів на одній машині. Зміна відстані між валками також зменшує ступінь подрібнення, що призводить до зменшення енерговитрат машини.

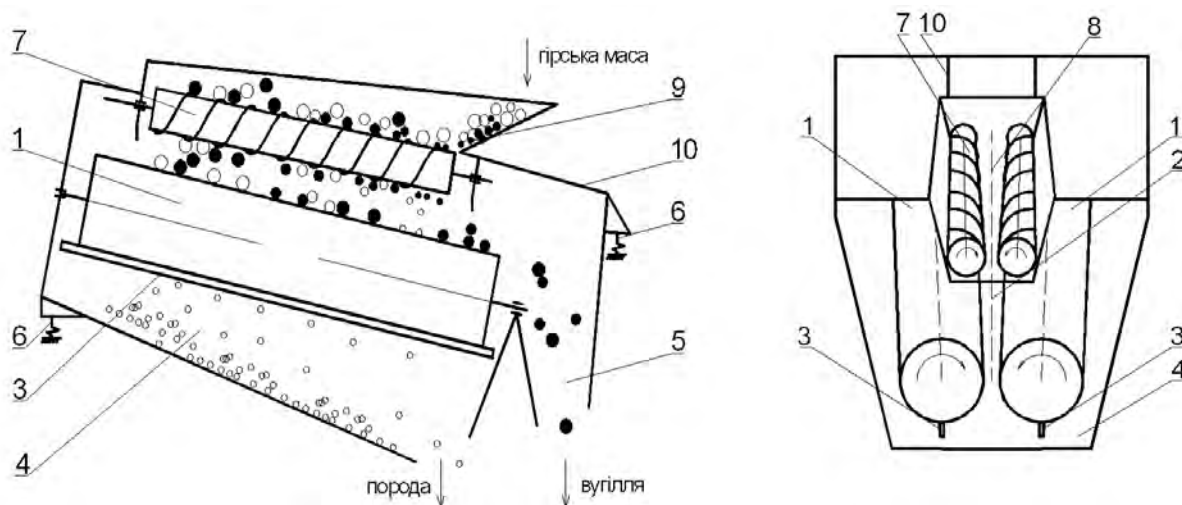


Рисунок 3 – Продольний перетин збагачувальної установки за тертям:

1 – валки; 2 – камера подрібнення; 3 – очищувачі; 4,5 – спрямовуючі лотки; 6 – амортизатори; 7 – шнековий живильник; 8 – розвантажувальна щілина; 9 – бункер; 10 – корпус установки.

Для аналізу роботи нової машини первинною задачею є встановлення енергосилових параметрів процесу взаємодії робочих органів з масою. Цьому питанню присвячені роботи П. Ріттингера, В.Л.Кирпичова, Ф. Кіка, П.А. Ребіндера і Ф. Бонда, які встановили енергетичні витрати процесу подрібнення. Для створення нової машини необхідним є також визначення сил реакції середовища на дію робочих органів.

При взаємодії валків з середовищем можливо застосувати принципи вирішення контактних задач взаємодії валків з середовищем, які використані в теорії прокату [4, 5].

Більшість порід мають зернисту структуру, причому міжкристалічне зчеплення значно менше міцності самих зерен. Деякі види вапняків і глини володіють пластичними властивостями. Їх руйнування при складному напруженому стані настає у випадку, коли найбільші дотичні напруження набувають значень, які відповідають межі міцності при зсуві. Тому при визначенні сил реакції середовища на робочі органи машини доцільно використовувати в якості характеристики матеріалу міцність при зсуві  $\tau_s$ .

Для вирішення контактної задачі взаємодії валків з середовищем розглядаються умови рівноваги елементарного шару матеріалу, який знаходиться між валками. Дія верхнього шару матеріалу на виділений елемент має вираз  $\sigma_y h_y$ , де  $\sigma_y$  – середній нормальний тиск (рис. 4). Дію нижнього шару матеріалу можливо представити у вигляді  $(\sigma_y + d\sigma_y)(h_y + dh_y)$ .

Умова рівноваги елементу елементарного шару матеріалу товщиною  $dy$  визначається рівнянням:

$$\sum Y = (\sigma_y + d\sigma_y)(h_y + dh_y) - \sigma_y h_y - 2p_{\varphi, B_x} \operatorname{tg} \varphi dx + 2\tau_{\varphi, B_x} dy. \quad (4)$$

Рівняння (4) є вихідним для знаходження контактного тиску. Для його розв'язання припускають, що в контактній зоні між робочим органом і середовищем діють сили кулонівського тертя.

Результатом розв'язання диференційного рівняння (4) є встановлення розподілу нормального  $p_\varphi$  і дотичного тиску  $\tau_\varphi$  по площі взаємодії валка з середовищем:

$$p(\varphi, B_x) = \frac{2\tau_s \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{4} \right)}{\mu} \left[ \left( \frac{\mu}{\operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{4} \right)} - 1 \right) \left( \frac{s_1 + \frac{s_2 - s_1}{B} B_x + D(1 - \cos \frac{\alpha}{2})}{s_1 + \frac{s_2 - s_1}{B} B_x + D(1 - \cos \varphi)} \right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg} \left( \frac{\alpha}{4} \right)}} + 1 \right]; \quad (5)$$

$$\tau(\varphi, B_x) = \mu p(\varphi, B_x),$$

де  $\tau_s$  - міцність породи при зсуві;  $\mu$  - коефіцієнт тертя породи по металу;  $s_1, s_2$  - відстані між валками;  $B$  - довжина валка;  $B_x$  - координата точки повздож валка;  $\varphi$  - кутова координата на дузі взаємодії валка;  $D$  - діаметр валка;

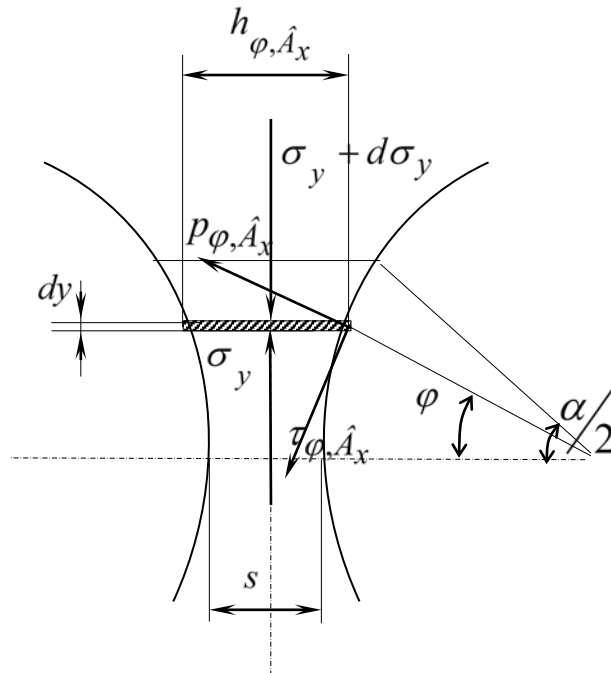


Рисунок 4 – Схема контактної взаємодії валка з середовищем

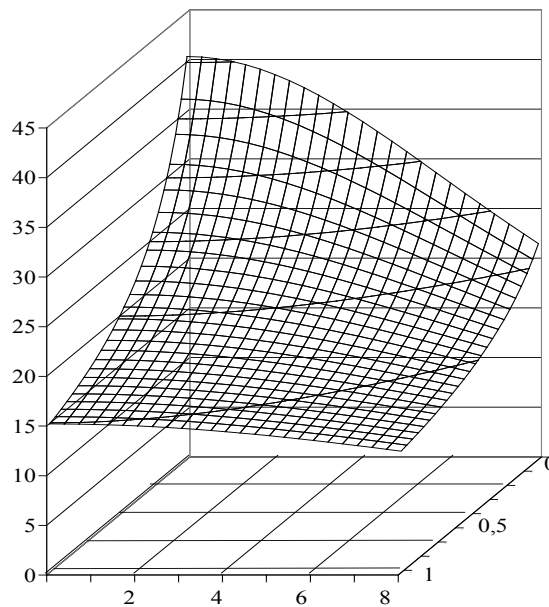


Рисунок 5 – Розподіл нормального контактного тиску по площині контакту

Графічно розподіл нормального тиску (5) по площі взаємодії валка з середовищем для умов збагачення за тертям можливо представити на трьохмірному графіку (рис. 5). Отримані залежності розподілу контактних тисків дозволять створити методику розрахунку головних конструктивних параметрів мехатронних систем шляхом визначення сил і крутних моментів дії нормальних і дотичних контактних тисків породи на робочі органи збагачувальної машини.

Слід відзначити, що представлена схема при низькій зольності виходу вугілля має малу продуктивність. Для усунення даного недоліку авторами запропонована нова схема сухого збагачення за

тертям, яка передбачає силове відділення частин одного компонента від іншого [6]. Принцип роботи машини збагачення за тертям представлений на рис. 6. Мехатронна система виборчого дроблення працює таким чином. Маса з живильника 2 потрапляє в простір між дисками 1, які обертаються в одну сторону. Під дією сил тертя частки породи захоплюються дисками 1 і, подрібнюючись, потрапляють в приймальний бункер породи 4. Дія сил тертя на шматки вугілля достатня для обертання разом з дисками і недостатня для їх захоплення і подрібнення, в наслідок порівняно меншого значення коефіцієнта тертя вугілля порівняно з коефіцієнтом тертя породи. При цьому диски 1 розганяють і закидають частини вугілля в приймальний бункер вугілля 3.

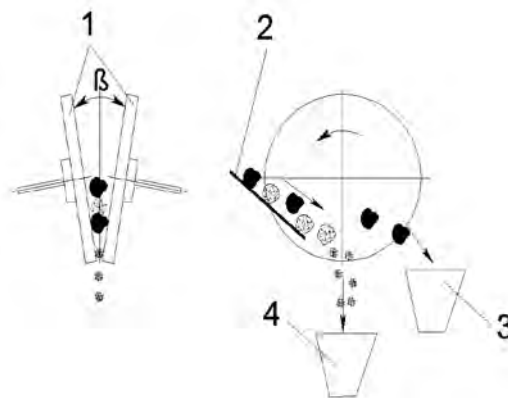


Рисунок 6 – Схема роботи дискової машини вибіркового дроблення

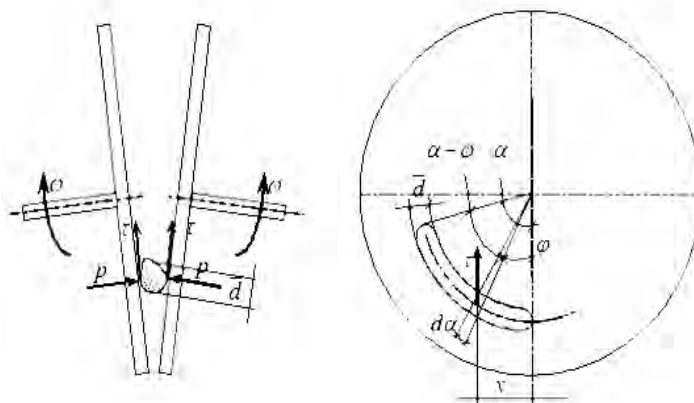


Рисунок 7 – Схема визначення моменту дроблення породи

Розглянемо процес взаємодії маси з дисками збагачувальної машини (рис. 6). У процесі обертання дисків зі швидкістю  $\omega$  відбувається захоплення маси. Початок взаємодії характеризує кут  $\alpha$ . При дробленні маси із середнім розміром шматка породи  $\bar{d}$  досягається контактний тиск  $p$  на рівні межі міцності породи  $\sigma_b$ . Порода прагне вийти із зони руйнування, в результаті чого з'являється тангенціальна складова  $\tau$ . Нормальна і тангенціальна складова пов'язана законом Кулона:

$$\tau = \mu p = \mu \sigma_b \bar{d}, \quad (6)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя породи по поверхнях дисків збагачувальної машини.

Процес дроблення маси можна розділити на 2 етапи. Перший, при  $\alpha_x \in [\alpha; \alpha - \varphi]$ , де  $\varphi$ , кут при якому досягається рівність контактних тисків  $p$  і межі міцності породи  $\sigma_b$ . Другий, при  $\alpha_x \in [\alpha - \varphi; 0]$ , коли  $\sigma_b$  зменшується до нуля. Розподіл нормального тиску  $p$ :

$$p(\alpha_x) = \frac{\sigma_b}{\alpha - \varphi} (\alpha - \alpha_x); \quad \alpha_x \in [\alpha; \alpha - \varphi]; \quad (7)$$

$$p(\alpha_x) = \frac{\sigma_b}{\varphi} \alpha_x; \quad \alpha_x \in [\alpha - \varphi; 0]. \quad (8)$$



Знайдемо необхідний момент для обертання дисків при дробленні породи шляхом розгляду елементарної частини дуги  $d\alpha$  шириною і висотою рівною середньому розміру маси  $\bar{d}$  на радіусі дроблення  $R$ . Площа  $S$  елементарної частини дуги  $d\alpha$ :

$$S = R\bar{d}d\alpha. \quad (9)$$

Опір обертанню дисків створюють тангенціальні контактні тиски. Момент від дії тангенціальних тисків:

$$M = \int_{\alpha}^{\alpha-\varphi} R \sin(\alpha_x) \mu \frac{\sigma_b}{\alpha-\varphi} (\alpha-\alpha_x) R \bar{d} d\alpha + \int_{\varphi}^{\theta} R \sin(\alpha_x) \mu \frac{\sigma_b}{\varphi} \alpha_x R \bar{d} d\alpha =$$

$$= \frac{R^2 \mu \sigma_b \bar{d} (\varphi(\sin(\varphi) + \sin(\alpha)) + \sin(\varphi-\alpha) + \alpha \cos(\varphi)) - \varphi^2 (\cos(\varphi-\alpha) + \cos(\varphi))}{\varphi \alpha - \varphi^2}. \quad (10)$$

Встановлення моменту опору обертання дисків при збагаченні вугілля дозволяє визначити потужність елетромехатронної системи і провести міцнісні розрахунки головних елементів.

За принципом сухого збагачення за тертям з силовим видаленням породи науково виробничим центром “Прес”, м. Носівка побудовано цілий ряд мехатронних комплексів для збагачення вугілля різного класу (рис. 8).



Рисунок 8 – Машини сухого збагачення вугілля

Представлені машини успішно пройшли випробування на геотехнічних підприємствах ДХК «Павлоградвугілля» з підтвердженням високих техніко-економічних показників.

**Висновки.** Переваги представлених нових способів збагачення за тертям з силовим видаленням породи, відносно малі енергоємність і масово-габаритні параметри, дозволяють використати їх в умовах геотехнічного підприємства без транспортування маси на збагачувальні фабрики.

Встановлені залежності розподілів тисків в зонах дії робочих органів на масу дозволяють встановити основні енергосилові параметри мехатронних систем збагачення і провести міцнісні розрахунки.

#### Перелік літератури

1. Патент 33930, МПК В02С 1/00 Верстатмашина виборного дроблення/Волошин Г. М.; Волошин А. Г.; Томурко О. А. власники і винахідники. – № 99042460; заявл. 29.04.1999; опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8.
2. Самилін В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин [Текст] : Курс лекцій / В. Самилін, В. Білецький ; Донецький національний технічний ун-т, Донецьке відділення Наукового товариства ім. Шевченка. - Донецьк : Східний видавничий дім, 2003. - 115 с.
3. Патент 47665, МПК В02С 4/00 Валкова дробарка/Шевчук С.П.; Шевчук О. С.; Зайченко С.В.; Киричук В.А. власники і винахідники. – № а200910296; заявл. 09.10.2009; опубл. 25.02.2010, Бюл. № 9.
4. Целиков, А. И. Теория продольной прокатки/А.И. Целиков, Г.С. Никитин, С.Е. Рокотян. - М. : Металлургия, 1980. - 319 с.
5. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон; Пер. с англ. В. Э. Наумов, Ред. Р. В. Гольдштейн. - М. : Мир, 1989. - 509 с.
6. Патент 82266, МПК В02С 18/00 Машина виборного дроблення/Зайченко С.В.; Соколовський О.М.; Гарнець В.М.; Шевчук Н.А.власники і винахідники. – № u201301960; заявл. 18.02.2013; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14/2013.

**RESOURCE MECHATRONIC COAL PREPARATION TECHNIQUES WITH THE POWER OF ROCK REMOVAL**

*The article presents the new energy saving dry separation methods for removing the friction force with breeds that do not require significant amounts of water and electricity. In order to establish power parameters built mechatronic models of the processes of enrichment due to friction, the implementation of which is held by numerical and analytical methods.*

*Depending on the pressure distribution obtained allow you to set the rotational resistance of the working bodies during the enrichment process.*

*It is found that with increasing the contact strength of the rock pressure increase linearly along the arc of the disc case of interaction and the concentrating parabolic machine according to the roll, which will increase the power consumption of the enrichment process.*

*The present methods of dry processing friction force the removal of rocks have been pilot-tested in the laboratory benches and industrial introduction.*

**Key words:** concentration, friction, rock, coal, resource.

**References:**

1. Patent 33930, IPC B02C 1/00 Machine crushing machine elective / Voloshin, G. M. ; Voloshin AG. ; Tomurko OA owners and inventors. - № 99042460; appl. 29.04.1999; publ. 15.08.2003, Bull. Number 8.
2. Samylin B. Special methods of mineral [Text]: Lectures / Samylin V., V. Beletsky; Donetsk National Technical University Press, Donetsk branch of the Scientific Society. Shevchenko. - Donetsk: East Publishing House, 2003. - 115 p.
3. Patent 47665, IPC B02C 4/00 Roller crusher / SP Shevchuk. ; Shevchuk O. C. ; Zaichenko SV. ; Kirichuk VA owners and inventors. - № a200910296; appl. 09.10.2009; publ. 25.02.2010, Bull. Number 9.
4. Tselykov, AI Theory prodolnoy prokatky A.Y. Tselykov, GS Nikitin, SE Rokotyay. - Moscow: Metallurgy, 1980. - 319 p.
5. Mechanics of contact interaction / K. Johnson; Per. s English. B. E. Naumov, Ed. RV Goldstein. - Moscow: Mir, 1989. - 509 p.
6. Patent 82266, IPC B02C 18/00 Crushing electrol machine / Zaichenko SV. ; Sokolovsky AM. ; Garnets VM. ; Shevchuk N.A.vlasnyky and inventors. - № u201301960; appl. 02/18/2013; publ. 07.25.2013, Bull. № 14/2013.

**УДК 621.926**

**С.П. Шевчук**, д-р техн. наук, проф. **С.В. Зайченко**, д-р техн. наук, доц.

**В.В. Вапнична** канд. техн. наук, доц.

**Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"**

**РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ МЕХАТРОННЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ С**

**СИЛОВЫМИ УДАЛЕНИЕМ ГОРНЫХ ПОРОД**

*В статье представлены новые энергоресурсосберегающие способы сухого обогащения по трению с силовым удалением породы, которые не требуют значительных расходов воды и электроэнергии. С целью установления энергосиловых параметров построены мехатронные модели процессов обогащения по трению, реализация которых проведена численным и аналитическим методами.*

*Полученные зависимости распределений давлений позволяют установить сопротивления вращению рабочих органов при проведении процесса обогащения.*

*Установлено, что с повышением прочности горной породы контактные давления растут линейно по дуге взаимодействия случае дисковой обогатительной машины и по параболической зависимости для валковой, что приведет к увеличению энергоёмкости процесса обогащения.*

*Представленные способы сухого обогащения по трению, с силовым удалением породы, прошли экспериментальную проверку на лабораторных стендах и промышленное внедрение.*

**Ключевые слова:** обогащение, трение, порода, уголь, ресурсосбережение.

Надійшла 08.09.2015

Received 08.09.2015

Д.С. Карпенко, аспирант, В.В. Дубровская, канд. техн. наук, доц.,  
В.И. Шкляр, канд. техн. наук, доц.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

*Проведено компьютерное моделирование фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением в программном обеспечении SolidWorks 2014. Выполнен регрессионный анализ и получены функциональные зависимости полезной тепловой и электрической мощностей, мощности привода насоса для подачи воды и энергетической характеристики системы от расхода охлаждающей воды. Определена суммарная полезная мощность системы при оптимальном расходе охлаждающей воды.*

**Ключевые слова:** фотоэлектрическая солнечная система, фотоэлектрический элемент, система охлаждения, электрическая и тепловая мощность.

### Введение.

Солнечный радиационный режим территории Украины, особенно южных районов, в целом является благоприятным для практического использования солнечной энергии. Высокий уровень солнечной инсоляции, повышенные требования к экологии способствуют развитию фотоэнергетики в Украине, которая становится серьезной альтернативой традиционной энергетике.

В настоящее время в составе фотоэлектрических систем наиболее широко используются кремниевые солнечные элементы, воспринимающие как прямую, так и рассеянную солнечную радиацию. Они могут успешно работать зимой и летом. Зимой снижение светового потока компенсируется увеличением КПД за счет снижения температуры фотоэлемента.

Вследствие потерь, обусловленных такими факторами, как нагрев фотоэлемента и отражение света, и тем, что некоторые фотоны не поглощаются полупроводником, теоретический предел КПД кремниевого солнечного элемента составляет около 28% [1]. Дополнительные потери внутри элемента приводят к тому, что реальный КПД значительно ниже теоретического.

Для уменьшения потерь мощности, обусловленных нагревом фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), целесообразно использовать фотоэлектрические солнечные системы с охлаждением для комбинированного получения тепловой и электрической энергии.

В связи с растущими объемами выпуска ФЭП и широкого их использования потребителями, возникает необходимость определения характеристик таких систем в реальных условиях эксплуатации.

### Цель и задачи.

Определить энергетические характеристики фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением. Установить зависимости электрической и тепловой мощности от расхода охлаждающей воды в змеевике.

### Материалы и результаты исследований.

Для достижения поставленной цели экспериментальные исследования ФЭП можно заменить процессом компьютерного моделирования фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением.

Авторами в работе [2] на основании результатов математического моделирования фотоэлектрического модуля с системой охлаждения в программном обеспечении SolidWorks 2014 были определены оптимальные характеристики системы, а именно: форма, размер и расстояние между трубками в змеевике.

В данной статье рассматривается моделирование работы монокристаллического кремниевого ФЭП К6М [3] мощностью 4-4,5 Вт, имеющего форму полного квадрата с размерами 156x156

$\eta = 18,46\%$  при стандартных условиях (поступление солнечной радиации на поверхность модуля под прямым углом - 1000 Вт/м<sup>2</sup>). Скорость ветра над и под фотоэлементами - 3,5 м/с и температура окружающего воздуха - 15,2 оС. Плоскость модуля размещалась параллельно горизонтальной поверхности. Система водяного охлаждения ФЭП представляла собой змеевик с трубками D-формы и эквивалентным диаметром трубок 20 мм с расстоянием между осями трубок  $l = 26$  мм. Температура охлаждающей воды принималась  $t_{ВХ} = 20$  оС, а массовый расход  $G$  изменялся от 0,001 кг/с до 1кг/с. Фотоэлемент размещался на алюминиевой пластине толщиной

□ 0,5 мм,  $ff=0,76$

□ ПЛ = 2 мм, под

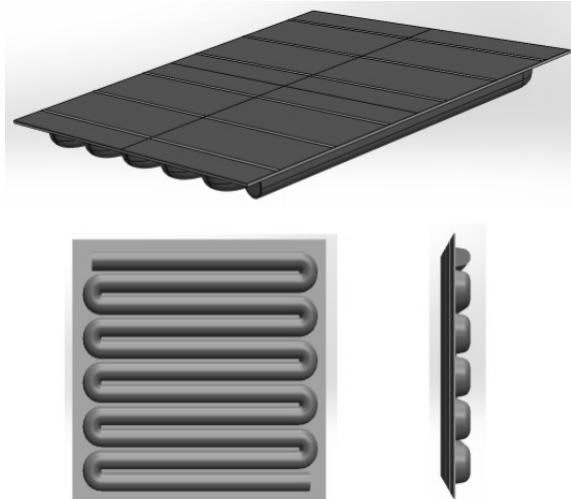


Рисунок 1 – Конструкция системы охлаждения ФЭП

Вырабатываемая электрическая мощность фотоэлектрической установки  $P_{П}$  рассчитывалась по формуле [4]:

$$P_{П} = E \cdot S \cdot \eta_{СМ}, \quad (1)$$

где  $E$  – плотность потока солнечной энергии, Вт/м<sup>2</sup>,  $S$  – площадь поверхности ФЭП, м<sup>2</sup>,  $\eta_{СМ}$  – КПД солнечного модуля [5].

Полезная тепловая мощность  $Q_{П}$  рассчитывалась из теплового баланса:

$$Q_{П} = G \cdot c \cdot (t_{ВЫХ} - t_{ВХ}), \quad (2)$$

где  $G$  – массовый расход охлаждаемой воды, кг/с,  $c$  – теплоемкость воды, кДж/(кг·К),  $t_{ВХ}$ ,  $t_{ВЫХ}$  – температуры воды на входе и выходе змеевика, °С.

Электрическая мощность на привод насоса –  $P_{Н}$  определялась по формуле:

$$P_{Н} = \frac{G \cdot (P_1 - P_2)}{\eta_{Н} \cdot \eta_{ДВ}}, \quad (3)$$

где  $P_1 - P_2$  – перепад давлений на входе и на выходе насоса, Па. При моделировании учитывались гидравлические потери в элементах конструкции змеевика.

$\eta_{Н}$  – КПД насоса, принимается  $\eta_{Н} = 0,78$ ;

$\eta_{ДВ}$  – КПД электродвигателя, принимается  $\eta_{ДВ} = 0,85$ .

На основе результатов моделирования построены зависимости полезной тепловой и электрической мощностей, мощности привода насоса для подачи воды и энергетической характеристики (суммарной мощности) системы от расхода охлаждающей воды (рис. 2-5).

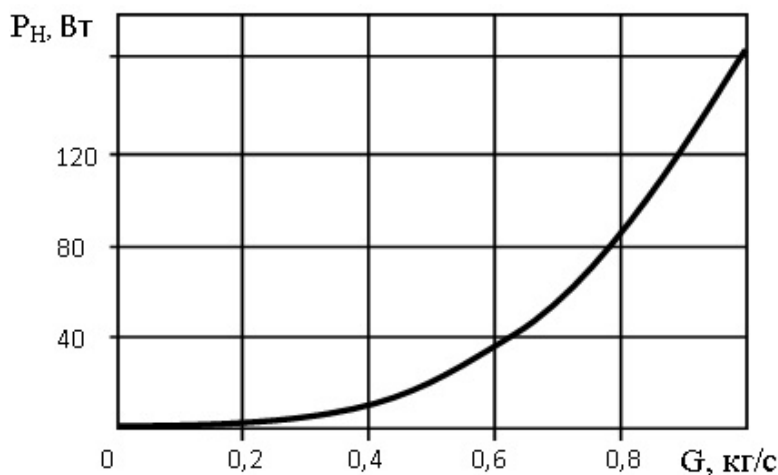


Рисунок 2 – Зависимость мощности привода насоса от массового расхода воды

Из рисунков видно, что охлаждение поверхности ФЭП водой позволяет увеличить полезную электрическую мощность ФЭП с 17,5 Вт (без охлаждения) до 19 Вт.

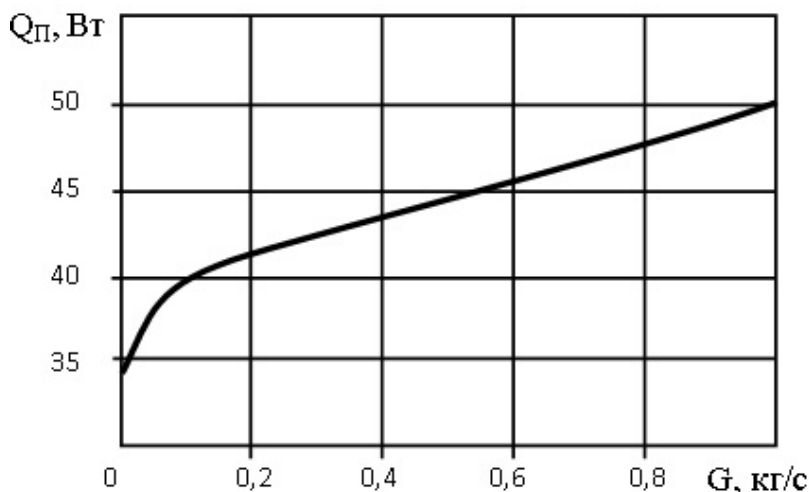


Рисунок 3 – Зависимость полученной полезной тепловой энергии от массового расхода воды

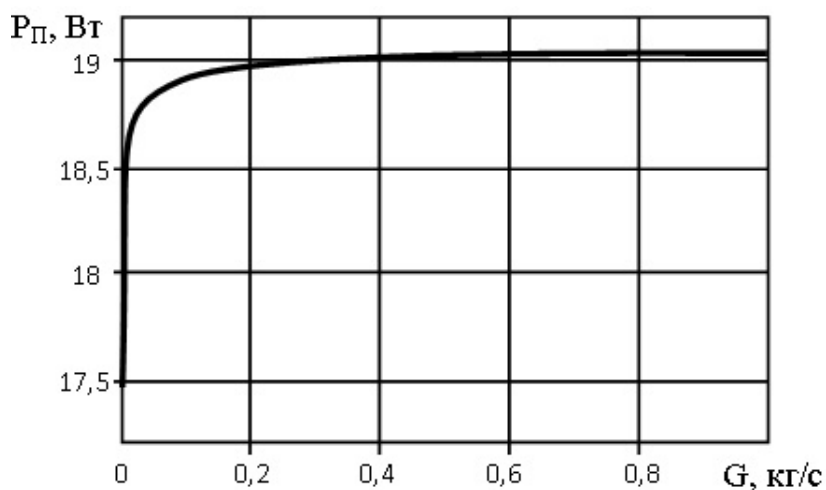


Рисунок 4 – Зависимость полученной полезной электрической энергии от массового расхода воды

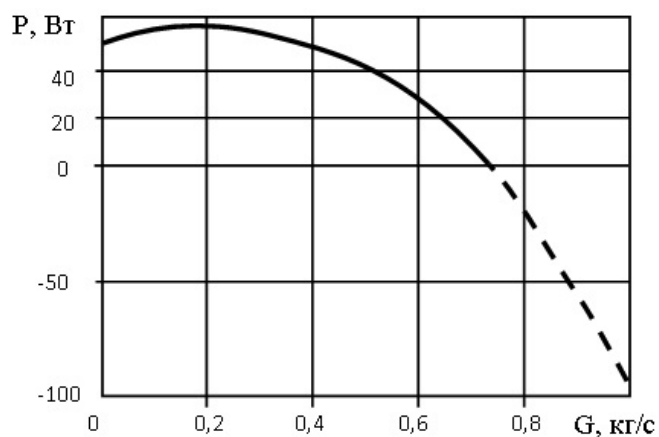


Рисунок 5 – Энергетическая характеристика установки с охлаждением фотоэлементов

На основе рассчитанных данных о величинах тепловой и электрической мощностей и затрат на привод насоса проведен регрессионный анализ и получены функциональные зависимости вышеназванных величин от массового расхода воды в змеевике:

- зависимость полезной электрической мощности системы от массового расхода воды:

$$P_{п} = 0,1821 \cdot \ln(G) + 19,244 \quad (r^2 = 0,7674); \quad (4)$$

- зависимость тепловой мощности системы от массового расхода воды:

$$Q_{II} = -11,451 \cdot G^2 + 24,708 \cdot G + 36,188 \quad (r^2 = 0,9471); \quad (5)$$

- зависимость мощности привода насоса для системы охлаждения от массового расхода воды:

$$P_{II} = 162,25 \cdot G^3 + 5,4325 \cdot G^2 - 0,6384 \cdot G + 0,0096 \quad (r^2 = 1). \quad (6)$$

Суммарная мощность системы равна:

$$P = P_{II} + Q_{II} - P_{II}, \quad (7)$$

$$P = 0,1821 \cdot \ln(G) - 162,25 \cdot G^3 - 16,8835 \cdot G^2 + 25,3464 \cdot G + 55,4224. \quad (8)$$

По результатам моделирования экстремум функции  $P=f(G)$  (8) в диапазоне массовых расходов  $G = [0 - 1]$  кг/с соответствует значению  $P = 58,23$  Вт при  $G = 0,2$  кг/с.

В точке экстремума отдельные составляющие энергетического баланса системы равны:  $P_{II} = 18,95$  Вт,  $Q_{II} = 40,68$  Вт,  $P_{II} = 1,4$  Вт.

#### Выводы.

Выполнено численное моделирование работы ФЭП с охлаждением его поверхности в программном обеспечении SolidWorks 2014 и определены энергетические характеристики системы.

Получены зависимости (4-6, 8) электрической и тепловой мощности фотоэлектрической системы, мощности привода насоса системы охлаждения, суммарной мощности системы от массового расхода воды в змеевике на основе регрессионного анализа.

Максимальная суммарная мощность фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением равна 58,23 Вт при расходе охлаждающей воды 0,2 кг/с, электрическая мощность составляет 18,95 Вт, тепловая - 40,68 Вт, привода насоса - 1,4 Вт.

#### Список литературы

1. NREL: National Center for photovoltaics: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg).
2. Аналіз ефективності фотоелектричних систем комунального призначення. Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2015. С. 337-344.
3. KVAZAR // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kvazar.com>.
4. Photovoltaic Efficiency: The Temperature effect : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.teachengineering.org/collection/cub/\\_lessons/cub\\_pveff/Attachments/cub\\_pveff\\_lesson02\\_fundamentalsarticle\\_v6\\_tedl\\_dwc.pdf](https://www.teachengineering.org/collection/cub/_lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pveff_lesson02_fundamentalsarticle_v6_tedl_dwc.pdf).
5. Photovoltaic Education Network: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve>.

D.S. Karpenko, V.V. Dubrovskaya, V.I. Shklyar

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

#### ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH WATER COOLING

*Computer simulation of photovoltaic solar system with cooling in SolidWorks 2014 was carried. Regression analysis was performed and the functional dependences for the useful heat and electric power, drive power of the pump for water flow, and energy characteristics of the system from the flow of cooling water were obtained. The total net system capacity at optimum flow of cooling water was determined.*

**Keywords:** photovoltaic solar system, photovoltaic cell, cooling system, electric and heat power.

#### References

1. NREL: National Center for photovoltaics: [electronic journal]. – Available at: [http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency\\_chart.jpg](http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg).
2. The analysis of efficiency photovoltaic system municipal purpose. Energetika, Ekolohiia Liudyna. Naukovi pratsi NTUU "KPI", IEE. – Kyiv: NTUU "KPI", IEE, 2015. S. 337-344.
3. KVAZAR // [electronic journal]. – Available at: <http://www.kvazar.com>.
4. Photovoltaic Efficiency: The Temperature effect: [electronic journal]. – Available at: [https://www.teachengineering.org/collection/cub/\\_lessons/cub\\_pveff/Attachments/cub\\_pveff\\_lesson02\\_fundamentalsarticle\\_v6\\_tedl\\_dwc.pdf](https://www.teachengineering.org/collection/cub/_lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pveff_lesson02_fundamentalsarticle_v6_tedl_dwc.pdf).
5. Photovoltaic Education Network: [electronic journal]. – Available at: <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve>.

Д.С. Карпенко, аспірант, В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц.

В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
**ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З  
ВОДЯНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ**

*Проведено комп'ютерне моделювання фотоелектричної сонячної системи з охолодженням, в програмному забезпеченні SolidWorks 2014. Виконано регресійний аналіз, і отримані функціональні залежності корисної теплової та електричної потужностей, потужності приводу насоса для подачі води і енергетичної характеристики системи від витрати охолоджуючої води. Визначена сумарна корисна потужність системи при оптимальній витраті охолоджуючої води.*

**Ключові слова:** фотоелектрична сонячна система, фотоелектричний елемент, система охолодження, електрична та тепла потужність.

Надійшла 22.02.2016

Received 22.02.2016

УДК 621.3:658:26

М.М. Шовкалюк, канд. техн. наук, доц.; І.О. Суходуб, канд. техн. наук, ст. викл.; О.О. Войналович  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ЧЕРЕЗ ПІДЛОГУ ЗАЛЕЖНО  
ВІД АРХІТЕКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬ**

*В статті розглянуто актуальне питання аналізу теплових втрат через підлогу, за новими методиками розрахунку, впровадженими в Україні з урахуванням європейських вимог стосовно енергоефективності будівель. Розроблені математичні моделі для аналізу теплових потоків через підлогу різних типів та виконано оцінку впливу вагомих факторів на тепловий потік через огороження, що сполучаються з ґрунтом.*

**Ключові слова:** теплові втрати, підлога, ґрунт, будівлі.

**Вступ**

Потенціал енергозбереження, за умови впровадження енергозберігаючих заходів згідно сучасних вимог [1] в будівлях, є суттєвим. Тому актуальним питанням є аналіз особливостей розрахунків тепловтрат через окремі огорожувальні конструкції. Останнім часом в Україні швидкими темпами розвивається нормативна база у сфері енергетики. Зокрема, було розроблено національну методику розрахунку [2] на базі стандарту [3] з урахуванням директиви ЄС [4]. Методики [2] дещо відрізняються від класичного теплотехнічного розрахунку та підходів, які використовувалися фахівцями України для визначення потреби будівель в енергії і теплових потоків через окремі огороження. Вивчення особливостей нових підходів до розрахунку теплоспоживання будівель є необхідним і актуальним завданням.

**Мета та завдання**

Метою дослідження є аналіз теплових втрат через огорожувальні конструкції, а саме – підлогу різних типів – на ґрунті, над підвалом, цокольне приміщення. В основу дослідження було покладено розгляд двох методичних підходів до розрахунку тепловтрат через підлогу: теплотехнічний розрахунок [5] і методика за європейським стандартом [3]. Розроблені математичні моделі дозволять виконати аналіз впливу архітектурних особливостей будівель на теплові потоки через огороження, що сполучаються з ґрунтом.

**Матеріал і результати досліджень**

Головною відмінністю двох методичних підходів, які розглядаються, є те, що згідно з класичною методикою [5] для визначення втрат теплоти через підлогу на ґрунті виконується спрощений розрахунок, який не включає багато параметрів.

Наприклад, втрати теплоти через підлогу, розташовану на ґрунті, підраховуються по зонах з урахуванням відстані зон від зовнішніх стін:

$$Q = \left( \frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \frac{F_3}{R_3} + \frac{F_4}{R_4} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})$$

де  $R_1, R_2, R_3, R_4$  - термічний опір відповідно першої, другої, третьої і четвертої зон,

$t_{\text{вн}}, t_{\text{зовн}}$  - відповідно температури внутрішнього та зовнішнього повітря.

Смуга підлоги шириною 2 м, паралельна лінії зовнішньої стіни, називається зоною. Найближча до зовнішньої стіни зона вважається першою, подальші - другою і третьою, а вся решта частини підлоги — четвертою. Частина площі першої зони (2×2 м), яка прилягає до кута зовнішніх стін, має підвищені тепловтрати і враховується двічі.

Методика згідно європейських стандартів [2, 3] включає в себе детальний розрахунок тепловтрат через підлогу. Цей розрахунок включає велику кількість параметрів, які впливають на тепловий потік. Згідно [2] тепловтрати через підлогу можна розрахувати для трьох типів підлог: підлоги на ґрунті, підлоги цокольного поверху та підлоги над технічним підпіллям.

Згідно методики [2] авторами було побудовано моделі для трьох типів підлог в програмному забезпеченні MathCad. Нижче у якості прикладу представлено блок-схему алгоритму розрахунку теплових втрат через підлогу на ґрунті. Аналогічні моделі розроблено і для інших типів підлоги: над технічним підпіллям та для цокольного поверху.

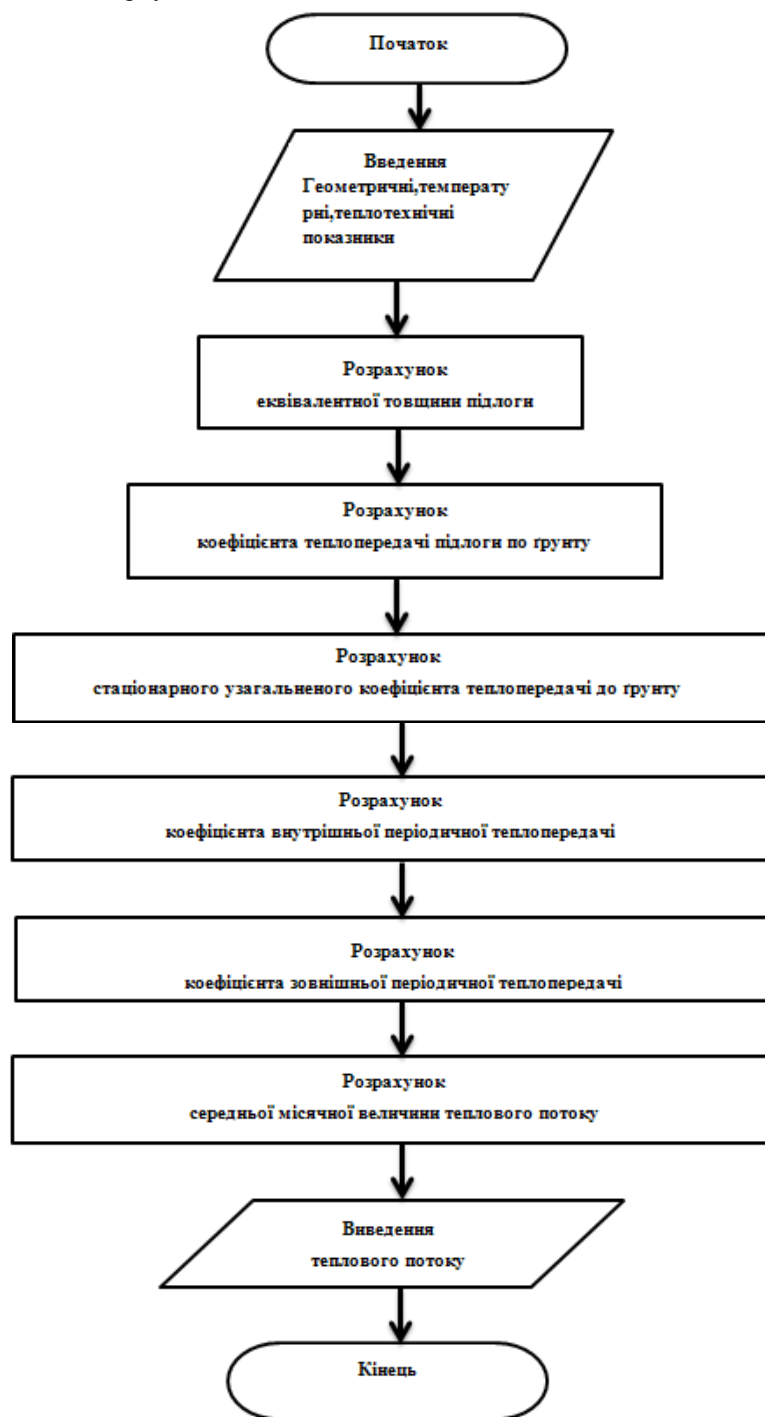


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму розрахунку тепловтрат через підлогу на ґрунті



Головними відмінностями між трьома розробленими моделями є методика визначення стаціонарного узагальненого коефіцієнта теплопередачі трансмісією до ґрунту. Наприклад, для підлоги на ґрунті враховуються такі показники: площа підлоги, зовнішній периметр підлоги, лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла сполучення конструкції підлоги із зовнішньою стіною та коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту. Для підлоги цокольного поверху цей коефіцієнт ще враховує коефіцієнт теплопередачі та висоту стін, що контактують з ґрунтом. Для підлоги над технічним підпіллям до розрахунку стаціонарного узагальненого коефіцієнта теплопередачі ще включаються такі параметри як: еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між простором технічного підпілля та зовнішнім середовищем, коефіцієнт теплопередачі перекриття над технічним підпіллям (між внутрішнім середовищем та простором технічного підпілля), висота від відмітки ґрунту до верхньої відмітки перекриття над технічним підпіллям, площа вентиляційних отворів по периметру підпільного простору, середня швидкість вітру, ступінь вітрозахисту.

Виконано серію розрахунків та проведено аналіз впливу різних факторів на величину тепловтрат. Нижче представлені результати розрахунків для різних типів підлог. У якості базового варіанту для дослідження обрано будівлю гуртожитку №16 ІЕЕ НТУУ «КПІ», для якої зібрана інформація стосовно площі підлоги, складу перекриттів та ін. Далі в ході дослідження аналізувалося, як вплинуть на тепловтрати характеристики підлоги.

Розрахунки виконувалися для підлоги без утеплення і підлоги, що відповідає сучасним вимогам згідно [1]. Результати наведено на рис. 2.

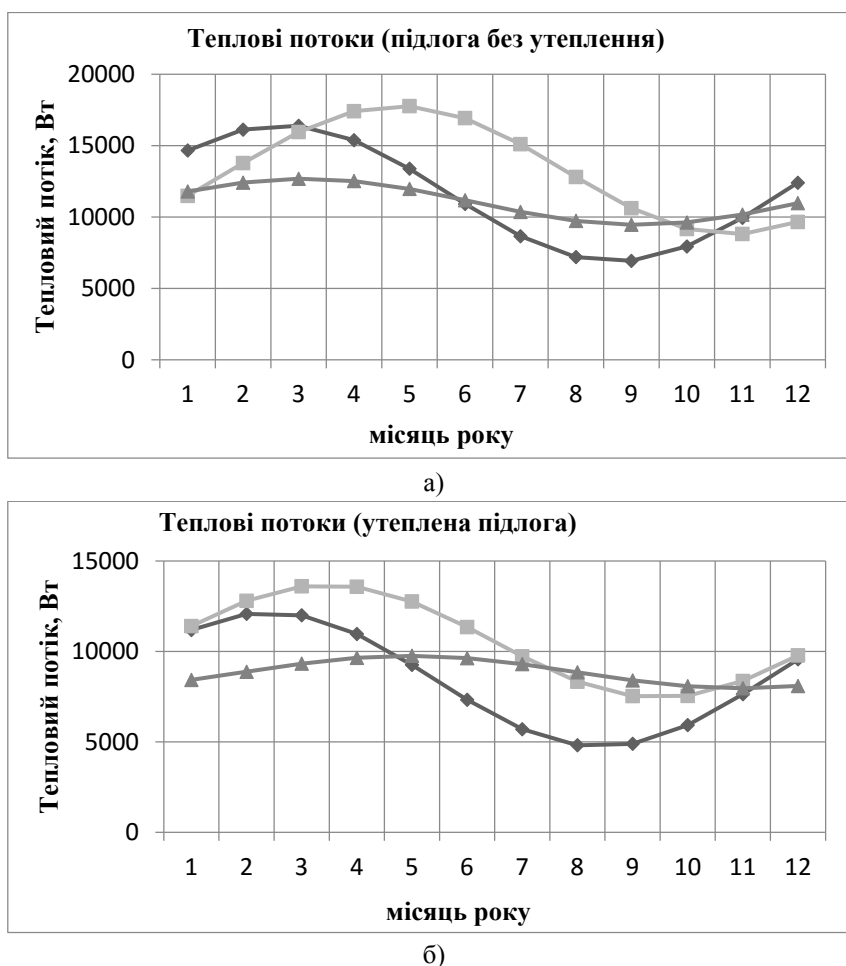


Рисунок 2 – Тепловтрати підлоги по місяцям, Вт:

◆ Підлога на ґрунті    ■ Цокольний поверх    ▲ Підлога над техпідпіллям

а – теплові потоки для підлоги без утеплення, б – теплові потоки для утепленої підлоги

Далі розглянемо питомі усереднені значення теплового потоку для різних типів підлоги (утепленої та не утепленої), результати наведено на рис.3.

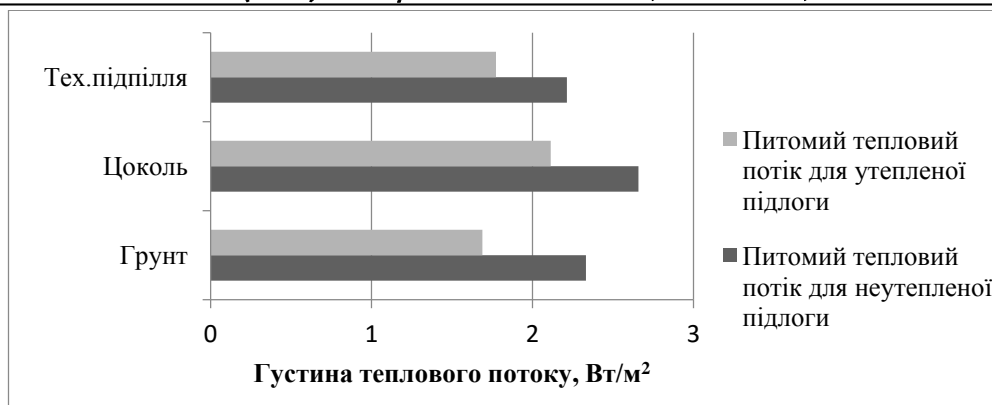


Рисунок 3 – Порівняння усередненого значення густини теплового потоку

Також була розроблена математична модель за допомогою CFD пакету. Схему приміщення та теплових потоків через огороження, що розглядалося під час моделювання, показано на рисунку 4.

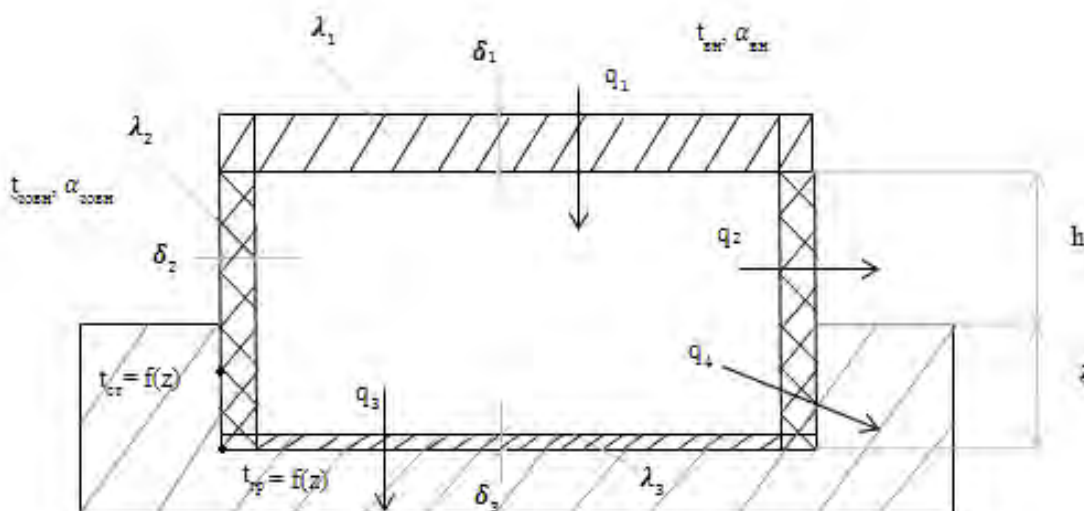


Рисунок 4 – Модель підлоги з заданими параметрами

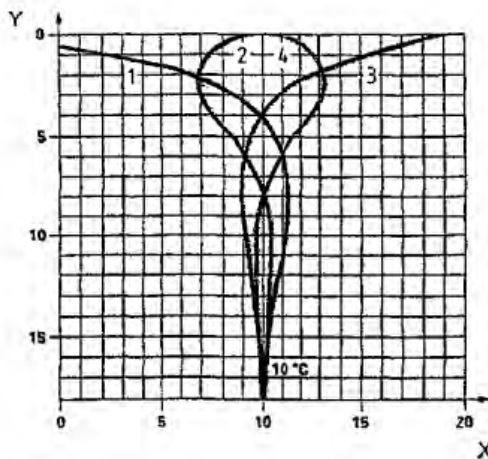
Об'єкт дослідження – будівля з розмірами в плані 100м×50м з підлогою, розташованою над технічним підпіллям. На поверхні підлоги задаються граничні умови III-го роду ( $t_{\text{вн}}=18^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha_{\text{вн}}=8,7\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ). Підлога складається з 3 шарів: залізобетон, цементно-піщана стяжка, паркет (дуб). Для моделювання підлога задавалася з урахуванням еквівалентного опору теплопередачі з відповідними параметрами: товщиною  $\delta$ , м; коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К).

Підлога в технічному підпіллі, що сполучається з грунтом – цементно-піщана стяжка з наступними параметрами: товщина  $\delta$ , м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К). Підлога на ґрунті має заглиблення стін  $z$ .

Для ділянки стіни від відмітки ґрунту до верхньої відмітки перекриття над технічним підпіллям задавалися граничні умови III-го роду ( $t_{\text{зовн}}=-22^{\circ}\text{C}$ , та  $\alpha_{\text{зовн}}=23\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ ). Конструкція зовнішніх огорожень в технічному підпіллі описана тими ж теплотехнічними параметрами, склад стін – бетон.

Температура ґрунту змінюється залежно від заглиблення. На рис. 5 представлений графік залежності зміни температури ґрунту по глибині залягання ґрунту.

Для отримання залежності зміни температури ґрунту по глибині залягання стіни підвалу були розроблені поліноміальні рівняння для різних місяців року. Під час моделювання враховувалася залежність для лютого (рис. 6). Температура на зовнішній поверхні даного огороження приймалася рівною температурі ґрунту, яка, в свою чергу, змінюється по висоті залягання огороження.



Y – глибина, м; X – температура навколишнього ґрунту на горизонтальному рівні, °C;  
 1 – температурна крива на 01 лютого; 2 – температурна крива на 01 травня; 3 – температурна крива на 01 серпня; 4 – температурна крива на 01 листопада

Рисунок 5 – Графік залежності зміни температури ґрунту по глибині залягання [6]

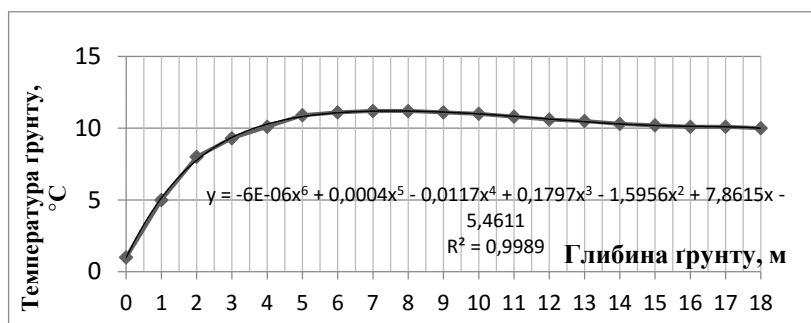


Рисунок 6 – Поліноміальна залежність температури ґрунту від глибини залягання ґрунту

Для вертикальних огорожень технічного підпілля задавалася висота стін від ґрунту до верхньої відмітки перекриття. За результатами CFD моделювання з теплового балансу визначалася температура в технічному підпіллі ( $t_{air}$ ).

На рисунку 4 схематично зображено теплові потоки ( $q_1$ - $q_4$ ) через різні огороження.

Модель розбита розрахунковою сіткою на шестигранні елементи. Чутливість моделі до ступеня подрібнення сітки була перевірена для декількох сіток з кількістю розрахункових елементів від 80 тис. до 800 тис., основні розрахунки проводились на сітці з кількістю елементів приблизно 200 тис., що забезпечувало прийнятну швидкість та точність розрахунків. Було здійснено серію розрахунків з метою оцінки впливу різних факторів на теплові потоки різних елементів конструкції моделі.

В табл. 1 представлені результати розрахунків густини теплового потоку різних ділянок огорожень підвального приміщення та температури в технічному підпіллі в залежності від зміни температури зовнішнього повітря.

Таблиця 1 – Зведена таблиця результатів CFD моделювання.

№ потоку	$t_{зовн} = -22^{\circ}\text{C}$		$t_{зовн} = -5^{\circ}\text{C}$		$t_{зовн} = 0^{\circ}\text{C}$		$t_{зовн} = 8^{\circ}\text{C}$	
	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$
1	25,45	7,32	23,46	8,07	21,81	8,74	18,53	10,05
2	-124,93		-51,42		-30,99		0,87	
3	-22,59		-21,58		-20,04		-16,84	
4	2,06		-10,07		-16,05		-26,82	

\*Примітка – густини теплових потоків відносяться до одиниці відповідної поверхні; i – номер потоку.

За теплотехнічним розрахунком [5] густина теплового потоку через підлогу над технічним підпіллям для даної будівлі складе  $28,99 \text{ Вт/м}^2$  ( $t_{зовн} = t_{p.o.} = -22^{\circ}\text{C}$ ), відхилення від результатів, отриманих за допомогою CFD моделювання складає 12%.

За результатами розрахунків за розробленою моделлю в програмному середовищі MathCad за методикою [2] при тій же температурі отримано значення густини теплового потоку  $19,131 \text{ Вт/м}^2$ ,

Відхилення від результатів, отриманих за допомогою CFD моделювання, складає 25%. Проте потрібно зазначити, що методика [2] призначена для визначення середнього значення теплового потоку для кожного місяця року з урахуванням середньостатистичних погодних умов для даної місцевості, тому проводити подібне порівняння не завжди є коректним.

#### **Висновки**

Розроблені математичні моделі, що дозволяють виконувати аналіз теплових потоків через огороження, що сполучаються з ґрунтом, для різних типів підлоги – на ґрунті, над технічним підпіллям, цокольний поверх. Проаналізовано особливості результатів розрахунків, отриманими за різними підходами.

#### **Список літератури**

1. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6- 31:2006. – [Чинний з 01.04.2007]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с. (Державні будівельні норми України).
2. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ-Н Б А.2.2-12: 2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 199 с
3. EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling – CEN – 162 p.
4. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings – [Електронний ресурс] – Official Journal of the European Union – 23 p. – Режим доступу до сайту: <http://www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf>
5. Справочник по теплоснабжению и вентиляции / Р.В.Щекин, С.М. Корневский, Г.Е. Бем и др. – К.: «Будівельник», 1976. – 416 с.
6. Інженерне обладнання будинків та споруд. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами / ДСТУ Б В.2.5-44:2010. – [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 57 с.

**M. Shovkaliuk, I. Sukhodub, O. Voinalovych**

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»**

#### **ANALYSIS OF HEAT FLOWS THROUGH THE FLOOR DEPENDING ON ARCHITECTURAL BUILDING FEATURES**

*In the article considered actual question analysis thermal losses through the floor on new techniques calculation, implementations in Ukraine considering European requirements concerning energy efficiency buildings. There have been developed mathematical models to analyze the heat flow through the floor of different types and the estimation of the impact of significant factors on heat flow through fences, combined with soil*

**Key words:** heat loss, floor, ground, buildings.

#### **References**

1. Construction of buildings and structures. Insulation of buildings:DBN V.2.6- 31:2006. – [Chynnyi z 01.04.2007]. – К.: Minbud Ukrainy, 2006. – 64 p. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy).
2. Energy efficiency of buildings. The method of calculating the energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water/DSTU-N B A.2.2-12: 2015 [Natsionalnyi standart Ukrainy]– К.: Minrehion Ukrainy, 2015, - 199 p.
3. EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling – CEN – 162 p.
4. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings – [Elektronnyi resurs] – Official Journal of the European Union – 23 p. – Rezhym dostupu do сайту: <http://www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf>
5. Directory of District Heating and ventilation / R.V.Shchekyn, S.M. Korenevskiy, H.E. Bem. – К.: «Budivelnik», 1976. – 416 p.
6. Engineering equipment of buildings and structures. Design of buildings heating system with heat pumps / DSTU B V.2.5-44: 2010 [Natsionalnyi standart Ukrainy]– К.: Minrehion Ukrainy, 2010, - 57 p.

**УДК 621.3:658:26**

**М.М. Шовкалюк**, канд. техн. наук, доц.; **І.О. Суходуб**, канд. техн. наук, ст. преп.; **О.А. Войналович**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»**

#### **АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ЧЕРЕЗ ПОЛ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АРХИТЕКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗДАНИЙ**

*В статье рассмотрено актуальный вопрос анализа тепловых потерь через пол по новым методикам расчета, внедренными в Украине с учетом европейских требований по энергоэффективности зданий. Были разработаны математические модели для анализа тепловых потоков через пол разных типов и выполнена оценка воздействия весомых факторов на тепловой поток через ограждение, соприкасающиеся с ґрунтом.*

**Ключевые слова:** тепловые потери, пол, почва, здания.

Надійшла 20.12.2015

Received 20.12.2015

# ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

УДК 662.613.1:621.311.22

Л.О. Кєсова, д-р техн. наук, проф.; Г.В. Кравчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПНЕВМАТИЧНОГО ЗОЛОВИДАЛЕННЯ ТЕС

*В Європейському союзі, США та інших розвинутих країнах світу зола електростанцій розглядається як техногенна сировина для багатьох галузей промисловості, яка утилізується до 92% в сухому вигляді, їх системи пневмозоловидалення є невід'ємною складовою технологічного процесу вугільних ТЕС. В Україні застосовуються системи гідрозоловидалення, і як наслідок, зола втрачає свої споживчі цінності щодо такого використання, а її накопичення на золовідвалах приводить до проблем землевідведення, забруднення ґрунту, водойм, атмосфери, запилення територій, можливості катастрофічних наслідків від прориву огороження дамб, рішенням яких є утилізація золи в сухому вигляді.*

*В статті наведено порівняльний аналіз відомих систем пневмозоловидалення (за фазою щільності, характером транспортування, способу створення в трубопроводі різниці тиску), надано рекомендації щодо вибору обладнання та технологій, які отримали позитивну апробацію в світі. Їх використання на вугільних ТЕС України дозволить максимально утилізувати золу як цінний продукт, отримати прибуток від збуту, вирішувати проблеми охорони навколишнього середовища.*

**Ключові слова:** золошлакові відходи, системи пневмо- та гідрозоловидалення, пневмотранспорт, установки вакуумні, напірні, комбіновані, щільнофазні системи, насоси, повітродувні пристрої.

### Вступ

Вугілля є головним джерелом енергоресурсів у ПЕК України. Однак внаслідок його спалювання на золовідвалах ТЕС накопичилось більше 100 млн. т золошлакових відходів – ЗШВ, які створюють проблему землевідведення та негативно впливають на навколишнє середовище (забруднення ґрунту, водойм, атмосфери, запилення територій, можливість катастрофічних наслідків із-за прориву огороження дамб). [1] Зменшення викидів забруднювальних речовин об'єктами теплової електроенергетики України є одним з міжнародних зобов'язань України в рамках договору про приєднання до Енергетичного Співтовариства Європейського Союзу. Україна, як член Енергетичного Співтовариства повинна розробити відповідні програми послідовного зменшення сукупного річного обсягу викидів із великих установок для спалювання палива і дотримуватися граничних значень викидів, встановлених Директивами 2001/80/ЕС та 2010/75/EU [2,3]. Для забезпечення своїх зобов'язань Україна має скористатися успішним досвідом європейських країн (Німеччині, Польщі), в іншому разі Україна буде змушена імпортувати електроенергію, зменшивши власне виробництво, або відмовитися від виконання Директив.[4]

Статтею 18 Постанови Верховної Ради України від 05.03.98 «Основні напрямки державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» [5] передбачено здійснення програм утилізації твердих відходів (золи, шлаків, шламів, пилу) для потреб будівельної індустрії, що, на жаль, і досі не виконано.

У країнах світу золошлакові відходи ТЕС - це комерційний товар, що утилізується: у США – 41%, Індії – 50%, Китаї – 65%, ЄС – 92%, при цьому отримують економічні та екологічні переваги, тільки в Україні - на рівні 5%. [6] У США щорічне використання 31 млн. т ЗШВ зберігає 28 млн. м<sup>3</sup> площ звалищ; заощаджує 620 млн. \$ витрат на захоронення; забезпечує 150 млн. \$ прибутку від продажу ЗШВ; знижує на 7 млн. т викиди вуглекислого газу за рахунок використання 1 т легкої золи у бетоні та 10,4 млн. т - у виробництві цементу та залізобетонних виробів [7].

**Мета та завдання.** Утилізація золи в сухому вигляді є невід'ємною складовою технологічного процесу вугільних ТЕС держав Європейського союзу, США та інших промислово розвинутих країн світу, що виконують норми та вимоги безпеки виробництва та екології. [1]

На діючих ТЕС України для видалення золи в основному застосовують технологію гідрозоловидалення (ГЗВ), що при існуючих цінах на землю, воду та електроенергію економічно не виправдовується (витрати на водяні насоси, трубопроводи, обладнання для очищення води і т. ін.).

Теплова енергетика України повинна зазнати суттєвих перетворень, пов'язаних як з роботою ТЕС, так і з утилізацією відходів від спалювання твердого палива, та вжити відповідних заходів, серед яких – встановлення систем пневматичного золовидалення, з метою отримання сухої золи для її утилізації та зменшення впливу на довкілля.

**Матеріал і результати досліджень.** Системи пневмозолотранспорту дуже різноманітні і вибрати їх для встановлення нелегко. Адже золю збирають на ТЕС з котлоагрегату економайзера - (5-10)%, повітряпідігрівача - (2-5) %, поду топки - (10-15)%, 1-го і 2-го полів електрофільтру - (75-80)%, димової труби – менше 1%[8]. Вона відрізняється своєю щільністю, дисперсністю, для її транспортування необхідно забезпечити відповідні умови руху часток та виносу їх до початку пневмотранспорту.

Як наслідок, системи пневмозолотранспорту поділені:

- за характером транспортування на три групи: **1** - гравітаційний транспорт псевдозрідженого (аерованого) шару золи в аерожолобах (псевдозріджена зола рухається по нахилу аерожолоба подібно воді в каналі); **2** – транспорт псевдозрідженої або частково аерованої золи насосними установками (за допомогою спеціальних форсунок або повітряпроникних перегородок); **3** – транспорт часток зрідженої золи, зважених в трубопроводі потоком повітря із достатньо високою швидкістю (для тонкодисперсної золи з електрофільтрів - (10-12) м/с; крупної золи з економайзера та повітряпідігрівача - (13-16) м/с). Транспортування з низькою швидкістю (5-8) м/с і не в зваженому стані відноситься до режиму транспортування в щільній фазі [8.9];

- за способом створення в трубопроводі різниці тиску: вакуумні (усмоктувальні), напірні (нагнітальні) і комбіновані (вакуумно-напірні) установки. Напірні установки, в свою чергу, розділені на низькі - до 0,1 бар, середні - до 1 бар та високі - до 8 бар, який створюється, відповідно, вентиляторами, повітродувками та компресорами. Прикладом яких є пневмотранспортні системи транснаціональної компанії FLSmidth (рис.1), компанії "Mactenn Systems Limited" (ТОВ "Укрелектросервіс"), ТОВ «КВАРЦ Групп», фірма Clyde Bergemann (ТОВ «Теплотех») та ін.[9 – 14];

- за концентрацією твердої фази в потоці на: низькоконцентрований транспорт при відношенні об'єму повітря до об'єму золи  $V_1/V_2 > 100$  або у масовому відношенні – (0,1-5,0) кг/кг; середньоконцентрований -  $V_1/V_2 = 25/100$  або (5-10) кг/кг; висококонцентрований -  $V_1/V_2 < 25$  або (10-400)кг/кг [10]. Сучасною тенденцією їх є транспортування висококонцентрованої золи. Порівняння таких систем фірми Clyde Bergemann за фазою щільності транспортування матеріалу наведено в табл.1[15].

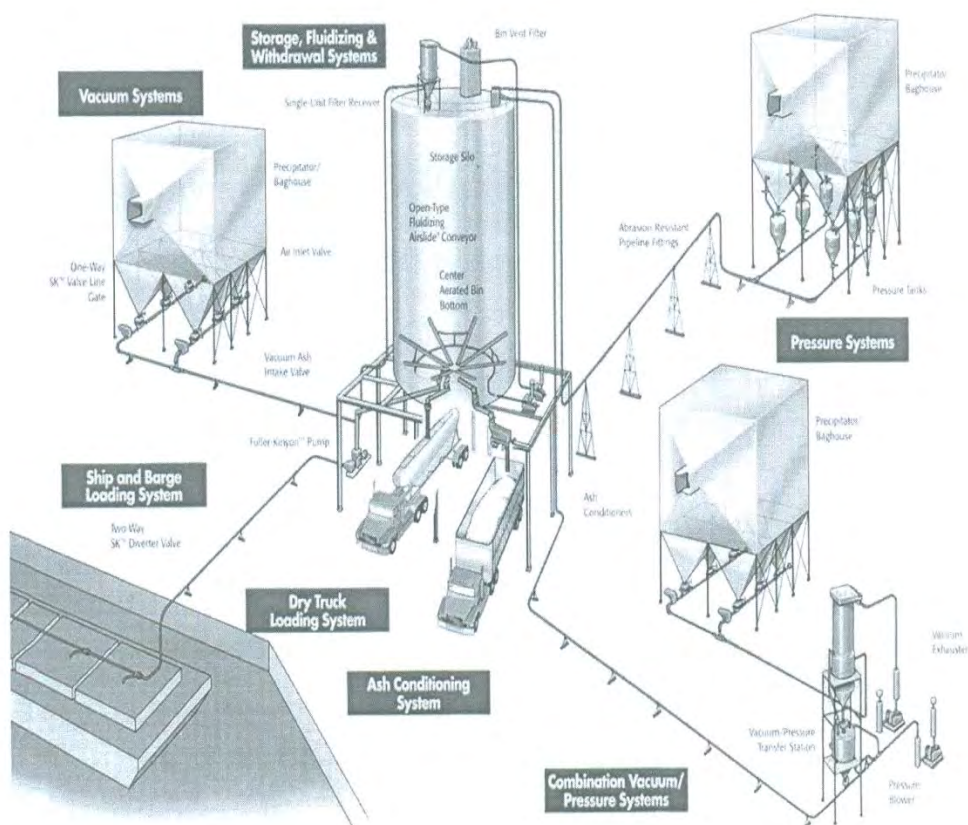


Рисунок 1 – Пневмотранспортні системи компанії FL Smidth

Для всіх систем пневмотранспорту характерне переміщення твердих часток при умові переважного впливу на їх рух гравітаційного поля твердої фази, щільність якої в тисячу разів більша за щільність повітря.

Таблиця 1 - Порівняння пневмотранспортних систем за фазою щільності фірми Clyde Bergemann [15]

Показники	Параметри систем		
	Низької щільності	Середньої щільності	Щільнофазні
Тиск, бар	<1	1-2	3-7
Швидкість, м/с	15-30	8-15	2-8
Відстань, км	0,5-1	1-1,5	<3
Концентрація твердої фази в потоці, кг/кг	0,1-5,0	5-10	200
Продуктивність, т/г	<100	<240	<100
Фазовий склад матеріалу	Різномірний, суміші	Зольний залишок, розмелена топкова зола та вапняк	Зола, розмелений вапняк, гранулят, гіпс та ін.
Преваги	Висока надійність	Низький знос та експлуатаційні витрати, помірні швидкості	Незначний знос, сполучення високої надійності, мінімальних енерговитрат та довготривалий термін експлуатації
Недоліки	Висока витрата повітря, знос трубопроводу на великих швидкостях	Обмеженість дальності транспортування	Необхідність глибоких знань процесу та характеристик матеріалів
Оптимальне застосування	При значному розкиді розмірів, форми або щільності часток золи для вакуумних та напірних систем	Для широкого спектру, де необхідно транспортувати грубий гранулят з невеликою швидкістю та високою продуктивністю	Транспортування в щільній фазі для високонапірних систем

Отже, система пневмозоловидалення включає основні вузли систем - вузол збору сухої золи та вузол транспортування на склад в проміжний бункер (силос). До яких входять: пневмонасоси, електрофільтри, золопроводи, системи забезпечення стисненим повітрям (роторний компресор, адсорбційний осушувач, ресивери, обладнання фільтрації, контролю та керування) та відвантаження золи в транспортні засоби. Для збору сухої золи використовують схеми з аерожолобами та вакуумні, від яких транспортування здійснюється за напірною схемою. [9]

За схемою збору з аерожолобами (рис.2) з бункера золоуловлення 1 через шибер 2 та клапан-мігалку 3 зола надходить в похилий аерожолоб 4 під кутом 4-6° і транспортується по ньому в проміжний бункер 5. Аерожолоб представляє собою прямокутний короб, розділений горизонтальною пористою перегородкою із кераміки, азбесту чи стеклотканини. Під перегородку вентилятором 8 подається підігріте повітря під тиском. Довжина однієї ділянки аерожолобів зазвичай не перевищують 100 м. Зола, що надходить на таку перегородку, аерується і рухається самопливом (як рідина) зі швидкістю (0,5-1,0)м/с. Відпрацьоване в аерожолобі повітря відводиться в газохід котла до золоуловлювача або, після очищення від золи, в атмосферу. Зола транспортується стисненим повітрям на склад силосу 5 [9].

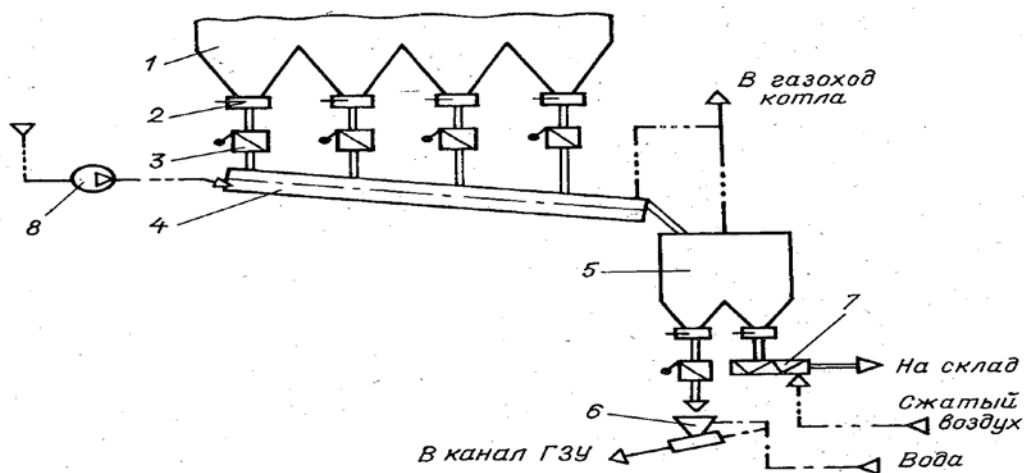


Рисунок 2 – Схема збору золи аерожолобами

1- бункер золоуловлювача; 2- шибер; 3 – мігалка; 4 – аерожолоб; 5-проміжний бункер;  
6 – золозмішувач; 7 – пневмовинтовий насос; 8 – вентилятор системи.

В схемі вакуумної системи (рис.3) вакуум може створюватися паровими ежекторами, водокільцевими вакуум-насосами або високонапірними вентиляторами, що розміщуються в кінці трубопроводу, створюючи розрідження (0,8-0,9) бар. Це обмежує дальність транспортування до 200 м і концентрацію твердої фази в потоці (на більшій відстані необхідно декілька проміжних станцій перекачки). [9]

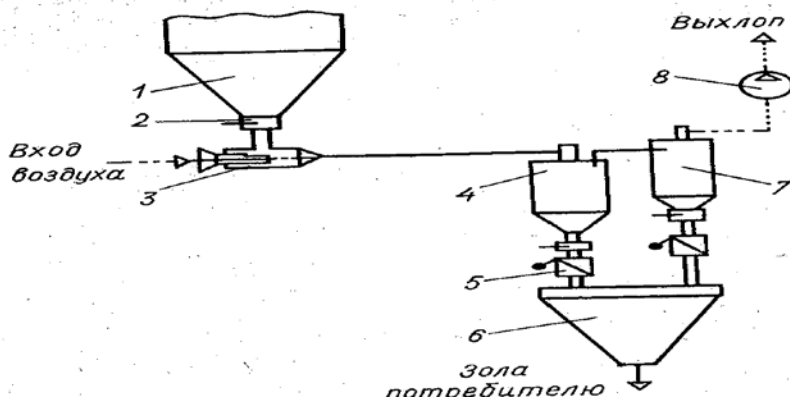
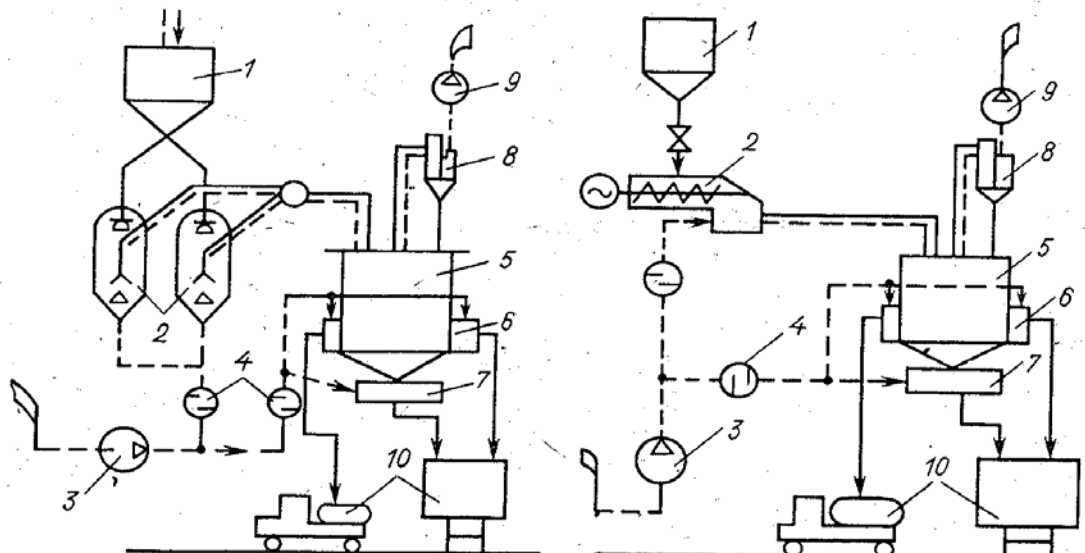


Рисунок 3 – Схема вакуумної системи збору золи

1 – бункер золоуловлювача; 2 – шибер; 3 – регулююча насадка; 4 – осаджувальна камера; 5 – рукавний фільтр; 6 – розвантажувальний збірний бункер (силос); 7 – циклон; 8 – повітродувний пристрій.

Зола у вакуумній системі із бункера золоуловлювача 1 надходить через мигалку 2 в регулюючу всмоктуючу насадку 3, де змішується з атмосферним повітрям. Золоповітряна суміш рухається по сталевим трубопроводам до осаджувальної камери 4, в якій за рахунок різкого падіння швидкості повітря основна маса золи відділяється. Для глибокої очистки повітря після осаджувальної камери встановлюють циклони 7 або рукавні фільтри, від яких зола поступає в проміжний золовий бункер 6. В такій системі на транспорт 1 т золи витрачається (50-100) кг повітря при швидкості потоку в золопроводах біля 20м/с; витрата електроенергії в установках з паровими ежекторами складає (25-30)кВт·г, а при вакуум-насосах - (10-12) кВт·г [9].

Системи пневмозолотранспорту за напірною схемою (рис.4) поділяють в основному на високо- та низьконапірні. Повітрядувні пристрої розміщуються на початку трубопроводу, створюючи надлишковий тиск до 8 бар, що дозволяє здійснювати транспортування з максимально можливими концентраціями на відстань з 75 до 2000 м двокамерними, пневмокамерними, пневмогвинтовими, струминними або пневмоімпульсними насосами.



а) двокамерним насосом;

б) пневмогвинтовим насосом

Рисунок 4 – Схеми напірної системи пневмотранспорту золи: [9]

1 - проміжний бункер; 2 - насоси (а,б); 3 – компресор; 4 - фільтри-осушувачі; 5 - силосний склад; 6 – бокове розвантаження золи; 7 – донний розвантажувач золи; 8 – пиловловлювач; 9 – вентилятор; 10 – транспортні засоби для вивозу золи.



Низьконапірні системи транспортують золю у псевдозрідженому стані, зазвичай використовуюючи схему збору золи з аерожолобами. Їх особливостями є: низькі швидкості транспортування, що зменшують енергетичні витрати при експлуатації та знос обладнання (арматури, трубопроводів, колін); можливість безперервного транспортування без пульсацій; простота повторного запуску системи; однак, складність монтажу та велика кількість повітряпроводів.

У високонапірній системі зола транспортується в щільній фазі, застосовують компресорні установки. До особливостей її традиційної системи відноситься високі початкові та кінцеві швидкості транспортування висококонцентрованої пилоповітряної суміші (до 200 кг/кг), значні енергетичні витрати, режим транспортування пульсаційний, конструктивна складність нагнітачів, значний знос обладнання.

Комбіновані вакуумно-напірні установки об'єднують в собі особливості обох систем і можуть застосовуватись як перевантажувачі золи з насипу так і транспортування її на значні відстані при високих концентраціях.

Перспективним способом пневмотранспорту золи на значні відстані є, також, імпульсне витиснення шару золи повітрям із обмеженої порожнини та поршневе переміщення її по трубопроводах, яку використовує фірма Clyde Bergemann[14]. Особливістю цієї технології - використання коротко-часового та ударно-волнового впливу потужним імпульсним струменем повітря, який створюється спеціальним пневмоімпульсним генератором з клапаном поршневого типу. Продуктивність технології залежить від діаметру трубопроводу та частоти пневмоімпульсів. Впродовж декількох секунд камера генератора заповнюється стислим повітрям і потім за соті долі секунди викидає це повітря у вигляді потужних імпульсних струменів. Така технологія забезпечує транспортування золи в щільній фазі, максимальну масову концентрацію аеросуміші в повітряному потоці високого тиску, зниження швидкості транспортування (менш 5 м/с), зменшення абразивного зносу трубопроводів та енерговитрат. Дальність транспортування - більше 1000 м без застосування проміжної станції перекачки.

Економічні показники схем залежать від річної продуктивності по видачі та дальності пневмотранспорту золи в межах площадки ТЕС. За продуктивністю по сухій золі до 200 тис. т/рік і граничної дальності внутрішньостанційного пневмотранспорту до 200 м оптимальною є вакуумна схема збору золи. При продуктивності (300-500) тис. т/рік та внутрішньостанційному пневмотранспорті до 500м вибір схеми пневмозоловидалення для кожної конкретної ТЕС виконується за техніко-економічним розрахунком. При дальності вище 500 м та продуктивності більше 500 тис. т/рік оптимальним є сполучення системи збору золи з аерожолобами та транспорту її на склад за високонапірною схемою. [9]

При виборі системи пневмозоловидалення слід врахувати, що всі вони мають обмеження по масовій концентрації матеріалу в потоці ( $\mu$ ), максимально можливої втраті тиску ( $\Delta P_{max}$ ), дальності транспортування ( $L_{max}$ ) та продуктивності ( $m_{max}$ ) (табл.2).

Таблиця 2 – Параметри транспортування у систем пневмозоловидалення [8]

Системи пневмозоловидалення	Параметри транспортування			
	$\mu$ , кг/кг	$\Delta P_{max}$ , бар	$L_{max}$ м	$m_{max}$ т/г
Вакуумний транспортер	20	0,5	200	100
Аерожолоб	300	0,05	100	400
Струминний насос	5	0,2	75	5
Роторний живильник	30	0,75	150	40
Пневмогвинтовий насос	80	1,5	80	200
Пневмокамерний насос	200	6,0	2000	150
Ерліфт	25	0,5	100	100
Пневмоімпульсний насос	200	0,05	1500	150

**Висновок.** В Україні використання пневматичних систем видалення золи ТЕС дозволить максимально утилізувати золю як цінний продукт для багатьох галузей промисловості, отримати прибуток енергетичній компанії, зберегти природні ресурси, ефективно вирішувати проблеми охорони навколишнього середовища.

#### Список літератури

1. Владимир Здановский «Глобальные проблемы энергетики. Как нам их решить? Тепловая энергетика Украины должна быть безопасной» /Газета «Деньги, экономическая безопасность» / №21 (118) 15 июня 2013 г., с- 9.

2. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. Official Journal of the European Communities, L 309/1, 27.11.2001.
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). OJ L 334, 17.12.2010, p. 17.
4. Савицький Олег «Огляд теплової енергетики України», Київ, 2014, (necu@necu.org.ua, [www.necu.org.ua](http://www.necu.org.ua), [savitsky@necu.org.ua](mailto:savitsky@necu.org.ua))
5. Постанова ВРУ N 188/98-ВР від 05.03.98 «Основні напрямлення державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки».
6. «Золошлаки ДТЕК – продукт, а не відхід - СКМ» 14.03.2013([http://www.sustainability.scm.com.ua/uk/about\\_scm/.../84/](http://www.sustainability.scm.com.ua/uk/about_scm/.../84/)).
7. The use and disposal of coal combustion by-products at coal mines: A technical interactive forum, Held at The National Energy Technology Laboratory Morgantown, West Virginia, 04.10.2000.
8. Агарвал В.К. Технологии удаления летучей золы ТЭС в Индии // Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23-24 апреля 2009 г. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 95 - 100.
9. Гаврилов Э.И. Топливно-Транспортное хозяйство и золошлакоудаление на ТЭС: Учеб.пособие для вузов.-М.:Энергоатомиздат, 1987. -С.149-154.
10. Пневматический транспорт / Я. Урбан ; пер. с чеш. Р. Э. Мельцера; под ред. Л. Г. Шведова./ - Москва : Машиностроение, 1967. - 255 с.
11. <http://www.flsmidth.com/ru-ru/>
12. [info@ukrelektroservis.com.ua](mailto:info@ukrelektroservis.com.ua)
13. [www.quartz-group.ru](http://www.quartz-group.ru). Опыт внедрения систем сухого золоудаления ООО «Кварц Групп», 05.2014.
14. Клони М. Применение технологии пневмотранспортирования золошлаков от энергоблоков мощностью 300 и 500 МВт угольных электростанций Технологии удаления летучей золы ТЭС в Индии / Клони М., Коломиец Ю. // Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23-24 апреля 2009 г. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 101 - 103.
15. Типы пневмотранспортных систем: особенности. Продукты Clyde Bergemann Group. /Презентация 12.2005.<http://www.enerms.ru/ru/products/sistemy-zoloshlakoudaleniya.html>.

**L.A. Kyesova, A.V. Kravchuk**

**National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"**

#### **SYSTEMS AND TECHNIQUES OF THE PNEUMATIC ASH REMOVAL ON THE TPPs**

*In the European Union, the USA and other developed countries of the world the ashes of power plants are considered as technogenic raw materials for many industries, which are utilized to 92 % in a dry form; their systems of pneumatic ash handling are an integral part of technological process of coal-fired TPPs. In Ukraine the systems of hydraulic ash removal are applied and, as a consequence, ashes lose the consumer worth concerning such use, and its accumulation in ash dumps leads to land allotment problems, pollution of soil, ponds, atmosphere, pollution of territories, and possibility of catastrophic aftereffects from breakthrough of protection dams, which solution is the disposal of ash in dry form.*

*The article presents a comparative analysis of the known systems of pneumatic ash handling (on the density phase, nature of the transportation, method of creating a pressure difference in a pipeline), the recommendations are given on the choice of equipment and technologies, which have obtained the positive approbation in the world. Their use in the coal-fired TPPs of Ukraine will allow to the maximum dispose of the ash as a valuable product, to obtain a profit from sales, and to solve problems of environmental protection.*

**Keywords:** ash and slag wastes, systems of pneumo- and hydraulic ash removal, pneumatic transportation, vacuum installations, pressure installations, combined installations, dense-phase systems, pumps, blowers.

#### **References**

1. Volodymyr Zdanovskiy «Global problems of power engineering. How can we resolve them? Thermal power in Ukraine should be safe» /Newspaper «Money, economic security»/ # 21 (118) June, 15th 2013, p. 9.
2. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. Official Journal of the European Communities, L 309/1, 27.11.2001.
3. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). OJ L 334, 17.12.2010, p. 17.

4. Savitskyi Oleh «Overview of thermal power of Ukraine», Kyiv, 2014, (necu@necu.org.ua, [www.necu.org.ua](http://www.necu.org.ua), savitsky@necu.org.ua.)
5. Resolution of Verkhovna Rada of Ukraine # 188/98-VR of 05.03.98 «The main directions of state policy of Ukraine in the field of environment protection, use of natural resources and environmental safety».
6. «Ashes and slags of DTEK – are a product, not a waste – SCM» 14.03.2013 ([http://www.sustainability.scm.com.ua/uk/about\\_scm/.../84/](http://www.sustainability.scm.com.ua/uk/about_scm/.../84/)).
7. The use and disposal of coal combustion by-products at coal mines: A technical interactive forum, Held at The National Energy Technology Laboratory Morgantown, West Virginia, 04.10.2000.
8. Aharval V.K. Technology of fly ash removal in the TPPs in India // Materials of II theoretical and practical seminar «Ashes and slags of TPPs: removal, transportation, processing, storage», Moscow, on April, 23rd-24th 2009. M.:MEI publishing house, 2009. pp. 95-100.
9. Havrilov E.I. Fuel and transport equipment and ash and slag removal on the TPPs: Study manual for high schools. -M.:Enerhoatomvydat, 1987. p. 149-154.
10. Urban Ya., Pneumatic transport/ transl. from Czech language, author R.E. Meltser ; under the editorship of L.G. Shvedov. / - Moscow: Engineering industry, 1967. -255 pgs.
11. <http://www.flsmidth.com/ru-ru/>
12. [info@ukrelektroservis.com.ua](mailto:info@ukrelektroservis.com.ua)
13. Experience in the implementation of dry ash handling systems in the «Kvarts Group LLC», 05.2014 /[www.quartz-group.ru/](http://www.quartz-group.ru/).
14. Kloni M. Applying a technique of ashes and slags pneumatic removal from 300 MW and 500 MW power-generating units of the coal-fired power plants. Technology of fly ash removal in the TPPs in India / Kloni M., Kolomiets Yu. // Materials of II theoretical and practical seminar «Ashes and slags of TPPs, removal, transportation, processing, storage», Moscow, April, 23rd-24th 2009. M.:MEI publishing house, 2009. p. 101-103.
15. Types of pneumatic handling systems: features. Products of Clyde Bergemann Group. / Presentation of 12.2005. <http://www.enerms.ru/ru/products/sistemy-zoloshlakoudaleniya.html>.

**Л.А. Кесова**, д-р техн. наук, профессор; **А.В. Кравчук**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ЗОЛОУДАЛЕНИЯ ТЭС**

*В Европейском союзе, США и других развитых странах мира зола электростанций рассматривается как техногенное сырье для многих отраслей промышленности, которая утилизируется до 92% в сухом виде, их системы пневмозолоудаления есть неотъемлемой составной технологического процесса угольных ТЭС. В Украине применяются системы гидрозолоудаления и, как следствие, зола теряет свои потребительские ценности относительно такого использования, а ее накопление на золоотвалах приводит к проблемам землеотвода, загрязнения грунта, водоемов, атмосферы, опыления территорий, возможности катастрофических последствий от прорыва ограждения дамб, решением которых является утилизация золы в сухом виде.*

*В статье приведенный сравнительный анализ известных систем пневмозолоудаления (за фазой плотности, характером транспортировки, способа создания в трубопроводе разности давления), предоставлены рекомендации относительно выбора оборудования и технологий, которые получили положительную апробацию в мире. Их использование на угольных ТЭС Украины позволит максимально утилизировать золу как ценный продукт, получить прибыль от сбыта, решить проблемы охраны окружающей среды.*

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы, системы пневмо- и гидрозолоудаления, пневмотранспорт, установки вакуумные, напорные, комбинированные, плотнофазные системы, насосы, воздухоудвнне устройства.

Надійшла 26.12.2015

Received 26.12.2015

В.И. Коньшин, канд. техн. наук, доц., Г.Ю. Евлахович, магистрант  
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫГОРОДКИ РЕАКТОРА ЭНЕРГОБЛОКА №1 ОП ЮУАЭС

*Сделан анализ рассчитанного флюенса нейтронов для выгородки реактора ВВЭР-1000. Определены текущие и прогнозные механические свойства материала выгородки – стали 08X18H10T. Представлена математическая модель радиационной ползучести материала элемента ВКУ. Реализована математическая модель распухания аустенитной стали 08X18H10T, учитывающая напряженно-деформированное состояние, температуру, влияние пластических деформаций и радиационной ползучести. Даны оценки формоизменению и напряженному состоянию выгородки в течение 25, 40 и 60 лет работы реактора ВВЭР-1000. Показано, что за период 60 лет металл выгородки удовлетворяет всем предъявленным требованиям.*

**Ключевые слова:** внутрикорпусные устройства (ВКУ), выгородка, флюенс, радиационное распухание, радиационная ползучесть, ВВЭР-1000, объемные деформации.

### Введение

К настоящему времени срок эксплуатации для большинства энергоблоков АЭС Украины превысил половину срока, назначенного в проекте, и который к 2025 г. для большинства ныне действующих энергоблоков АЭС будет исчерпан. В связи с этим технически обоснованное и экономически целесообразное продление срока эксплуатации энергоблоков АЭС при соблюдении требований национальных норм и правил ядерной и радиационной безопасности и рекомендаций МАГАТЭ относится к первоочередным задачам ГП НАЭК "Энергоатом" на ближайшее время. Важной частью работ по продлению срока эксплуатации есть работы, связанные с оценкой технического состояния внутрикорпусных устройств, в частности и выгородки.

Выгородка ядерного реактора ВВЭР-1000 (рисунок 1) подвержена высоким дозам радиационного облучения, которое вызывает возникновение целого комплекса дефектов, приводящих к деградации физико-механических свойств материала. Облучение не только приводит к изменению физических свойств материала выгородки, но и к изменению её объема – распуханию. Распухание обусловлено различной подвижностью радиационных точечных дефектов, приводящей к избытку вакансий и образованию их скоплений в виде пор в объеме облучаемого материала. Процесс распухания в значительной степени зависит от радиационной дозы, температуры облучения и связанных с распуханием материала напряжений и пластических деформаций.

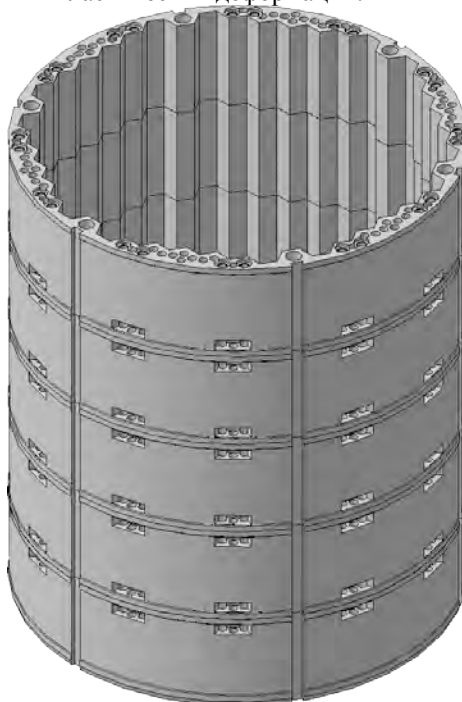


Рисунок 1 – Общий вид выгородки

Прогнозирование радиационного распухания материала выгородки важно с точки зрения возможности извлечения крайних ТВС из активной зоны и смыкания зазора между выгородкой и стенкой шахты, что влечет за собой изменение теплообмена в активной зоне, последствия которого могут быть опасны из-за нарушения температурного режима работы реактора. Полное смыкание зазора между выгородкой и стенкой шахты и дальнейшее распухание выгородки приводит к значительному деформированию стенки шахты и росту напряжений, что может привести к ее разрушению. Прогнозирование изменения напряженно-деформированного состояния ВКУ в процессе эксплуатации, в том числе для обоснования продления ресурса действующих энергоблоков ВВЭР-1000 до 60 лет, является сегодня крайне актуальной задачей.

#### Входные данные

В качестве входных данных по полученной дозе были использованы данные ИЯИ (Чехия, г. Ржеж) для 25,40 и 60 лет эксплуатации, которые представлены в таблицах 1 и 2 [1].

Таблица 1 – Максимальный флюенс нейтронов с  $E_n > 0,5$  МэВ за 25 топливных кампаний на уровне максимума аксиального распределения флюенса нейтронов

Элемент ВКУ	Флюенс нейтронов, нейтр/м <sup>2</sup>	
	внутренняя поверхность	внешняя поверхность
выгородка	$3,56 \times 10^{26}$	$4,69 \times 10^{25}$

Таблица 2 – Максимальное расчетное значение флюенса нейтронов с  $E_n > 0,5$  МэВ за 40 и 60 топливных кампаний на уровне максимума аксиального распределения флюенса нейтронов

Элемент ВКУ	Поверхность элемента	40 топливных кампаний		60 топливных кампаний	
		оценка 1	оценка 2	оценка 1	оценка 2
		нейтр/м <sup>2</sup>			
Выгородка	внутренняя	$5,7 \times 10^{26}$	$5,36 \times 10^{26}$	$8,54 \times 10^{26}$	$8,31 \times 10^{26}$
	внешняя	$7,5 \times 10^{25}$	$7,04 \times 10^{25}$	$1,13 \times 10^{26}$	$1,02 \times 10^{26}$

Приведенные выше в таблицах значения флюенса нейтронов были использованы для определения механических свойств материала выгородки – стали 08X18H10T. Текущие и прогнозные свойства (таблицы 3-5) материала выгородки были получены из трендовых кривых, которые построены на основе имеющихся результатов испытаний материала ВКУ АЭС Грайфсвальд [2] (то есть материала, облученного в реакторе ВВЭР-440 после 15 лет эксплуатации) и аустенитных сталей, облученных в реакторе на быстрых нейтронах БОР-60 [3-5], а также результатов оценки флюенса нейтронов на элементы ВКУ реактора энергоблока № 1 ОП ЮУАЭС.

Таблица 3 – Значение механических свойств материала ВКУ после 25 лет эксплуатации реактора энергоблока № 1 ОП ЮУАЭС (T= 320°C)

Элемент ВКУ	Флюенс нейтр/м <sup>2</sup> ( $E_n > 0,5$ МэВ)	Доза, с.н.а. ( $E_n > 0,5$ МэВ)	$R_{p0,2}$ , МПа	$R_m$ , МПа	$R_m/R_{p0,2}$	Z, %	A, %	$J_{0,2}$ , кДж/м <sup>2</sup>
выгородка (максимум)	$3,56E+26$	29	806	806	1,0	44	7	7
выгородка (минимум)	$1,82E+25$	1,16	530	653	1,23	53	11	194

Таблица 4 – Значение механических свойств материала ВКУ после 40 лет эксплуатации реактора энергоблока № 1 ОП ЮУАЭС (T= 320°C)

Элемент ВКУ	Флюенс нейтр/м <sup>2</sup> ( $E_n > 0,5$ МэВ)	Доза, с.н.а. ( $E_n > 0,5$ МэВ)	$R_{p0,2}$ , МПа	$R_m$ , МПа	$R_m/R_{p0,2}$	Z, %	A, %	$J_{0,2}$ , кДж/м <sup>2</sup>
выгородка (максимум)	$5,70E+26$	47	810	810	1,0	44	7	4
выгородка (минимум)	$2,91E+25$	1,9	611	699	1,14	50	9	121

Таблица 5 – Значение механических свойств материала ВКУ после 60 лет эксплуатации реактора энергоблока № 1 ОП ЮУАЭС (Т= 320°С)

Элемент ВКУ	Флюенс нейтр/м <sup>2</sup> (E <sub>n</sub> >0,5МэВ)	Доза, с.н.а. (E <sub>n</sub> >0,5МэВ)	R <sub>p0,2</sub> , МПа	R <sub>m</sub> , МПа	R <sub>m</sub> /R <sub>p0,2</sub>	Z, %	A, %	J <sub>0,2</sub> , кДж/м <sup>2</sup>
выгородка (максимум)	8,54E+26	71	810	810	1,0	44	7	3
выгородка (минимум)	4,37E+25	2,8	666	729	1,1	48	9	81

В таблицах представлены следующие величины:

R<sub>p0,2</sub> – предел текучести, МПа;

R<sub>m</sub> – предел прочности, МПа;

A – относительное удлинение, %;

Z – относительное сужение, %;

J<sub>0,2</sub> – J-интеграл, кДж/м<sup>2</sup>.

#### Оценка радиационного распухания

Оценка радиационного распухания была выполнена в три этапа:

1) температурный расчет с целью определения температуры в каждом элементе модели выгородки, для расчетного состояния – эксплуатация реактора на полной мощности (НЭ);

2) аналитический расчет объемных деформаций (т.е. радиационного распухания), используя значения температуры, определенной на предыдущем этапе, и величину с.н.а. (смещения на атом);

3) решение задачи механики (упруго-пластической) для определения изменения формы выгородки с использованием в качестве нагрузки объемных деформаций, которые были определены на предыдущем этапе.

#### Температурный расчет для оценки радиационного распухания

На данном этапе выполнен расчет стационарного температурного поля при условиях эксплуатации реактора на полной мощности (при нормальной эксплуатации). Для моделирования этой ситуации была выбрана кампания № 22. Расчет представляет собой решение стационарной температурной задачи с внутренними источниками теплоты, которые соответствуют радиационным тепловыделениям при эксплуатации реактора на полной мощности (НЭ), и с соответствующими постоянными во времени краевыми условиями. Расчет был выполнен на трехмерной модели.

Учитывая симметричность выгородки в окружном направлении, была смоделирована только одна двенадцатая ее сечения, соответствующая центральному углу 30°. Высота модели составляет 400мм (участок с максимальным флюенсом нейтронов). Модель с конечно-элементной сеткой представлена на рисунке 2.

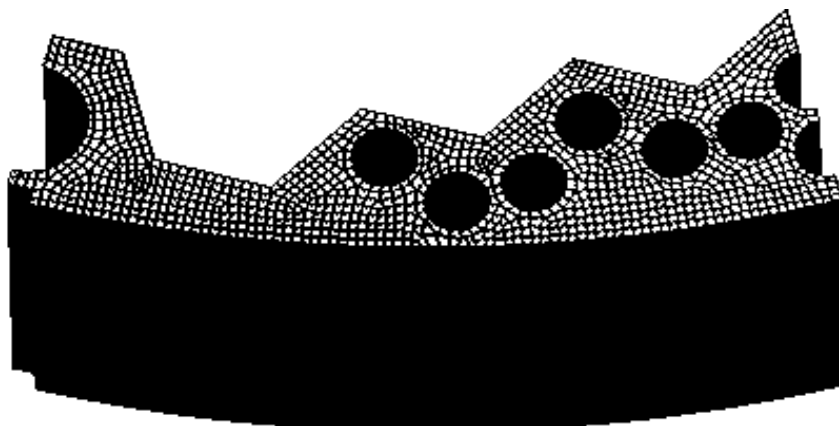


Рисунок 2 – Модель выгородки

В расчет стационарного температурного поля входят следующие данные: радиационные энерговыделения вследствие гамма-облучения, температура теплоносителя и коэффициенты теплоотдачи, соответствующие НЭ. Радиационные энерговыделения вследствие гамма-облучения входят в температурный расчет как источники теплоты в соответствующей задаче теплопередачи, температура теплоносителя и коэффициенты теплоотдачи заданы на границе выгородки в качестве краевых условий третьего рода (все упомянутые величины постоянные во времени).

Температура теплоносителя и коэффициенты теплоотдачи на границе выгородки были рассчитаны с помощью кода RELAP5. Значения рассчитанных температур и коэффициентов теплоотдачи (в верхней части выгородки) приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Температура теплоносителя и коэффициенты теплоотдачи на границах выгородки

Параметр	Размерность	Внутренняя поверхность выгородки	Наружная поверхность выгородки	Классические каналы	Каналы с контейнерами для образцов-свидетелей	Большой канал
Температура теплоносителя	[°C]	320	291,7	292,1	291,7	291,7
Коэффициент теплоотдачи	[В·м <sup>-2</sup> ·К <sup>-1</sup> ]	39017	15900	1331	2308	1115

Стационарная задача теплопроводности была решена как нелинейная, с учетом зависимости свойств материала от температуры.

Результаты расчета стационарного температурного поля приведены на рисунке 3. Максимальная температура достигнута внутри выгородки на краю смоделированного симметричного сегмента (обозначение серым кружком), и составляет 435,5°С.

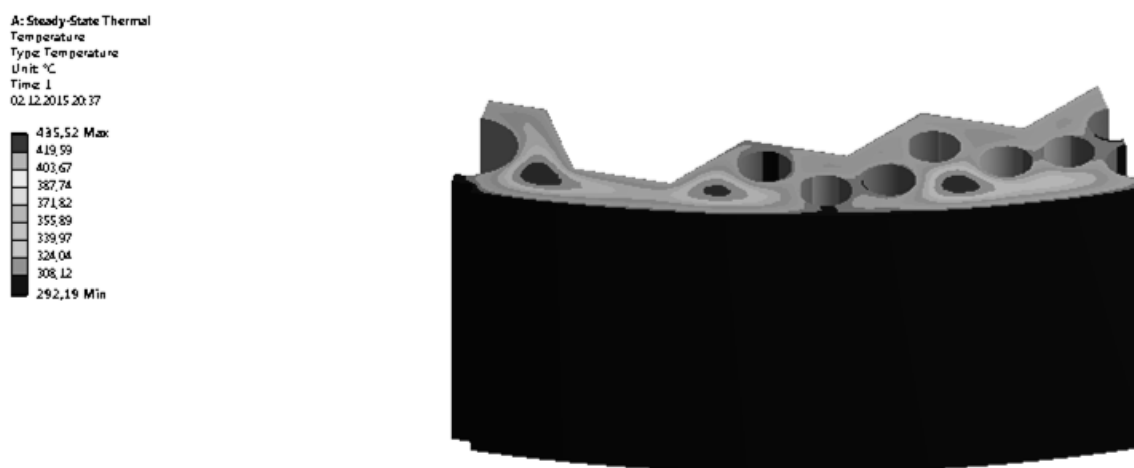


Рисунок 3 – Распределение температуры в выгородке при нагрузке радиационными энергосвечениями для кампании № 22 (НЭ)

### Аналитический расчет объемных деформаций вследствие радиационного распухания

Результаты расчетов стационарного температурного поля и величины с.н.а. использовались в аналитическом расчете объемных деформаций, с использованием следующей формулы [6]:

$$\Delta V/V = 0,55(\Phi + 0,1T - 67)\exp(-29 \cdot 10^{-5}(T - 485)^2), \quad (1)$$

где  $\Delta V/V$  – относительное радиационное распухание (представлено в виде относительной объемной деформации  $\epsilon_v$ ), [%],

$\Phi$  – повреждающая доза, [с.н.а.],

$T$  – температура облучения, [°C].

Если выражение  $(\Phi + 0,1T - 67)$  в уравнении (1) становится отрицательным (что наступает для низких значений повреждающей дозы), то необходимо положить его равным нулю, вследствие чего объемная деформация, определяемая по формуле (1), становится также равной нулю.

По формуле (1) были определены относительные объемные деформации выгородки для 25, 40 и 60 лет эксплуатации реактора, которые используются при решении соответствующих задач механики для оценки распухания.

На основе объемных деформаций, определенных по формуле (1), рассчитаны отдельные составляющие тензора деформаций  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  (причем предполагается, что  $\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z$ ), с использованием следующего выражения:

$$\epsilon_x = \sqrt[3]{\epsilon_v + 1} - 1, \quad (2)$$

где  $\epsilon_v = (\Delta V/V)/100$ .

**Задачи механики, решенные в рамках оценки радиационного распухания**

Оценка радиационного распухания выгородки после 25, 40 и 60 лет эксплуатации реактора выполнена путем решения соответствующих задач механики с учетом в качестве нагрузки объемных деформаций. Эти задачи решены как на двухмерной, так и на трехмерной модели. При решении этих задач учитывались механические свойства облученного материала. Задачи решены как упруго-пластические. Поскольку для материала, облученного до высоких доз, предел текучести по значению практически приближается к пределу прочности, то была использована модель идеально-пластического материала.

Результаты расчета радиационного распухания представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Максимальные значения напряжений, деформации и перемещений в поперечном сечении выгородки вследствие радиационного распухания

Срок эксплуатации	Максимальная объемная деформация (максимальное радиационное распухание) $\Delta V/V$	Максимальное напряжение (Tresca)	Максимальная пластическая деформация	Максимальное радиальное перемещение в направлении до центра АЗ	Максимальное радиальное перемещение в направлении от центра АЗ
[лет]	[%]	[МПа]	[%]	[мм]	[мм]
25	0,4	183	0,0	0,02	0,000
40	2,1	875	0,2	0,5	0,3
60	4,6	918	1,4	1,6	1,2

**Выводы**

В рамках работы по оценке технического состояния выгородки выполнены расчеты радиационного распухания, а также определены текущие и прогнозные механические свойства основного металла элемента ВКУ. Для этой цели проведены расчеты распределения температуры с учетом объемных тепловыделений, радиационного распухания и радиационной ползучести, а также выполнена оценка изменения формы выгородки за период эксплуатации 60 лет.

По результатам выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1) учитывая особенность подхода, выбранного для прогноза механических свойств (а именно: при облучении свыше 10 с.н.а. параметры процесса упрочнения насыщаются и значение предела текучести становится очень близким по значению к пределу прочности, поэтому в рамках точности экспериментальных измерений не имеет смысла использовать две переменные) материала выгородки, для которого полученное максимальное значение дозы даже после 25 лет эксплуатации выше 10 сн, предел прочности равен пределу текучести.

В тоже время, для общей оценки состояния материала выгородки следует учитывать все механические свойства. Материал выгородки после облучения остается пластичным, даже если предел текучести будет равен пределу прочности, так как значение относительного удлинения ( $A$ ) сохраняется больше, чем значение относительного удлинения при максимальной нагрузке ( $A=A_m$ ) и больше, чем значение удлинения 0,2 % (т.е. удлинение при котором напряжение равно пределу текучести):  $A > A_m \geq 0.2\%$ .

2) относительное сужение материала выгородки под действием облучения уменьшается, но, даже для 60 лет эксплуатации не ниже значений, приведенных в ТУ и нормах [7]. В сравнении с паспортными данными в процессе эксплуатации значение относительного сужения понизилось, но осталось больше 40 % (для материала выгородки при максимальной дозе).

3) максимальное радиальное перемещение выгородки (в направлении ее центра) для 60 лет эксплуатации достигает значения 1,6 мм на внутренней поверхности в грани в области канала № 2. Это перемещение не превышает величину зазора между выгородкой и ТВС, который равен 5 мм [8]. Таким образом, можно заключить, что изменение формы выгородки после 60 лет эксплуатации удовлетворяет требованиям по величине зазора;

4) максимальное радиальное перемещение выгородки (в направлении, противоположном ее центру) для 60 лет эксплуатации достигает значения 1,2 мм на внешней поверхности. Это перемещение не превышает величину зазора между выгородкой и шахтой в месте соединения колец, которая равна 2,5 мм [8]. Таким образом, можно заключить, что изменение формы выгородки после 60 лет эксплуатации удовлетворяет требованиям по величине зазора;

5) для срока службы 25, 40 и 60 лет радиационное распухание достигает приемлемых значений – 0,4%, 2,1% и 4,6% соответственно. Эти значения благоприятны с точки зрения сопротивления материала выгородки хрупкому разрушению.



Следует отметить, что выполненный анализ содержит множество консервативных допущений.

1. Трехмерная модель обчислена на достаточно грубой сетке, которая дает результаты с некоторой погрешностью.
2. Не учтены условия закрепления колец выгородки в граненом поясе шахты с помощью труб и соединение колец между собой при помощи шпилек.
3. Модель не учитывает изменения температуры теплоносителя по высоте выгородки и коэффициентов теплопередачи между выгородкой и теплоносителем.

#### **Список литературы**

1. Расчет флюенса нейтронов на выгородку, включая элементы ее крепления // Отчет ИЯИ № 10 SMP 280, ДИТИ 2301/97, 2011.
2. Behavior of 08X18H10T Steel after 15 Years of Operation as Core Shroud of WWER 440 Plant / A. Hojna, M. Falcnik, O. Hietanen, L. Hulinova, R. Korhonen, F. Oszvald // 11th Int. Conference "Material Issues In Design, Manufacturing And Operation Of Nuclear Power Plants Equipment", 2010, St. Petersburg.
3. Effect of Neutron Irradiation on Microstructure and Mechanical Properties of VVER-type Reactor Vessel Internals / J. Kočík, M. Postler, M. Žamboch, E. Keilová, J. Burda: Fontevraud 5// International Symposium on PWR, France, 2002.
4. Оценка внутрикорпусных устройств реакторов ВВЭР-440 и 1000, заключительный отчет, ДИТИ 302/166, 2000 г.
5. Жамбох М. Составление модели повреждения с точки зрения радиационного упрочнения и коррозионного растрескивания / М. Жамбох, М. Рушак, ДИТИ 302/161, 2000 г.
6. Прочность основного оборудования и трубопроводов реакторных установок ВВЭР/ Н.В. Шарый, В.П. Семишкин, В.А. Пиминов, Ю.Г. Драгунов – М.: ИздАТ 2004, Москва.
7. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г -7-002-86.
8. №23/3812.3.12.1-4 База данных ядерной паропроизводительной установки с реактором ВВЭР-1000/302.

**V.I. Konshin, H.Y. Yevlakchovych**

**Nation Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»**

#### **THE TECHNICAL CONDITION ANALYSIS OF THE CORE SHROUD AT THE SUNPP-1 REACTOR**

*The calculations of neutron fluence on the WWER-1000 reactor's core shroud were made. The current and predicted mechanical properties of the main material (Steel 08X18H10T) of the core shroud were determined. Represented mathematical model for the radiation creep at the main material of the vessel internals. The radiation intumescence mathematical model for the austenitic steel that considers different properties (stress strain condition, temperature, the influence of radiation creep and plastic deformation) was implemented. The forming and stress condition evaluations of the core shroud were made for the operational term of 25, 40 and 60 years.*

*It is shown that for a period of 60 years metal core shroud meets all requirements*

**Key words:** vessel internals, core shroud, fluence, radiation creep, radiation intumescence, WWER-1000, volumetric deformation.

#### **References**

1. Calculation of the neutron flux in the cubicle, including elements of its fastening // Report INR № 10 SMP 280, DITI 2301/97, 2011.
2. Behavior of 08X18H10T Steel after 15 Years of Operation as Core Shroud of WWER 440 Plant / A. Hojna, M. Falcnik, O. Hietanen, L. Hulinova, R. Korhonen, F. Oszvald // 11th Int. Conference "Material Issues In Design, Manufacturing And Operation Of Nuclear Power Plants Equipment", 2010, St. Petersburg.
3. Effect of Neutron Irradiation on Microstructure and Mechanical Properties of VVER-type Reactor Vessel Internals / J. Kočík, M. Postler, M. Žamboch, E. Keilová, J. Burda: Fontevraud 5// International Symposium on PWR, France, 2002.
4. Evaluation of internals of VVER-440 and 1000, the final report, DITI 302/166, 2000.
5. Žamboch M. Modelling of damage in terms of radiation hardening and corrosion cracking / M. Žamboch, M. Ruchac, DITI 302/161, 2000.
6. The strength of the main equipment and piping VVER Reactors / N.V. Shary, V.P. Semishkin, V.A. Piminov, Yu.G. Dragunov – M.: IzdAT 2004, Moscow
7. The rules for calculating the strength of the equipment and pipelines of nuclear power plants. PNAE G-7-002-86.
8. №23/3812.3.12.1-4 Database nuclear steam output plant with reactor VVER-1000/302.

В.І. Кольшин, канд. техн. наук, доц., Г.Ю.Євляхович, магістрант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИГОРОДКИ РЕАКТОРА ЕНЕРГОБЛОКУ №1 ВП ЮУАЕС

*Зроблено аналіз розрахованого флюенсанейтронів для вигородки реактора ВВЕР-1000. Визначені поточні та прогнозні механічні властивості матеріалу вигородки – сталі 08X18H10T. Представлена математична модель радіаційної повзучості матеріалу елемента ВКП. Реалізована математична модель розпухання аустенітної сталі 08X18H10T, яка враховує напружено-деформований стан, температуру, вплив пластичних деформацій та радіаційної повзучості. Дані оцінки зміни форми та напруженому стану вигородки протягом 25, 40 та 60 років роботи реактора ВВЕР-1000. Показано, що за період 60 років метал вигородки задовольняє всім пред'явленим вимогам.*

**Ключові слова:** внутрішньокорпусні пристрої (ВКП), вигородка, флюенс, радіаційне розпухання, радіаційна повзучість, ВВЕР-1000, об'ємні деформації.

Надійшла 12.02.2016

Received 12.02.2016

М.Ф. Боженко, канд. техн. наук, доцент; І.Я. Перевьорткіна

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### КАСКАДНА УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ВОДОГРІЙНИХ КОТЕЛЕНЬ

*Наведені методику і результати розрахунків енергетичної ефективності калориферних установок, що використовуються для утилізації теплоти димових газів водогрійних котелень, при їх експлуатації в «сухому» та «мокрому» режимах. Визначені мінімальні температури охолодження димових газів в калориферах, при яких досягається максимальний потік відведеної теплоти. Встановлені оптимальні значення коефіцієнтів байпасування гарячих димових газів поза калориферними установками при різних початкових температурах.*

**Ключові слова:** котел, димові гази, утилізатор-калорифер, тепловий потік, ентальпія, вологовміст, енергетична ефективність.

#### Вступ

Сьогодні на передній план в комунально-побутовій теплоенергетиці висунута задача економії природного газу, одним з шляхів якої є підвищення коефіцієнта корисної дії джерел теплоти, зокрема, опалювальних водогрійних котелень.

Відомо, що в багатьох діючих котельнях систем централізованого та помірно-централізованого теплопостачання в експлуатації знаходяться водогрійні котли типу КВ-ГМ, температура димових газів на виході з яких при спалюванні газу  $t'_r$  коливається від 140°C до 190°C, а ККД – від 90,5% до 92,5% [1]. Зниження  $t'_r$  сприятиме підвищенню ККД котла, а загалом і котельні в цілому.

#### Постановка задачі

Теплота димових газів, що охолоджуються, може бути використана для нагрівання води власних потреб котельні (сирої чи хімічно-підготовленої), гарячого водопостачання (при централізованому її приготуванні у котельні), низькотемпературних систем опалення і т.ін., в поверхневих чи контактних теплоутилізаторах.

Виконані на кафедрі ТПТ НТУУ «КПІ» дослідження порівняльної ефективності утилізаторів теплоти димових газів пароводогрійних котелень показали, що з економічної точки зору за мінімальною величиною зведених витрат найефективнішими є поверхневі утилізатори-калорифери [2]. При виконанні розрахунків розглянуті варіанти встановлення за паровим котлом ДЕ-6,5-14 ГМ шести поверхневих калориферів КсК 3-12 тепловою потужністю 246 кВт, що використовуються для нагрівання сирої води в котельні від 5 до 25 °С, а також контактного утилізатора з активною насадкою КТАН-0,5 УГ теплопродуктивністю 520 кВт, який використовується для нагрівання сирої води від 5 до 20 °С і хімічно підготовленої води від 20 до 50 °С. За відомими співвідношеннями визначали зведені витрати, які для калориферної установки склали 55600 грн, а для контактного утилізатора – 840000 грн. Питомі зведені витрати, які віднесені до 1 кВт утилізованої теплоти, склали відповідно 226 грн/кВт і 1600 грн/кВт.

Поверхневі теплоутилізатори зазвичай експлуатуються у так званому «сухому» режимі, коли від димових газів відводиться тільки «явна» теплота при їх постійному вологовмісті, а кінцева температура димових газів на виході з утилізатора  $t''_r$  становить  $60^\circ\text{C}$ , яка більша за температуру точки роси  $t_{р,д,г}$ [3]. Збільшити потік відведеної від димових газів теплоти можливо при їх глибокому охолодженні до температури, яка менша за температуру точки роси.

**Метою даної роботи** є порівняльний аналіз енергетичної ефективності використання поверхневих утилізаторів – калориферів для глибокої утилізації димових газів в водогрійних котельнях систем централізованого та помірно-централізованого тепlopостачання.

**Методика розрахунків для калориферних установок, що експлуатуються в «сухому» режимі**

Приклад схеми роботи калориферів в «сухому» режимі для водогрійної котельні з трьома котлами наведений на рис.1.

Можливий потік утилізованої теплоти при роботі калориферних установок в «сухому» режимі, кВт, визначається з рівняння

$$Q_{к,г1} = \sum L_{гi}^c (h'_r - h''_r), \tag{1}$$

де  $L_{гi}^c$ - витрата сухих димових газів для однієї калориферної установки, кг/с;  $h'_r$  та  $h''_r$ -ентальпія димових газів на вході в калориферні установки та виході з них, кДж/кг.

Для визначення ентальпії димових газів використана залежність[3]

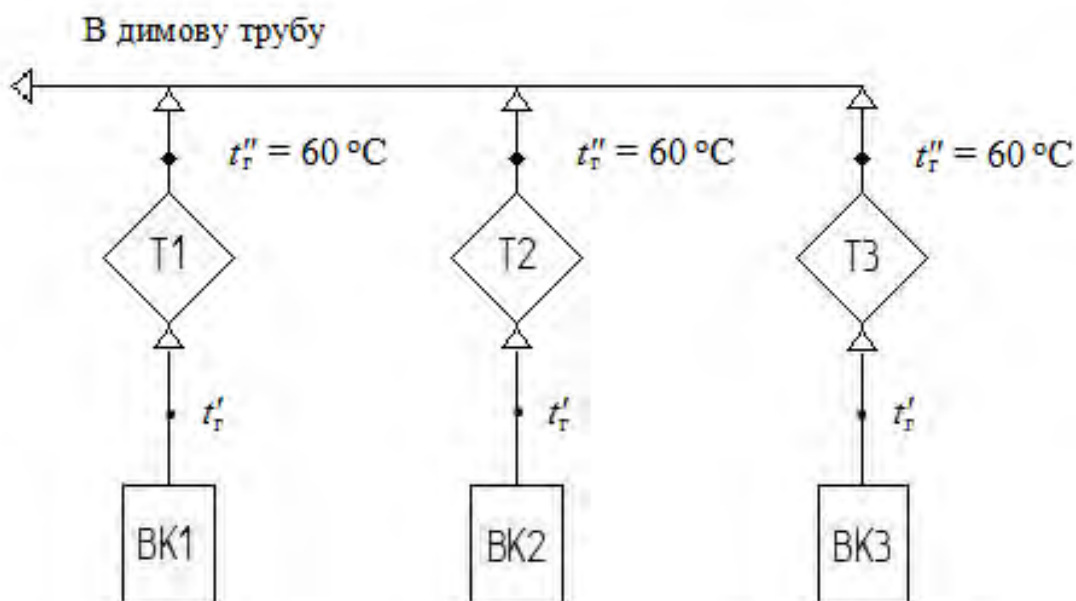


Рисунок 1 – Робота калориферів у «сухому» режимі :BK1-BK3 – водогрійні котли; T1-T2- теплоутилізатори-калорифери

$$h_{гi} = c_{с,гi} t_{гi} + (2500 + 1,97 t_{гi}) d'_{гi}, \tag{2}$$

де  $c_{с,гi}$ - теплоємність (кДж/кг);  $t_{гi}$ - температура ( $^\circ\text{C}$ );  $d'_{гi}$ - вологовміст (кг/кгс.г) димових газів.

Вологовміст продуктів згоряння природного газу для усередненого складу, г/кг с.г, залежить в основному від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha_{вiдх}$ , а також вологовмісту дуттьового повітря  $d_{п}$ , г/кг с.п, і визначається за формулою [4]

$$d'_r = (130 + \alpha_{вiдх} d_{п}) / (\alpha_{вiдх} - 0,058).$$

Беручи  $\alpha_{вiдх}=1,15$ ,  $ad_{п}=10$  г/кг с.п, отримаємо величину  $d'_r = 130$  г/кг с.п, або 0,13 кг/кгс.п.

У всіх наступних розрахунках потік утилізованої теплоти будемо відносити до  $L_{г}^c = 1$  кг/с, тоді з урахуванням постійної теплоємності  $c_{с,г} = 1$  кДж/(кг·К) та температури димових газів на виході з калориферів  $t''_r = 60^\circ\text{C}$ , формула (1) набуде вигляду

$$Q_{к,г1} = 1,256(t'_r - 60). \tag{3}$$

### Методика і результати розрахунків для калориферних установок, що експлуатуються в «мокрому» режимі

Для глибокого охолодження продуктів згоряння нижче температури точки роси вельми енергоефективними є конденсаційні контактні утилізатори[5], але з іншого боку, як показано вище, зведені витрати в них більші ніж в поверхневих утилізаторах-калориферах.

Збільшити потік відведеної від димових газів теплоти можна при експлуатації калориферів у так званому «мокрому» режимі, коли від димових газів відводиться і «явна» і «прихована» теплота.

Практичний досвід роботи такої установки описаний в роботі [6]. Для глибокого охолодження відхідних газів використана тепло-утилізаційна установка, що встановлена за одним з парових котлоагрегатів ДЕ-10-14ГМ на Ульяновській ТЕЦ-3. Вона виконана на базі біметалевого калорифера КСК 4-11 і призначена для нагрівання сирі води перед подачею на хімводопідготовку. Огляд роботи установки через 2 роки експлуатації показав, що хімічна корозія, ерозійне зношення та забруднення зовнішньої поверхні калорифера було відсутнє.

Останнє, на наш погляд, повинно зняти перестороги щодо експлуатації калориферів у «мокрому» режимі, коли від димових газів при їх охолодженні відводиться і «явна» і «прихована» теплота.

Але все таки при роботі теплоутилізаційних установок при глибокому охолодженні димових газів необхідно запобігти конденсатуутворенню в газоходах котельні і димовій трубі, тобто забезпечити температуру димових газів в них не менше як  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що можна досягти наступними методами [7]:

- підігріванням охолоджених димових газів у поверхневому теплообміннику, нагрівальним теплоносієм в якому може бути гаряча вода після водогрійних котлів (для водогрійних котельнь), або гарячі димові гази, що відібрані перед економайзером парового котла (для котельнь з паровими котлами);
- підмішуванням до відхідних газів повітря, нагрітого в повітронагрівачі котельні (для котельнь з паровими котлами);
- байпасуванням частини димових газів поза теплоутилізаторами (для котельнь всіх типів).

В подальших розрахунках обрано метод байпасування частини димових газів після котлів в обхід калориферів, оскільки він потребує мінімальних капіталовкладень порівняно з іншими.

На рис.2 представлена каскадна схема теплоутилізаційної калориферної установки для котельні, наприклад, з трьома водогрійними котлами.

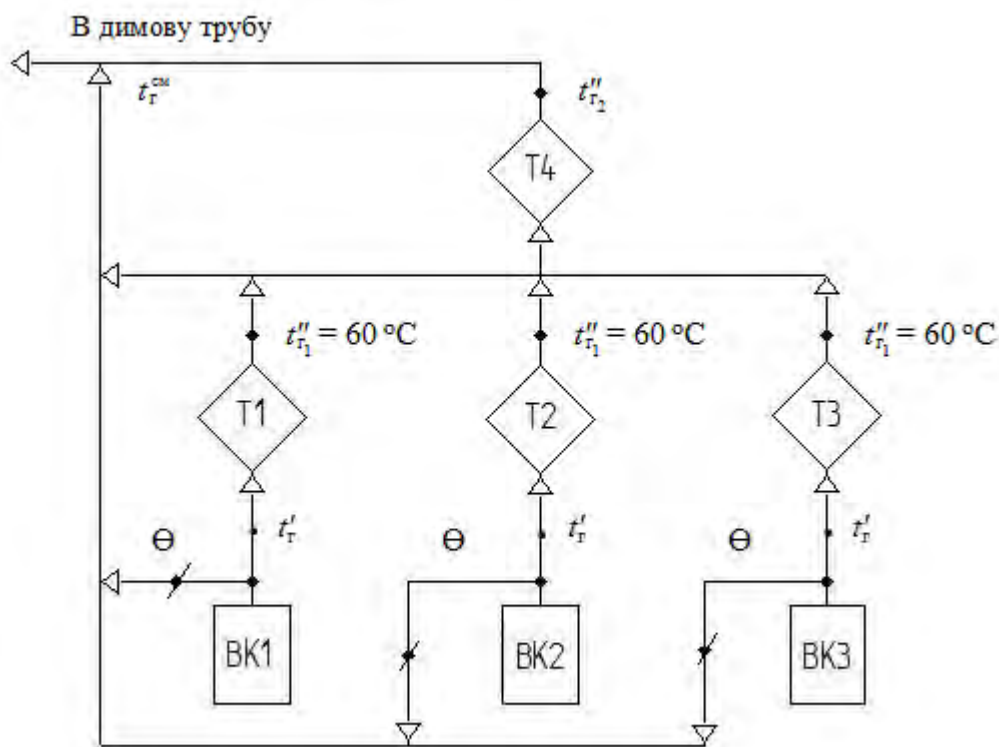


Рисунок 2 – Каскадна схема утилізації теплоти димових газів: ВК1-ВК3-водогрійні котли; Т1-Т3-теплоутилізатори-калорифери («сухий» режим роботи); Т4-теплоутилізатори-калорифери («мокрый» режим роботи);  $\epsilon$  – коефіцієнт байпасування

Згідно з наведеною на рис. 2 схемою за кожним з водогрійних котлів встановлені калориферні установки, що експлуатуються в «сухому» режимі, тобто температура димових газів після них  $t''_{\Gamma}$  становить 60°C. Далі димові гази надходять на одну калориферну установку, що експлуатується у «мокрому» режимі, температура димових газів після якої  $t''_{\Gamma_2}$  буде меншою за температуру точки роси  $t_{p,д.г.}$ . Наявність однієї загальної установки (Т4), що працює в «мокрому» режимі, а не за кожним котлом окремо, дасть змогу, у разі потреби, з мінімальними капіталовкладеннями відремонтувати її, або замінити.

Для виключення конденсації водяних парів з димових газів в газовому тракті та димовій трубі передбачено подачу частини димових газів з температурою  $t'_{\Gamma}$  по байпасному газоходу.

Коефіцієнт байпасування  $\square$  підбирається таким, щоби температура суміші димових газів  $t_{\Gamma}^{CM}$  була не меншою за 60°C, для чого використовується рівняння теплового балансу

$$t_{\Gamma}^{CM} c_{c,г}^{CM} = t''_{\Gamma_2} c''_{c,г} (1 - \Theta) + t'_{\Gamma_1} \Theta c'_{c,г}$$

Беремо  $t_{\Gamma}^{CM} = 60$  °C, а  $c_{c,г} = \text{Const}$ , тоді

$$\Theta = \frac{60 - t''_{\Gamma_2}}{t'_{\Gamma_1} - t''_{\Gamma_2}}$$

Можливий потік утилізованої теплоти в кожній з установок, що працюють у «сухому» режимі, кВт, віднесений до масової витрати сухих димових газів  $L_{\Gamma}^c = 1$  кг/с

$$Q_{к.г_1} = (1 - \Theta) 1,256(t'_{\Gamma} - 60).$$

Можливий потік утилізованої теплоти в установці, що працює в «мокрому» режимі, кВт, віднесений до масової витрати сухих димових газів  $L_{\Gamma}^c = 1$  кг/с

$$Q_{к.г_2} = (1 - \Theta) 1,256(h''_{\Gamma_1} - h''_{\Gamma_2}), \quad (4)$$

де  $h''_{\Gamma_1}, h''_{\Gamma_2}$  - ентальпії димових газів на вході в установку Т4 та виході з неї відповідно, кДж/кг.

Ентальпії димових газів визначаються за формулою (2).

З урахуванням температури  $t''_{\Gamma_1} = 60$ °C і вологовмісту  $d''_{\Gamma_1} = 0,13$  кг/кгс.г, формула (4) набуває вигляду

$$Q_{к.г_2} = (1 - \Theta) \left\{ 400 - \left[ t''_{\Gamma_2} + (2500 + 1,97t''_{\Gamma_2}) \frac{d''_{\Gamma_2}}{1000} \right] \right\},$$

де  $d''_{\Gamma_2}$  - вологовміст димових газів після калориферної установки, що працює в «мокрому» режимі, г/кгс.г.

Вологовміст  $d''_{\Gamma_2}$ , г/кгс.г, визначали за формулою, що рекомендована для цієї величини при охолодженні димових газів до повного насичення ( $\varphi''_{\Gamma_2} = 100$  %)[4]

$$d''_{\Gamma} = \frac{0,6382 + 4 \alpha_{в\text{ідх}}}{0,199 + \alpha_{в\text{ідх}}} e^{0,062 t''_{\Gamma}},$$

де  $\alpha_{в\text{ідх}}$  - коефіцієнт надлишку повітря у відхідних димових газах.

Сумарний можливий потік утилізованої теплоти при каскадному встановленні калориферних установок

$$Q_{к.г} = Q_{к.г_1} + Q_{к.г_2}$$

За наведеною вище методикою виконані розрахунки залежностей коефіцієнтів байпасування  $\square$  (рис.3) та потоку утилізованої теплоти  $Q_{к.г}$  (рис.4) при каскадному встановленні калориферних установок від кінцевої температури охолоджених димових газів  $t''_{\Gamma_2}$  при різних температурах димових газів на виході з котлів - вході в калориферні установки  $t'_{\Gamma_1}$ . Коефіцієнт надлишку повітря у відхідних димових газах брали  $\alpha_{в\text{ідх}} = 1,15$ .

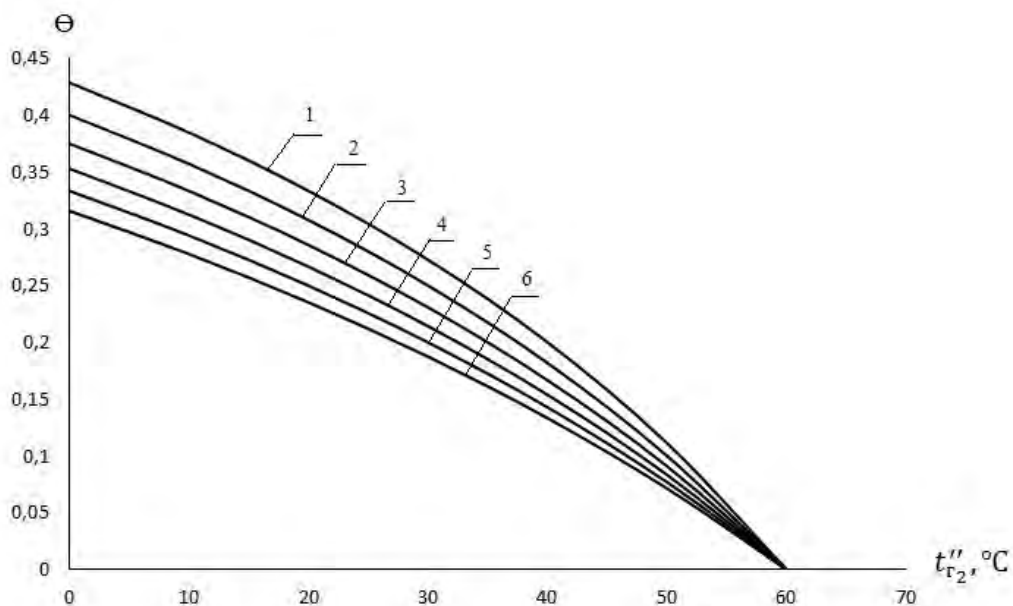


Рисунок 3 – Залежності коефіцієнта байпасування  $\vartheta$  від кінцевої температури охолоджених газів  $t''_{r2}$  при температурах димових газів на вході в калорифер  $t'_{r1}$ , °C: 1-140; 2-150; 3-160; 4-170; 5-180; 6– 190

*Аналіз отриманих результатів* показав наступне:

- при температурі димових газів після калориферних установок  $t''_{r2} = 60$  °C, яка є мінімальною при експлуатації калориферних установок в «сухому» режимі, коефіцієнт байпасування  $\vartheta$  для будь-якої початкової температури димових газів дорівнює нулю;

- при зменшенні температури охолоджених димових газів величина  $\vartheta$  збільшується, при цьому абсолютні значення коефіцієнта байпасування підвищуються зі зменшенням початкової температури;

- потік відведеної в калориферних установках теплоти збільшується зі зменшенням температури охолодження, при цьому мінімальні значення цієї величини характерні для «сухого» режиму роботи калориферів ( $t''_{r2} = 60$  °C); абсолютні значення величини  $Q_{к.г}$  підвищуються зі збільшенням початкової температури;

- максимальний потік відведеної теплоти в калориферних установках відповідає температурам димових газів на виході, які лінійно зменшуються від 24 °C (при  $t'_{r1} = 140$ °C) до 19 °C (при  $t'_{r1} = 190$ °C).

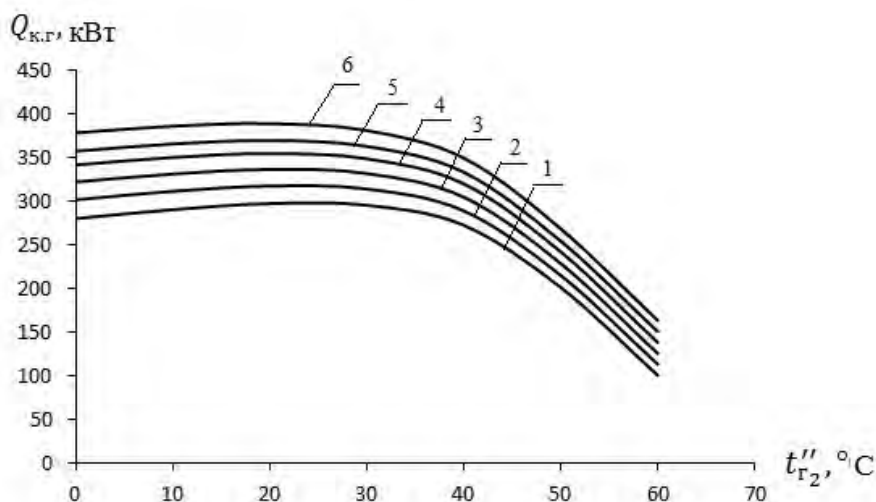


Рисунок 4 – Залежності питомого потоку відведеної теплоти  $Q_{к.г}$  від кінцевої температури охолоджених димових газів  $t''_{r2}$  при температурах димових газів на вході в калорифер  $t'_{r1}$ , °C: 1-140; 2-150; 3-160; 4-170; 5-180; 6– 190

- мінімальний коефіцієнт байпасування при охолодженні димових газів до температур 19 – 24 °С складає 0,22 – 0,32;

- при глибокому охолодженні димових газів до температур 19 – 24 °С сумарний потік відведеної в калориферних установках теплоти збільшується приблизно у 2,3 – 3 рази порівняно з їх роботою у «сухому» режимі.

**Практичні розрахунки оцінки енергетичної ефективності** каскадної утилізації теплоти виконують в наступній послідовності.

1. В залежності від марки водогрійних котлів за паспортними або практичними даними визначають температуру димових газів на виході  $t'_{г1}$ , °С, та витрату природного газу на котел  $V_k$ , м<sup>3</sup>/год.

2. За рис.4 обирають ту температуру димових газів на виході з калорифера  $t''_{г2}$ , для якої потік відведеної теплоти  $Q_{кг}$  буде максимальним, і за рис.3 визначають коефіцієнт байпасування  $\square$ .

3. За методикою [3] в залежності від складу природного газу визначають масу сухих димових газів  $G_{г}^c$ , кг/м<sup>3</sup>.

4. Визначають сумарну витрату сухих димових газів ,кг/с, для всіх водогрійних котлів ( $n_k$ )

$$\sum L_{г}^c = n_k \frac{V_k}{3600} G_{г}^c \quad (5)$$

5. Визначають збільшення потоку відведеної теплоти в каскадній калориферній установці порівняно з експлуатацією її в «сухому» режимі ,кВт

$$\Delta \sum Q_{кг} = (Q_{кг} - Q_{кг1}) \sum L_{г}^c \quad (6)$$

Величина  $Q_{кг1}$  визначається за формулою (3), або за рис. 4, при  $t''_{г2} = 60$  °С.

6. Приріст річної кількості утилізованої теплоти в каскадній теплоутилізаційній установці за опалювальний період, ГДж/рік

$$\Delta Q_{ут} = \Delta \sum Q_{кг} \frac{t_{вн} - t_{ср.о}}{t_{вн} - t_{р.о}} n_o 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

де  $t_{вн}$ ,  $t_{ср.о}$ ,  $t_{р.о}$  – температури внутрішнього повітря; середня за опалювальний період та розрахункова зовнішнього повітря відповідно, °С;  $n_o$  – продовжуваність опалювального періоду, днів/рік.

7. Збільшення енергетичної ефективності каскадної теплоутилізаційної установивпорівнянні з експлуатацією її в «сухому»режимі, грн/рік

$$\Delta E_{ф} = \Delta Q_{ут} \cdot C_{т}, \quad (8)$$

де  $C_{т}$ -вартістьоддиницітеплоти, грн/ГДж.

### Приклад

1. Для наведених на рис.1,2 схем обрано, наприклад, три водогрійні котли КВ-ГМ-10, для кожного з яких  $t'_{г1} = 185$  °С, а  $V_k = 1260$  м<sup>3</sup>/ год.

2. Згідно з рис.3,4 визначаємо  $t''_{г2} = 19,5$ °С,  $\square = 0,24$  і  $Q_{кг} = 380$  кВт.

3. Для природного газу, що надходить в котельню, наприклад, з газопроводу Гоголево-Полтава, розраховано величину  $G_{г}^c = 13,09$  кг/м<sup>3</sup>, тоді за формулою (5) визначаємо сумарну витрату димових газів для всіх водогрійних котлів

$$\sum L_{г}^c = 3 (1260 \cdot 13,09) / 3600 = 13,74 \text{ кг/с.}$$

4. З використанням формули (3) визначаємо потік утилізованої теплоти калориферними установками, що працюють у «сухому» режимі

$$Q_{кг1} = 1,256 (185 - 60) = 157 \text{ кВт.}$$

5. За формулою (6) визначаємо збільшення потоку відведеної теплоти в каскадній калориферній установці порівняно з експлуатацією її в «сухому» режимі

$$\Delta \sum Q_{кг} = (380 - 157) 13,74 = 3064 \text{ кВт.}$$

6. Беремо  $t_{вн} = 20$  °С і, наприклад, для м. Києва,  $t_{ср.о} = -0,1$  °С,  $t_{р.о} = -22$  °С,  $n_o = 176$  днів, за формулою (7) визначаємо приріст річної кількості утилізованої теплоти в каскадній установці

$$\Delta Q_{ут} = 3064 (20 + 0,1) 176 \cdot 24 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} / (20 + 22) = 22298 \text{ ГДж/рік.}$$

7. Беремо вартість одиниці теплоти  $C = 128,2$  грн/ГДж і за формулою (8) визначаємо збільшення енергетичної ефективності каскадної теплоутилізаційної установив порівнянні з експлуатацією її в «сухому» режимі

$$\Delta E_{ф} = 22298 \cdot 128,2 = 2858604 \text{ грн /рік.}$$

**Висновки**

1. Розроблена методика розрахунків енергетичної ефективності теплоутилізаційної установки з поверхневими калориферами, що використовується для глибокого охолодження димових газів водогрійних котлів в опалювальних котельнях систем централізованого та помірно-централізованого теплопостачання.

2. Отримані залежності коефіцієнта байпасування та питомого потоку відведеної в калориферах теплоти від кінцевої температури охолодження димових газів при різних початкових температурах в інтервалі 140 - 190 °С.

3. В результаті розрахунків і порівняльного аналізу отримано, що максимальний потік відведеної теплоти в калориферних установках відповідає температурам димових газів на виході, які лінійно зменшуються від 24 °С (при  $t'_{г1} = 140^{\circ}\text{C}$ ) до 19 °С (при  $t'_{г1} = 190^{\circ}\text{C}$ ), при цьому мінімальний коефіцієнт байпасування при охолодженні димових газів до вказаних температур складає 0,22 – 0,32.

4. Виконані практичні розрахунки для котельні з трьома водогрійними котлами КВ-ГМ-10 (м. Київ) показали, що при використанні каскадної калориферної установки порівняно з експлуатацією її в «сухому» режимі за опалювальний сезон можливо досягти збільшення кількості утилізованої теплоти біля 22 тис. ГДж/рік.

**Список літератури**

1. Алабовський О.М. Проектування котельень промислових підприємств: курсове проектування з елементами САПР: навч. посібник для студентів вузів із спец. «Промислова теплоенергетика» / О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хоренженко. – Київ: Вища школа, 1992. – 207 с.

2. Коржевін А.Д. Комплексна утилізація теплоти в пароводогрійній котельні системи централізованого теплопостачання / А.Д. Коржевін, М.Ф. Боженко // Збірник тез доп. XI Міжнар. наук.-практ. конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», НТУУ «КПІ», 16-19 квітня 2013 р.– 2013. – Том 1. – С.137.

3. Боженко М.Ф. Енергозбереження в теплопостачанні: навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

4. Семенюк Л.Г. Получение конденсата при глубоком охлаждении продуктов сгорания / Л.Г.Семенюк // Промышленная энергетика. – 1987. – № 8. – С. 47–50.

5. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа / И.З. Аронов.– 2-е изд., перераб. и доп.– Л.: Недра, 1990. – 280 с.

6. Куудинов А.А. Повышение эффективности работы конденсационных теплоутилизаторов поверхностного типа / А.А.Куудинов // Промышленная энергетика. – 1999. – № 7. – С. 30–34.

7. Фіалко Н.М. Дослідження режимів роботи димових труб котельень за умов глибокого охолодження димових газів / Н.М. Фіалко, Р.О. Навродська, Г.О. Пресіч // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 27–31.

**M.F. Bozhenko, I.J. Pervortkina****National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»****CASCADING HEAT UTILIZATION OF FLUE GASES OF HEATING WATER BOILERS**

*These methods and calculation results of energy efficiency of heater installations used for heat utilization of flue gas water boilers, with their use in "dry" and "wet" conditions. The minimum temperature in the cooling flue gas heaters when achieved maximum flow allotted heat. The optimal coefficients of baypasuvannya of hot flue gases are established behind heater units at different initial temperatures.*

**Keywords:** boiler, flue gases, utilizer-heater, heat flux, enthalpy, moisture content, energy efficiency.

**References**

1. Alabovskyy O. M. Design of boiler plants of industrial enterprises: course design elements with CAD : teach, guide for students with specials. "Industrial power" / O.M. Alabovskyy, M.F. Bozhenko, Yu.V. Horenzhenko. - Kyiv : High School. 1992. - 207 p.

2. Korzhevin A.D. Integrated waste heat in steam- boiler district heating system / A.D. Korzhevin. M.F. Bozhenko // Collection of theses of article XI Intern. Science.-pract. conference of graduate students, undergraduates and students "Modern problems of scientific support energy" NTU "KPI". 16-19 April 2013. - 2013.-Volume I.-P. 137.

3. Bozhenko M.F. Energy efficiency in district heating : teach, guidances / M.F. Bozhenko, V.P. Salo. - K. : NTU "KPI", 2008. - 268 p.

4. Semenyuk L.G. Getting condensate cooling of products at deeply combustion / L.H. Semenyuk // Promyshlennaya energy. - 1987. - № 8. - P. 47-50.

5. Aronov Y.Z. Pin the heating water products of combustion of natural gas / Y.Z. Aronov. - 2nd ed.. Rev. and add. - L. : Nedra. 1990. - 280 p.

6. Kudynov A.A. Increase of the effectiveness of workcondensation heat utilizers of superficial type / A. A.



М.Ф.Боженко, канд. техн. наук, доцент; И.Я. Переверткина

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

**КАСКАДНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТОПИТЕЛЬНЫХ  
ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

*Приведены методики и результаты расчетов энергетической эффективности калориферных установок, которые применяются для утилизации теплоты дымовых газов водогрейных котельных, при их эксплуатации в «сухом» и «мокром» режимах. Определены минимальные температуры охлаждения дымовых газов в калориферах, при которых достигается максимальный поток отведенной теплоты. Определены оптимальные значения коэффициентов даяпасирования горячих дымовых газов в обход калориферных установок при разных начальных температурах.*

**Ключевые слова:** котел, дымовые газы, утилизатор-калорифер, тепловой поток, энтальпия, влагосодержание, энергетическая эффективность.

Надійшла 19.01.2016

Received 19.01.2016

# МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ MONITORING, DIAGNOSTIC AND MANAGEMENT OF POWER PROCESSES AND EQUIPMENT

УДК 621.311.001.57(063)

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент; Є.Г. Брижіцький, студент  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

*У статті проаналізовано фактори впливу на енергетичну ефективність електромеханічних систем: якість напруги живлення, режим навантаження, умови експлуатації; якість виготовлення, технічного обслуговування і ремонтів; якість активних та конструкційних матеріалів. Критичний вплив в реальних умовах експлуатації спричиняє якість напруги живлення та режим навантаження. За допомогою математичного моделювання показано, що при відхиленнях показників якості електричної енергії, які перевищують нормовані стандартами значення, нормальна робота електромеханічних систем або взагалі неможлива, або може бути забезпечена лише у випадку значного зменшення навантаження. Суттєве зниження енергоефективності електромеханічних систем має місце навіть у випадку, коли показники якості електричної енергії змінюються у межах припустимих стандартами значень.*

**Ключові слова:** енергоефективність, електромеханічна система, якість напруги живлення, режим навантаження.

**Вступ.** Досвід експлуатації промислових установок вказує на те, що енергоефективність електромеханічних систем (ЕМС) залежить від різноманітних чинників. Серед них найбільший вплив мають такі: якість напруги живлення, режим навантаження, умови експлуатації; якість виготовлення, технічного обслуговування і ремонтів; якість активних та конструкційних матеріалів; відповідність застосування виконанню [1].

**Метою роботи є:** дослідження впливу величини механічного навантаження та зниження якості напруги живлення на енергетичні характеристики ЕМС з асинхронними двигунами (АД).

**Аналіз попередніх досліджень.** Робота ЕМС в умовах неякісної електроенергії призводить до зниження рівня енергоефективності та працездатності устаткування. Так, при відхиленнях показників якості електричної енергії (ПЯЕ), які перевищують нормовані стандартами значення, нормальна робота ЕМС або взагалі неможлива, або може бути забезпечена лише у випадку значного зменшення навантаження. Суттєве зниження енергоефективності ЕМС має місце навіть у випадку, коли ПЯЕ змінюються у межах припустимих стандартами значень.

Можливі два варіанти вирішення проблеми, а саме, - робота зі зниженими ККД, коефіцієнтом потужності, з потребою частіших ремонтів та заміни устаткування або використання сучасних методів регулювання якості електроенергії з застосуванням новітніх силових електронних компонентів [2].

Відхилення напруги мережі змінює момент АД, а також реактивну потужність. Для забезпечення тривалої безвідмовної роботи двигуна напруга живлення не повинна бути вищою на 10% та нижчою на 5% від номінальної.

Несиметрія напруг викликає значні струми зворотної послідовності, які підвищують втрати та зменшують момент і потужність двигуна, тому він не може працювати в таких умовах з номінальним навантаженням на валу внаслідок надмірного перегрівання.

Несинусоїдальність напруги призводить до зростання опору обмоток струмам вищих гармонік, що викликає в двигуні суттєві втрати активної потужності та підвищене нагрівання.

Характер навантаження двигуна залежить від механізму, який він приводить у рух. Двигуни можуть працювати зі сталим навантаженням, або мати змінний характер роботи. Один і той само механізм залежно від технологічних умов роботи може працювати з різними графіками електричних навантажень.

АД розробляється для роботи з навантаженням 75-100% від номінальної потужності. Для зазначеного діапазону навантажень ККД близький до номінального. Для коефіцієнту потужності такий діапазон дещо вужчий [1].

Сучасні ЕМС мають високі значення ККД та коефіцієнта потужності за умови роботи в номінальному режимі. Через недосконалу експлуатацію коефіцієнт завантаження багатьох установок не перевищує 0,5 [1, 3]. Наприклад, електроприводи насосів комунального водопостачання завантажено на 20-30% від їх

встановленої потужності [3]. Тимчасом у країнах Західної Європи середнє завантаження ЕМС перевищує 0,6.

Робота ЕМС в недовантаженому режимі призводить до значних втрат, зниження ККД та коефіцієнта потужності. Встановлюється неефективний баланс складових потужності (зі збільшеним рівнем реактивної), що підвищує втрати в живильних мережах. На деяких підприємствах фактичні питомі реактивні навантаження досягають величини 1,4–1,6 квар/кВт, що майже вдвічі перевищує їх номінальні питомі реактивні навантаження. В АД основну частину балансу реактивної потужності становить потужність холостого ходу, яка може складати до 60% реактивної потужності двигуна за умови 100% завантаження [4].

За даними [5], навіть підвищення ККД ЕМС з АД на 2-3% є досить актуальним, оскільки інвестиції у підвищення ККД швидко окуплюються за рахунок зниження експлуатаційних витрат через зменшення споживання електроенергії. В середньому вартість реалізації можливості енергозбереження стосовно підвищення ККД на 1% становить приблизно 10% вартості самого двигуна [5].

Енергоефективність АД також залежить від умов його експлуатації. До них належать температура довкілля, вологість, тиск, вібрації, удари тощо. Як наслідок, у двигунів можливі руйнування окремих елементів і спаїв, порушення контактів, замикання проводів з ушкодженою ізоляцією, самовідгвинчування болтів, гайок тощо. Найнебезпечнішим є механічний резонанс, який часто призводить до руйнування конструкції.

АД, що випускаються, можуть мати енергетичні й технічні характеристики, які в гіршу сторону відрізняються від паспортних даних внаслідок використання неякісних матеріалів та вибіркового контролю якості двигунів, значних допусків на їх технічні параметри.

Важливим фактором впливу на рівень енергоефективності АД є якість його обслуговування та ремонту. Проведення ремонтів після відмови двигуна, вимушена заміна його деталей та елементів є економічно невиправданими через значні витрати. За технологічними показниками якість ремонту двигунів не відповідає рівню технології їх виробництва [6].

Характеристики відремонтованих АД істотно відрізняються від щойно випущених виробником через те, що в результаті експлуатації та ремонту змінюються характеристики конструкційних матеріалів. Відбувається насичення сталі та зростання струму намагнічування, який стає несинусоїдальним, оскільки містить крім першої також непарні гармоніки 5,7,11... порядків. Зменшення під час ремонту АД кількості витків на 10% призводить до різкого підвищення густини магнітного потоку у сталі статора, і струм холостого ходу збільшується до 25%, а ККД й коефіцієнт потужності знижуються [1].

**Матеріали і результати досліджень.** Механічне навантаження, відхилення, несиметрія та несинусоїдальність напруги, відхилення частоти – найбільш значимі фактори зниження рівня енергоефективності ЕМС з АД. Для дослідження впливу цих факторів на енергетичні характеристики ЕМС з АД було проведено математичне моделювання. З використанням моделі діагностування енергоефективності [7] в середовищі MATLAB побудовано енергетичні характеристики АД серії 5А типу 6А315LA4 ( $P_H = 160$  кВт,  $n_H = 1485$  об/хв,  $U_H = 380$ В,  $I_H = 272$ А,  $\eta_H = 95,3\%$ ,  $\cos\phi_H = 0,89$ ) у залежності від зміни величини коефіцієнта завантаження та ПЯЕ. У процесі комп'ютерного моделювання значення напруг та струмів формувалися як реальні сигнали від вимірювального пристрою.

Величина коефіцієнта завантаження варіювалась у бік збільшення (рис. 1). Характерним є пропорційне зростання активної і повної потужності за незначного збільшення реактивної. В діапазоні  $K_3 > 1$  значення коефіцієнта потужності  $\cos\phi_H$  зростає в незначній мірі. Також спостерігається зростання повних втрат за рахунок збільшення змінних та доданих. За низьких значень коефіцієнта завантаження ККД двигуна зменшується на 5...7%, а  $\cos\phi$  - на 20...30%.

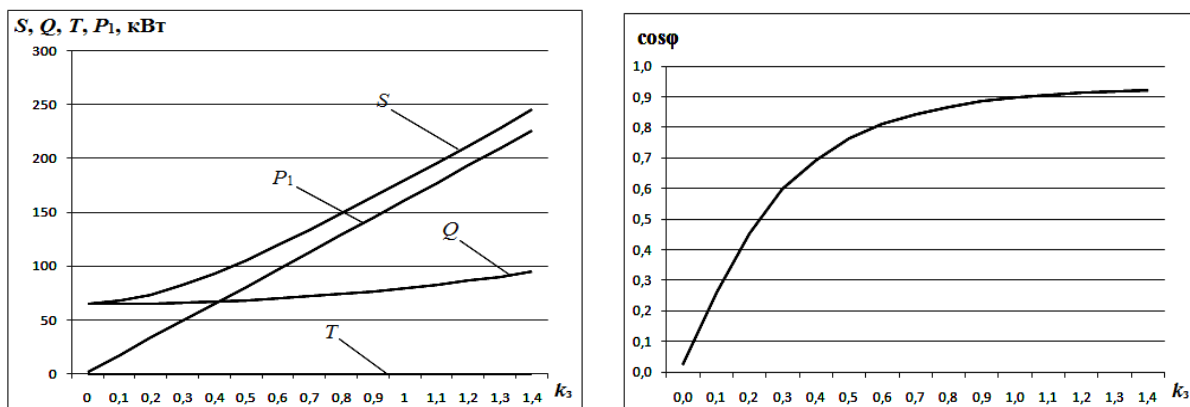


Рисунок 1 – Залежності параметрів АД від коефіцієнта завантаження  $k_3$ : а - процесу енергоспоживання ( $P_1, Q, S, \cos\phi$ ); б - процесу енерговикористання ( $\Delta P_2, V, K, \Delta P_1, \eta$ )

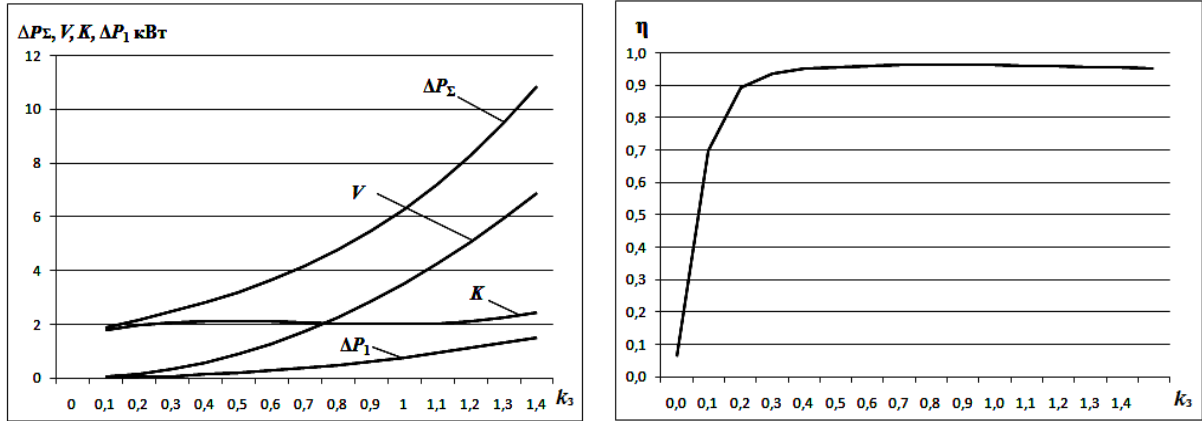


Рисунок 1 (продовження) – Залежності параметрів АД від коефіцієнта завантаження  $k_3$ : а - процесу енергоспоживання ( $P_1, Q, S, \cos\varphi$ ); б - процесу енерговикористання ( $\Delta P_{\Sigma}, V, K, \Delta P_1, \eta$ )

ГОСТ 13109-97 встановлює на затискачах електропривода нормально і гранично припустиме усталене відхилення напруги  $\delta U_y = \pm 5\%$  і граничне  $\pm 10\%$  номінальної напруги мережі. Як видно з графіків рис. 2, у випадку зниження напруги на двигуні відносно номінальної, реактивна потужність зменшується (на 10% при зниженні напруги на 10%).

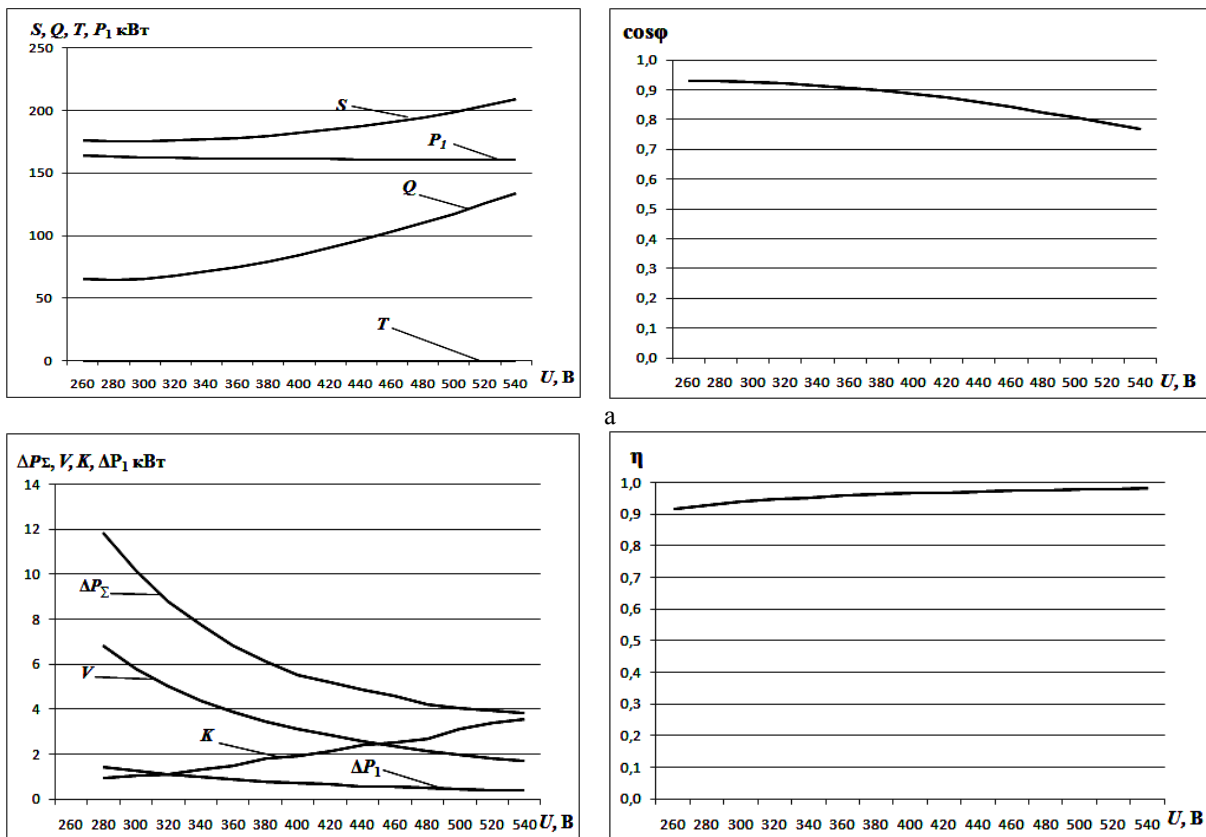


Рисунок 2 – Залежності параметрів АД від відхилення напруги від номінальної для номінального навантаження: а - процесу енергоспоживання ( $P_1, Q, S, \cos\varphi$ ); б - процесу енерговикористання ( $\Delta P_{\Sigma}, V, K, \Delta P_1, \eta$ )

За умови споживання тієї самої потужності зростає струм двигуна (при зниженні напруги на 10% струм статора збільшується на 10%, струм ротора - на 14%, рис. 3). Зростають нагріваючі втрати, що призводить до перегрівання ізоляції, її старіння і, як наслідок, до збитків, зумовлених скороченням терміну служби ЕМС з АД.

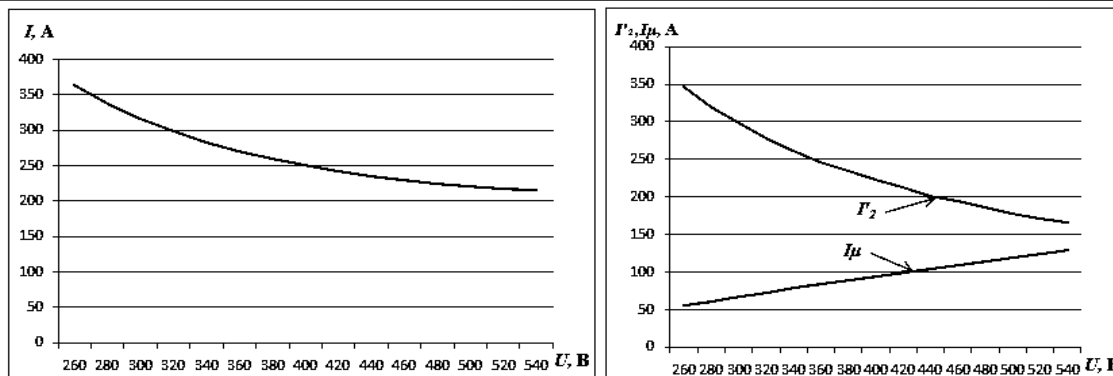


Рисунок 3 – Залежність середнього діючого значення струму, приведенного струму ротора, струму намагнічування АД від відхилення напруги від номінальної

Підвищення напруги на двигуні призводить до збільшення споживаної ним реактивної потужності й зниження коефіцієнта потужності (на 3% при збільшенні напруги на 10%), що негативно впливає на енергетичну ефективність. У середньому на кожен процент підвищення напруги споживана реактивна потужність зростає на 1,5% і більше за рахунок збільшення струму намагнічування.

Параметри процесу енерговикористання зі зростанням напруги покращуються (зменшується струм на 7%), нагріваючі втрати, і дещо збільшується ККД), тому з точки зору нагрівання двигуна більш небезпечними є негативні відхилення напруги.

Відповідно до ГОСТ 13109-97 нормально і гранично припустимі відхилення частоти  $\Delta f$  складають  $\pm 0,2$  і  $\pm 0,4$  Гц. Причиною відхилення частоти може бути зміна балансу активної потужності. З графіків рис. 4 видно, що при зниженні частоти на двигуні відносно номінальної на 5% для номінальних напруги і навантаження зростає споживана ним реактивна потужність на 2,4%, і відповідно знижується коефіцієнт потужності. Струм ротора змінюється пропорційно частоті (рис. 5). Для двигунів з невеликим значенням струму холостого ходу струм статора зменшується, навпаки, для двигунів з великим значенням струму холостого ходу він буде зростати через різке збільшення струму намагнічування [8].

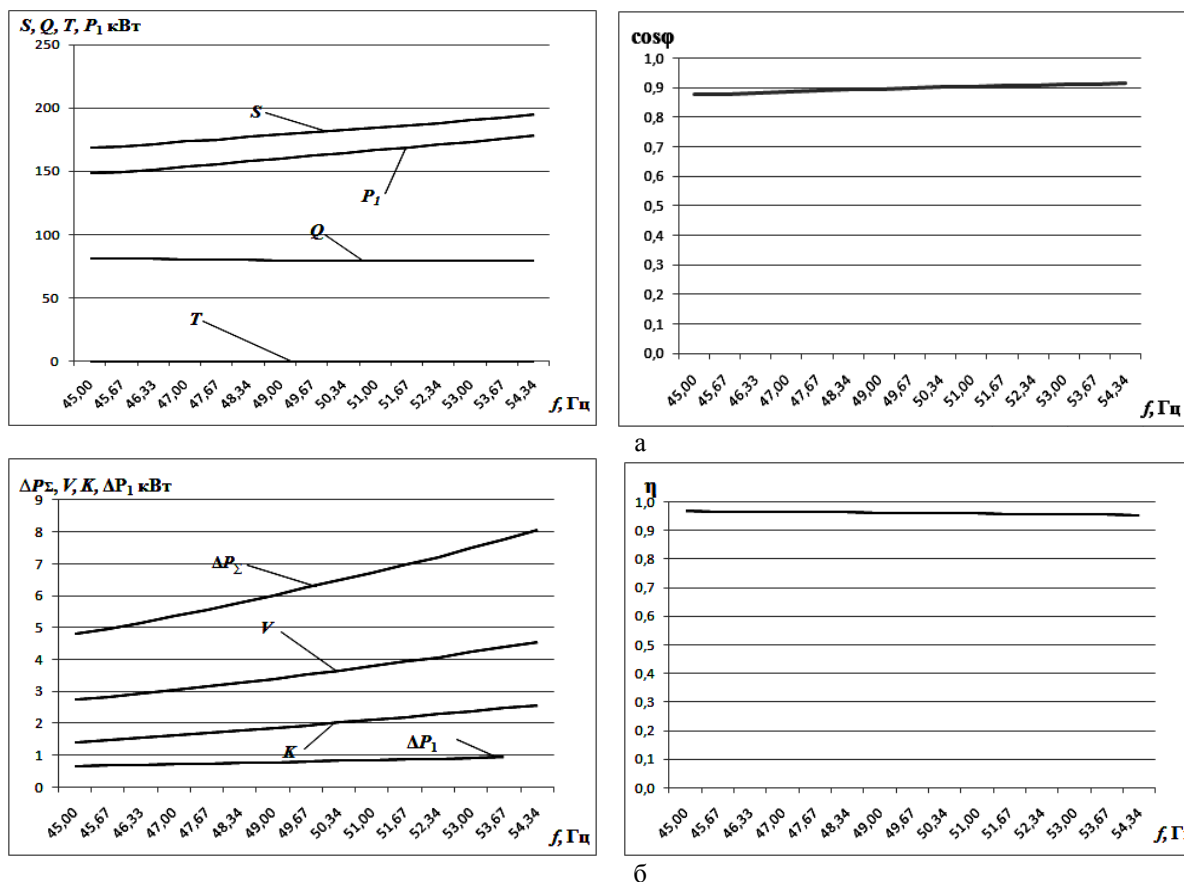


Рисунок 4 – Залежності параметрів АД від відхилення частоти мережі від номінальної:  
 а - процесу енергоспоживання ( $P_1, Q, S, \cos\varphi$ ); б - процесу енерговикористання ( $\Delta P_{\Sigma}, I, K, \Delta P_1, \eta$ )

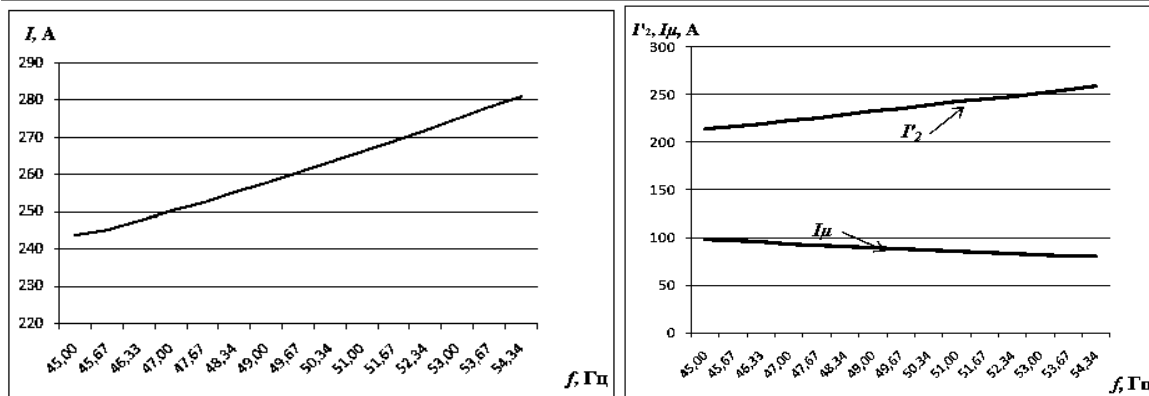


Рисунок 5 – Залежність середнього діючого значення струму, приведенного струму ротора, струму намагнічування АД від відхилення частоти мережі від номінальної

Зростання частоти на 4% збільшує коефіцієнт потужності на 1,3% і струм статора на 6,6%. Відповідно зростають постійні втрати (в сталі – за рахунок збільшення частоти, механічні - через збільшення швидкості двигуна), змінні - за рахунок зростання струму, а також втрати на гістерезис і вихрові струми. Це призводить до зменшення ККД на 0,6%.

Відповідно до ГОСТ 13109-97 нормально і гранично допустиме значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги  $K_U$  для мережі 0,38 кВ становлять 8% і 12%. Як видно з графіків рис. 6, зі збільшенням коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги  $K_U$  зростає повна потужність за рахунок появи потужності спотворення та зменшується коефіцієнт потужності. У випадку  $K_U = 7\%$  потужність спотворення дорівнює 25,7кВт, тобто 16% від активної, а коефіцієнт потужності знижується більше ніж на 8%.

Сумарні втрати також зростають на 10% за рахунок збільшення додаткових втрат від несинусоїдальності напруги. Втрати мають найбільше значення на частотах вищих гармонік низьких порядків, у першу чергу третього, п'ятого і сьомого. Перевищення допустимих значень коефіцієнтів 2, 5 і 8 гармонік призводить до зростання напруги зворотної послідовності, 3 і 9 - до збільшення напруги нульової послідовності, 4 і 7 - до зростання активного опору ротора і погіршення механічної характеристики АД [4]. Якщо амплітуди 5-ї і 7-ї гармонік напруги складають відповідно 20 і 15% амплітуди 1-ї гармоніки, коефіцієнт потужності двигуна зменшується на 2,6%.

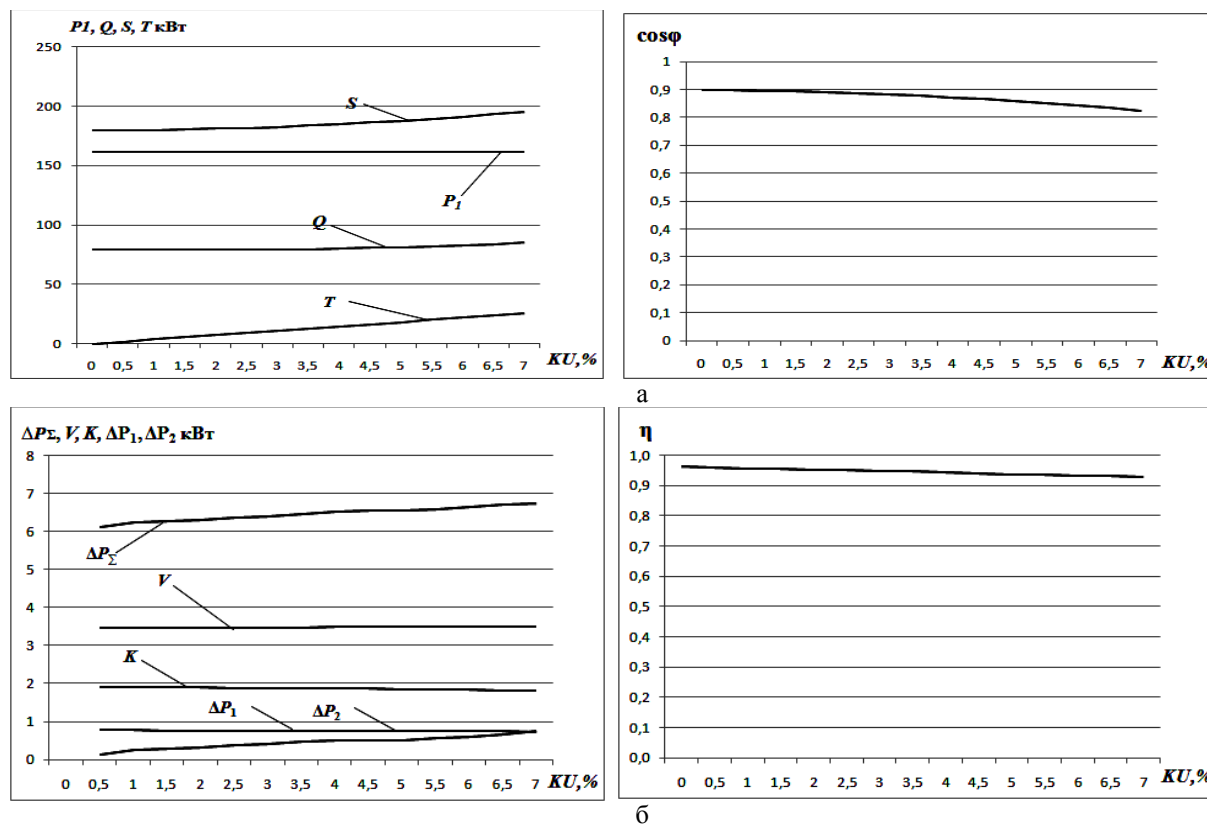


Рисунок 6 – Залежності параметрів АД від несинусоїдальності напруги: а - процесу енергоспоживання ( $P_1, Q, S, \cos\phi$ ); б - процесу енерговикористання ( $\Delta P_\Sigma, V, K, \Delta P_1, \eta$ )

Нормально і гранично припустимі значення коефіцієнтів несиметрії напруги зворотної  $K_{2U}$  і нульової  $K_{0U}$  послідовностей становлять 2% і 4% відповідно ГОСТ 13109-97. З графіків рис. 7 видно, що збільшення коефіцієнта несиметрії напруги зворотної послідовності  $K_{2U}$  призводить до збільшення споживання активної і реактивної потужності та зниження коефіцієнта потужності. Також значно зростають втрати потужності ( $K_{2U} = 2\%$  - на 10%,  $K_{2U} = 4\%$  - на 25%) і відповідно знижується ККД.

Опір зворотної послідовності АД приблизно дорівнює опору загальмованого двигуна, а отже в 5 - 8 разів менший опору прямої послідовності [9]. Тому незначна несиметрія трифазної системи напруг (1%) викликає значні струми зворотної послідовності  $I_{2U}$  (7-9%), а в чотирипровідних мережах — струми нульової послідовності  $I_{0U}$ , що призводить до додаткового нагрівання статора й ротора [4]. Щоб уникнути додаткового нагрівання, навантаження двигуна повинно бути знижено. Згідно рекомендації ІЕС-892 номінальне навантаження двигуна припустиме для  $K_{2U} < 1\%$ . Якщо коефіцієнт зворотної послідовності дорівнює 2%, навантаження двигуна повинно бути знижене до 96%, якщо 4% — до 84%.

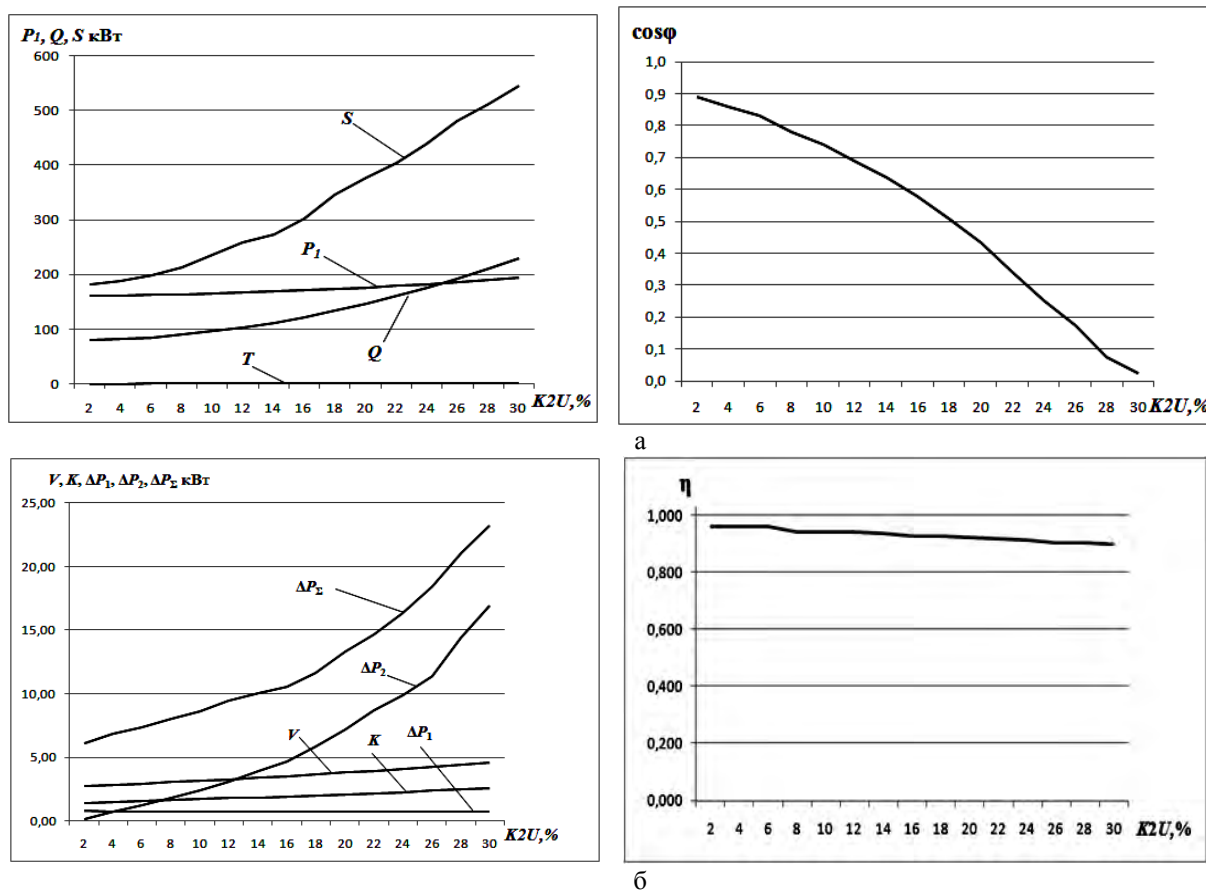


Рисунок 7 – Залежності параметрів АД від несиметрії напруги:

а - процесу енергоспоживання ( $P_1, Q, S, \cos\phi$ ); б - процесу енерговикористання ( $\Delta P_z, V, K, \Delta P_1, \eta$ )

**Висновки.** Аналізування факторів впливу на енергоефективність ЕМС показало, що основними експлуатаційними чинниками є якість напруги живлення та режим навантаження. Проведені дослідження впливу зниження якості напруги живлення та величини навантаження на енергетичні характеристики ЕМС з АД доводять, що відхилення вказаних факторів від припустимих призводить до значного погіршення енергетичного й технічного стану та зменшення ресурсу роботи. Ефективна експлуатація при таких умовах можлива при використанні сучасних методів регулювання якості електроенергії з застосуванням новітніх силових електронних компонентів та підвищенні завантаження робочих машин.

#### Список літератури

1. Ермолаев С.А. Эксплуатация энергооборудования в сельском хозяйстве / С.А. Ермолаев, Е.П. Масюткин, В.Ф. Яковлев. – Киев: Фирма “Инкос”, 2005. – 670 с.
2. Закладний О.М. Сучасні методи регулювання якості електроенергії / Закладний О.М., Закладний О.О./ Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро. 2007. №2. С. 25-30.

3. И. Я. Браславский. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И. Я. Браславский, З.И. Ишматов, В.Н. Поляков. – Москва, Асадема 2004, 256 с.
4. Закладний О.М. Электропривод: навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. –К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 316 с
5. П.В. Тютеева Оценка стоимости асинхронных двигателей при изменении геометрии поперечного сечения / П.В. Тютеева, О.О. Муравлева // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316. № 4, с.183-186
6. Д.И. Родькин. Системы динамического нагружения и двагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях / Д.И. Родькин – М.: недра, 1992. – 236 с.
7. Закладний О.О. Методика функціонального діагностування енергоефективності асинхронного електропривода. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2013. №1, с. 79-84.
8. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников; под ред. Л.Г. Мамиконянца. – 4-е изд., переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
9. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов – Киев: Наук. думка, 1985. – 268 с.

**О.О. Zakladnyi, E.G. Bryzhitskyy**

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»**

#### **RESEARCH IMPACTS ON ENERGY PERFORMANCE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS**

*The paper analyzes the factors influencing the energy efficiency of electromechanical systems: quality voltage mode load operating conditions; quality manufacturing, maintenance and repair; active and quality construction materials. The critical effect in actual use causes the quality of the supply voltage and load mode. Using mathematical modeling showed that the variances of quality indices of electricity, exceeding the normalized standard value, normal operation of electromechanical systems, or even impossible, or may be provided only significant decrease in load. A significant reduction in energy electromechanical systems occurs even when the quality of electricity vary within the permissible standard values.*

*Keywords:* energy efficiency, electromechanical system, the quality of the supply voltage, load mode.

#### **References**

1. Ermolaev S.A. Operation of power in agriculture / S.A. Ermolaev, E.P. Masyutkyn, V.F. Yakovlev. – Kiev: Fyrma “Ynkos”, 2005. – 670 p.
2. Zakladnyi O.M. Modern methods of regulating power quality / Zakladnyi O.M., Zakladnyi O.O./ Informatsiynny zbirnyk «Promyslova elektroenerhetyka ta elektrotekhnik» Promelektro. 2007. #2. P. 25-30.
3. Y. Ya. Braslavskyy. Energy-saving asynchronous electric drive/ Y. Ya. Braslavskyy, Z.Y. Yshmatov, V.N. Polyakov. – Moskva, Academa 2004, 256 p.
4. Zakladnyi O.M. Electric drive: teach. guidance / O.M. Zakladnyi, V.V. Prokopenko, O.O. Zakladnyi. – K.: NTUU «KPI», 2007. – 316 p.
5. P.V. Tyuteva. Valuation of asynchronous motors when changing the cross-sectional geometry / P.V. Tyuteva, O.O. Muravleva // Yzvestyaya Tomskoho polytekhnycheskoho unyversyteta. 2010. V. 316. # 4, p.183-186
6. D.Y. Rod'kyn. Systems of dynamic loading and diagnostics of electric motors with post-repair tests / D.Y. Rod'kyn – M.: Nedra, 1992. – 236 p.
7. Zakladnyi O.O. Methods of functional diagnostics asynchronous electric energy. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya*. 2013. #1, p. 79-84.
8. Syromyatnykov Y.A. Modes of operation of asynchronous and synchronous motors / Y.A. Syromyatnykov; edited by L.H. Mamykonyantsa. – 4th ed. revised and enlarged. – M.: Energoatomisdat, 1984. – 240 p.
9. Shydlovskyy A.K. Improving power quality in electrical networks / A.K. Shydlovskyy, V.H. Kuznetsov – Kiev: Nauk. dumka, 1985. – 268 p.

**УДК 621.311.001.57 (063)**

**О.А. Закладной**, канд. техн. наук, доцент; **Е.Г. Брижицкий**, студент

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*В статье проанализированы факторы, влияющие на энергетическую эффективность электромеханических систем: качество напряжения питания, режим нагрузки, условия эксплуатации; качество изготовления, технического обслуживания и ремонтов; качество активных и конструкционных материалов. Критическое влияние в реальных условиях эксплуатации оказывает качество напряжения питания и режим нагрузки. С помощью математического моделирования показано, что при отклонениях*



*показателей качества электрической энергии, превышающих нормируемые стандартами значения, нормальная работа электромеханических систем или вообще невозможна, или может быть обеспечена только в случае значительного уменьшения нагрузки. Существенное снижение энергоэффективности электромеханических систем имеет место даже в случае, когда показатели качества электрической энергии меняются в пределах допустимых стандартами значений.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, электромеханическая система, качество напряжения питания, режим нагрузки.

Надійшла 24.02.2016

Received 24.02.2016

УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54

А.В. Мейта, канд. техн. наук,

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

*В работе рассматривается факторное поле шаровой мельницы, которое позволяет выделить основные факторы определяющие работу измельчающих агрегатов для создания на его основе нейросетевой модели элементов дробильно-помольного комплекса. Показано, что объект автоматического регулирования типа «мельница» математически описывается инерционным звеном первого порядка с учетом транспортного запаздывания. Показано, что построение управляющей нейронной сети целесообразно не только для всего комплекса в целом, но и для отдельных его элементов (этапов).*

**Ключевые слова:** Факторное поле, нейросетевая модель, измельчение, шаровая мельница.

**Вступление.** Математическое моделирование позволяет количественно рассчитать оптимальные параметры процессов и аппаратов и определить пути и методы совершенствования техники и технологии производства. Математическая модель описывает реальный объект с некоторым приближением. Степень соответствия описания реальному процессу определяется, прежде всего, полнотой учета возмущающих воздействий. При отсутствии или незначительности возмущений можно однозначно определить влияния входных и управляющих параметров на выходные.

Задачи оптимизации процесса и параметров аппарата являются, как правило, обратными, в которых задаются физические свойства, кинетические константы, константы процесса, постоянные времени, коэффициенты модели в динамическом описании объекта. Обратные модели позволяют определить значения входных параметров и других заданных или оптимальных начальных свойств обрабатываемых веществ, а также установить допустимые отклонения режимов обработки. Обратными моделями. Для их решения математические описания приводят к виду, пригодному для поиска оптимального решения одним из известных методов.

Объективная модель измельчающего объекта может быть создана при условии хорошей осведомленности о свойствах изучаемого объекта. По степени полноты информации об объекте и процессах, происходящих внутри их, элементы дробильно-помольного комплекса относятся к объектам с нулевым уровнем информации. В данном случае объект представляется как «черный ящик», а его математическая модель строится путем статистических испытаний реального объекта на основе регрессионного, дисперсного и корреляционного анализов и факторного планирования эксперимента [1]. Поэтому для создания более информативной модели процесса дробления необходимо рассмотреть физическую сторону процесса разрушения вещества в измельчающих агрегатах и факторы, его определяющие.

**Цель и задачи исследования.** Оптимизация энергопотребления желательна на всех стадиях управления процессами помола и дробления и особенно важна для крупных, энергоемких объектов, таких как шаровая мельница. Измельчение сырья в шаровых мельницах является последней стадией уменьшения крупности вещества. Мощность при работе шаровой мельницы расходуется на подъем шаровой загрузки, на сообщение ей кинетической энергии и на преодоление вредных сопротивлений.

Согласно существующим подходам к построению систем управления объект автоматического регулирования типа «мельница» математически может быть описан инерционным звеном первого порядка с учетом транспортного запаздывания, либо инерционным звеном второго порядка также с учетом транспортного запаздывания. Таким образом, динамические свойства мельниц по каналам «производительность питателя - производительность объекта», «крупность исходного материала - производительность объекта», «прочность измельчаемого материала - потребляемая двигателями агрегата мощность», может быть представлена в виде передаточной функцией [2], общий вид которой приведен в формуле

$$W = \frac{k \cdot e^{-\tau \cdot p}}{T \cdot p + 1}$$

где  $k$  – коэффициент усиления;  
 $\tau$  – время запаздывания;  
 $T$  – постоянная времени объекта.

Как видно, такое описание объекта не отображает ни его многофакторности, ни многосвязности. При данном подходе устанавливается зависимость между входным и выходным воздействиями согласно их совместному изменению во времени.

Целью работы является формирование и анализ факторного поля для определения границ множества показателей процесса измельчения, которые влияют на эффективность энергоиспользования дробильно-помольного комплекса. Факторное поле является основой нейросетевой модели дробильно-помольного комплекса, которая учитывает многофакторность системы и отображает ее внутренние связи.

**Результаты исследований.** Факторное поле шаровой мельницы может быть представлено диаграммой Исикава (рис. 1.). Такая диаграмма отображает основные структурные связи внутри системы и позволяет наглядно представить влияние факторов на величину электропотребления. Основные позиции на диаграмме отведены четырем группам факторов, определяющим технологический процесс. Разбиение факторов внутри групп упрощает оценку влияния того или иного фактора. Некоторые факторы, могут быть включены в две группы, или относиться к той или иной группе в зависимости от целевой функции оптимизации процесса.

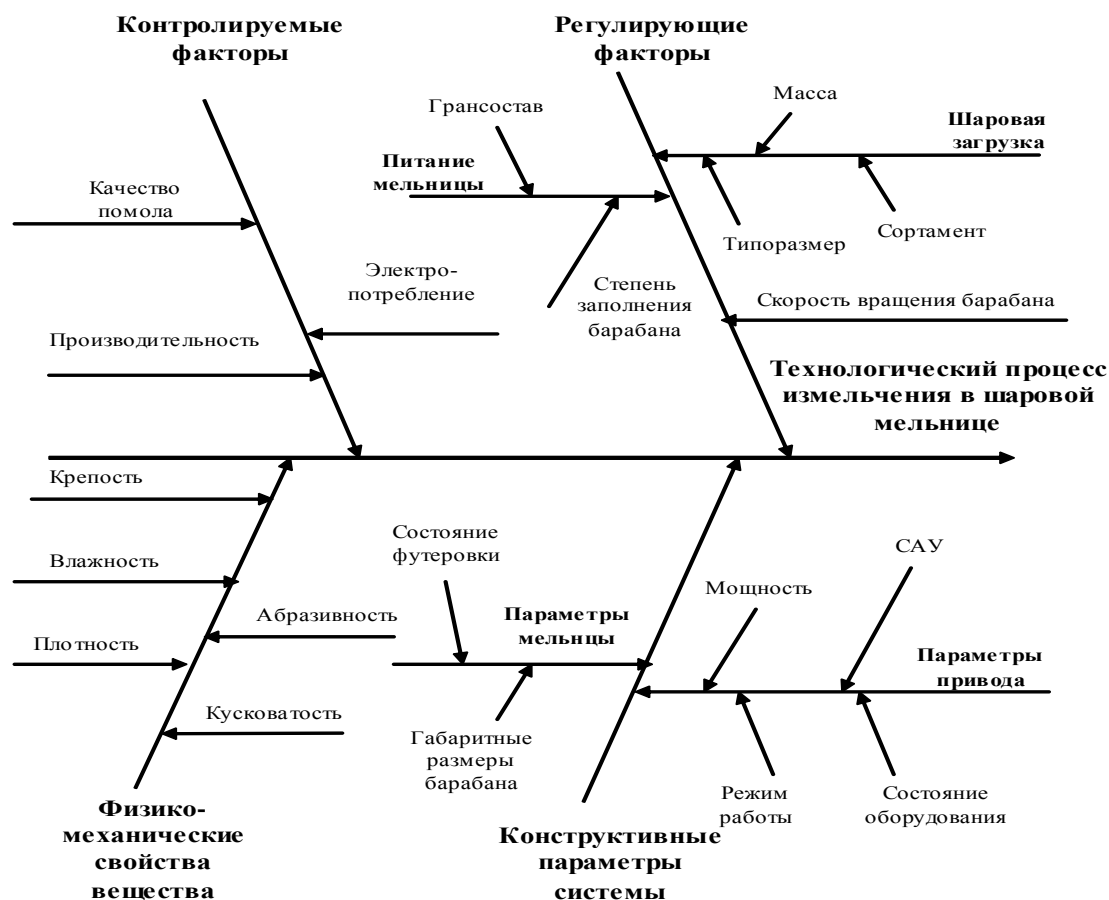


Рисунок 1 – Факторное поле шаровой мельницы

Рассмотрим факторное поле шаровой мельницы. Для простейшего случая группа контролируемых факторов может быть представлена одной величиной. Для ранних систем управления, в процессах, где допускался значительный разброс по качеству помола, такой величиной принималась производительность оборудования. На предприятиях, где выдвигались более жесткие требования к качеству готового продукта, выходной вектор состоял из двух величин: производительности и качества. С наступлением времен дефицита энергии выходной вектор был дополнен таким фактором как электропотребление. Кроме вышеуказанных величин в состав выходного вектора могут входить такие величины как давление масла в цапфе, крутящий момент на валу, вес вещества в мельнице, ток в статоре приводного двигателя и т. п., но все эти величины являются косвенными для определения трех основных: электропотребления, качества помола, производительности оборудования. Поэтому, вне зависимости от того по скольким переменным контролируется процесс, можно говорить о трех факторах выходного вектора, к которым приводятся все косвенные факторы.

Группа величин, характеризующих оборудование наиболее статична по отношению к другим группам факторов. Изменения величин из этой группы требуют гораздо большего времени, либо же при соответствующем режиме замены могут считаться постоянными. Такой параметр как мощность привода со временем не меняется, а степень его изношенности на отрезке времени длиной в рабочий цикл может быть принята постоянной при условии эксплуатации привода в номинальном режиме. Габаритные размеры мельницы – величина постоянная, однако, следует учитывать, что размеры рабочего пространства за время работы увеличиваются, что связано с износом футеровочной брони, что вместе с тем ухудшает условия измельчения. Поскольку толщину футеровочных плит нельзя регулярно контролировать (остановка оборудования, демонтаж футеровки), то для построения факторного поля можно использовать приблизительные оценочные характеристики, типа: новая, слегка изношенная, средняя степень изношенности, сильно изношенная и т. п., которые в дальнейшем будут преобразованы в некоторые числовые оценки.

В группе регулирующих факторов следует выделить такие основные факторы, как загрузка материалом, шаровая загрузка и скорость вращения барабана мельницы. Регулирование работы шаровой мельницы осуществляется, прежде всего, за счет ее загрузки материалом. Для мельниц разомкнутого цикла величина подаваемого питания является основной величиной определяющей производительность мельницы. Количество подаваемого вещества в сочетании с шаровой загрузкой образуют величину циркуляционной нагрузки, которая влияет на расход электроэнергии объекта. Основным из параметров, оказывающих наибольшее влияние на характер графика нагрузки шаровой мельницы, является вес шаров, находящихся в мельнице. График зависимости потребляемой мощности от шаровой загрузки приведен на рис. 2 и характерен для мельницы любого типа. На рисунке точки 1, 2 соответствуют неуравновешенной циркуляционной нагрузке (недостаток шаров); точка 3 – уравновешенная нагрузка, наиболее выгодный режим работы мельницы; точки 4, 5 – циркуляционная нагрузка не уравновешена из-за избытка шаров и уменьшения кинетической энергии;  $P_{xx}$  – мощность, потребляемая мельницей без шаровой загрузки и без питания.

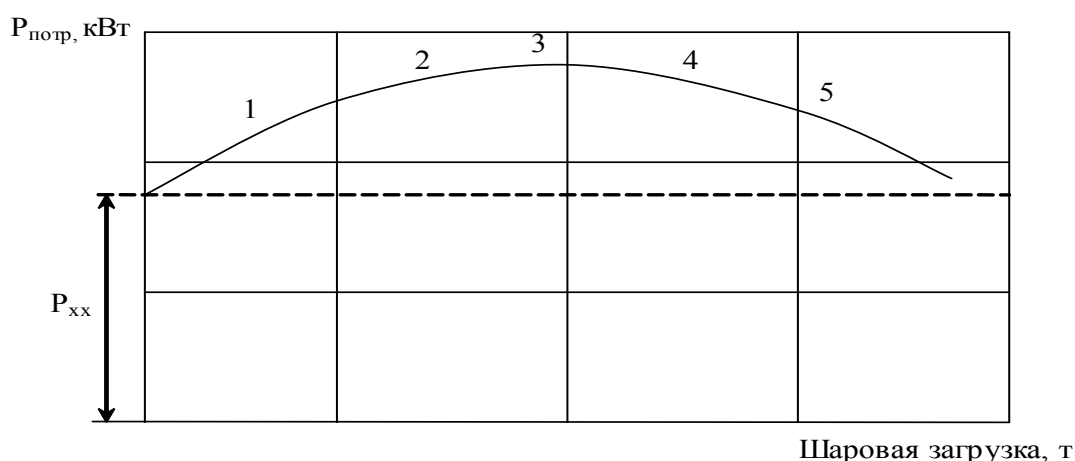


Рисунок 2 – Кривая зависимости мощности, потребляемой шаровой мельницей, от шаровой загрузки

Для шаровой загрузки важным является не только ее масса, но и сортament загружаемых шаров, поскольку размер шара определяет выполняемую им работу измельчения. При определении необходимого количества догружаемых шаров существует ряд сложностей, связанных с невозможностью точного определения количества и сортamenta шаров, оставшихся в мельнице. Величина остатка шаров чаще всего

определяется по эмпирическим зависимостям износа шаров. Данные зависимости и регламентируют на производстве периодичность догрузки и количество догружаемых шаров, что не всегда соответствует реальным условиям работы. Догрузка же, как правило, осуществляется шарами одного типоразмера, реже двух.

Другим важным фактором, влияющим на величину потребляемой мощности и режим измельчения, является скорость вращения барабана мельницы [3, 4]. Как известно, режим работы шаровой мельницы в зависимости от скорости вращения может быть каскадным или водопадным. В соответствии с режимом работы мельницы будет определяться и характер изменения потребляемой мощности. Обычно принимают, что величина полезно затрачиваемой мощности при прочих равных условиях пропорциональна скорости вращения барабана. Однако в действительности при указанных условиях мощность возрастает несколько быстрее, чем растет скорость барабана. К тому же такой рост мощности наблюдается только при каскадном режиме работы. Как видно из графика (рис.3), мощность, потребляемая мельницей, растет с увеличением скорости до определенных пределов. Причем этот рост неодинаков и зависит от величины шаровой загрузки, которая дана в процентах от объема мельницы.

При водопадном режиме работы мощность, потребляемая мельницей, определяется работой, затрачиваемой на подъем шаров по круговым траекториям, и частью кинетической энергии, сообщаемой шарам для полета по параболическим траекториям. Кривые зависимости потребляемой мощности от степени заполнения шарами и скорости вращения (в процентах от критической) изображены на рис. 3.

При каскадном режиме, начинающемся при малых скоростях, мощность возрастает пропорционально скорости вращения. С переходом к водопадному режиму при увеличении скорости вращения мощность вначале несколько возрастает, при определенной скорости, зависящей от степени заполнения шарами, достигает максимума и затем, по мере приближения к критической скорости, постепенно падает. При соответствующих сверхкритических скоростях все слои шаров будут центрифугировать и потребляемая мощность упадет до мощности холостого хода.

Граница между режимами измельчения зависит от степени загрузки мельничного барабана, поэтому в условиях постоянно меняющейся нагрузки необходима постоянная корректировка скорости. Применение регулируемого привода в измельчительных установках позволяет оказывать существенное влияние на величину потребляемой мощности и качество помола. Кроме того, для дробильно-измельчительных комплексов существует возможность подбора сочетания скоростей объектов различных стадий измельчения для обеспечения минимального электропотребления в целом по всему комплексу.

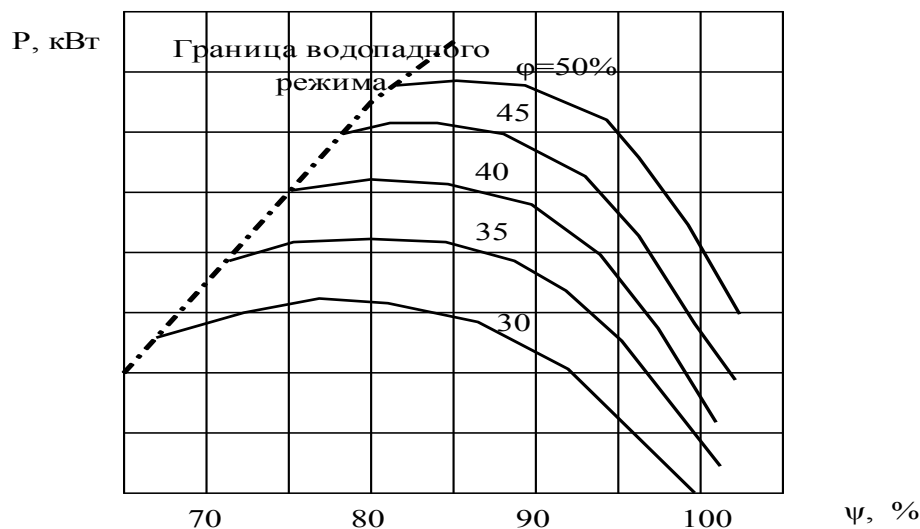


Рисунок 3 – Мощность, потребляемая мельницей при различных скоростях вращения барабана и различных степенях заполнения мельницы шарами

Физико-механические свойства измельчаемого вещества образуют отдельную группу факторов, которые необходимо учитывать при создании системы управления измельчением, поскольку именно эти факторы определяют тот необходимый минимум энергии для выполнения технологического процесса. Сюда относят крепость, влажность, абразивность, плотность, сыпучесть, кусковатость, гранулометрический состав.

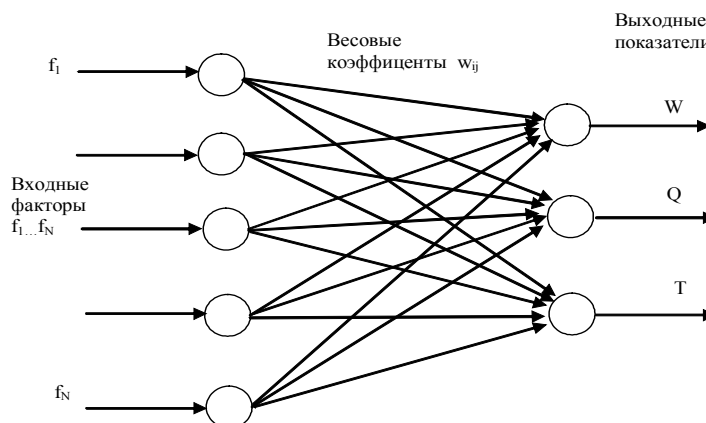


Рисунок 4 – Модель нейронной сети для управления помолом

Параметр крепость – основной параметр при измельчении, чем он выше, тем больше энергии придется затратить на разрушение вещества. Поэтому настройку систем управления следует производить для веществ одной группы крепости, либо же дополнительно настраивать систему на работу во всем диапазоне крепости. Для процесса сухого помола влажность определяет изменение условий измельчения, налипание материала на рабочие поверхности, создание «подушки», мешающей измельчению. Для процесса мокрого помола влажность выражается в соотношении твердой и жидкой фаз, что сказывается на дальнейшем расходе энергии в технологическом процессе. Кусковатость и гранулометрический состав исходного питания влияют на время нахождения материала в мельнице, а значит на расход энергии для получения продукта измельчения заданного качества.

В нейросетевой модели, построенной на основе факторного поля [5], в качестве входного вектора используются приведенные факторы, а в качестве выходных величин контролируемые параметры процесса. Подобная сеть представлена на рис.4. Влияние факторов на величины энергопотребления, тонины и производительности определяется величиной весовых коэффициентов.

**Выводы.** Структура факторного поля управления дробильно-помольным комплексом – факторное поле включает в себя такие группы величин: контролируемые, регулирующие и величины, характеризующие оборудование.

Представление факторного поля в виде нескольких групп величин является удобной с точки зрения дальнейшей обработки с помощью нейросетевых моделей, поскольку при таком разделении факторов группа контролируемых величин представляет собой целевой вектор, а все остальные – входной. На основании приведенных данных возможно построение нейронной сети для управления дробильно-помольным комплексом. Построение управляющей нейронной сети целесообразно не только для всего комплекса в целом, но и для отдельных его элементов (этапов), которые по результатам энергоаудита окажутся наиболее энергоемкими и будут иметь наибольшие возможности регулирования.

#### Список литературы

1. Федоткин, И.М. Математическое моделирование технологических процессов: Методы математического моделирования и решения процессных задач [Текст]/ Федоткин И.М., Бурлай И.Ю., Рюмшин Н.А. - К: Техника, 2002.- 407 с.
2. Гинзбург И.Б. Автоматизация цементного производства. Справочное пособие [Текст]/ Гинзбург И.Б, Смолянский А.Б. - Л.; Стройиздат, Ленинградское отделение, 1986. – 206 с.
3. Андреев С.Г. Наивыгоднейшее число оборотов шаровой мельницы /Горный журнал . - 1954. № 10, - С. 28-31.
4. Андреев С.Е. Дробление и измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст]/ Андреев С.Е., Зверичев В.В., Перов В.А М. - Недра, 1966. - 628 с.
5. Розен В.П. Применение моделей на базе нейронных сетей для решения многокритериальной задачи управления дробильно-измельчительным комплексом / Розен В.П., Калинин В. П., Мейта А.В. // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”, 2003, вип. 8. – С. 134 – 141.

**О. Мейта**

**National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”  
STUDY OF A FACTORIAL FIELD OF THE BALL MILL**

*In the paper, the factorial field of a ball mill considers; the field allows to identify the main factors that determine the performance of grinding units to create a neural network's model for elements of grinding and*

*threshing complex. The object of automatic control of a type 'mill' is presented mathematically by the first order of inertial element with a taking into account of the transport delay. Creation of a control neural network is suitable not only for the whole complex, but also for some of its elements (stages).*

**Key words:** factorial field, model of the neural network, grinding, ball mill.

#### **References**

1. Fedotkin I. Simulation of Technological Processes: Simulation Methods and Solution of Processes Tasks [Text] / Fedotkin I., Burlay I., Riumshyn N. - K.: Technica. – 2002. – 407 p.
2. Ginzburg I. Automatization of Cement Production. Handbook [Text] / Ginzburg I., Smolianskii A. - L.: Sroiiizdat. – 1986. – 206 p.
3. Andreev S. Optimal Quantity of Rotation of a Ball Mill / Andreev S. //Gornyi Jour. – 1954. – No. 10. – P. 28-31.
4. Andreev S. Fractional Crushing and Minerals Screening [Text] / Andreev S., Zverychev V., Perov V. - M.: Nedra. – 1966. – 628 p.
5. Rozen V.P. Application of models based on the neural networks for solving of the multi-criteria management task of crushing-grinding complex / Rozen V.P., Kalinchik V.P., Meita A.V // Visnyk NTUU “KPI”, series of “Mining”, 2003, issue # 8. – p. 134-141.

**УДК 621.311.1:621.9.263:681.51/54**

**О.В. Мейта**, канд. техн. наук;

#### **Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ КУЛЬОВОГО МЛИНА**

*У роботі розглядається факторне поле кульового млина, яке дозволяє виділити основні фактори, що визначають роботу подрібнюючих агрегатів для створення на його основі нейромережевої моделі елементів дробильно-помольного комплексу. Показано, що об'єкт автоматичного регулювання типу «млин» математично описується інерційною ланкою першого порядку з урахуванням транспортного запізнення. Показано, що побудова керуючої нейронної мережі доцільна не тільки для всього комплексу в цілому, але і для окремих його елементів (етапів).*

**Ключові слова:** факторний поле, нейромережева модель, подрібнення, кульовий млин.

Надійшла 20.10.2015  
Received 20.10.2015

## ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ: ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ENERGY TECHNOLOGIES: ECONOMIC ASPECTS

УДК 347.247:336

А.В. Бодюк, канд. екон. наук, старш. наук. співроб.  
Науково-дослідний заклад «Ресурси»

### ФІСКАЛЬНИЙ АСПЕКТ ТРАНЗИТНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ РЕСУРСІВ

*Обґрунтована економічна ідентичність послуг щодо транспортування енергетичних вуглеводневих ресурсів різними видами транспорту і охарактеризовані суб'єкти господарювання, що надають такі послуги. Доведено, що дохід, названий у Податковому кодексі України рентою за транзитне транспортування вуглеводнів трубопроводами, не відповідає класичному визначенню ренти і податку. Обґрунтована доцільність запровадження фіскальної плати за міждержавне, транзитне переміщення енергетичних вуглеводневих ресурсів у формі вуглеводнево-фіскального доходу, його обчислення залежно від виду транспорту (трубопровідного, автомобільного, залізничного), за комплексом показників: виду, кількості та якості ресурсу, часу, магістральних тарифів і відстані його переміщення.*

**Ключові слова:** вуглеводні, послуги, транзит, трубопровід, рента, фіскальний платіж, суб'єкти господарювання.

**Вступ.** На економічну, а то й політичну ситуацію в Україні суттєво впливають рішення проблем задоволення її потреб в енергетичних ресурсах. Результативність економічної діяльності суб'єктів господарювання, особливо промисловості, прямо або через ціни на енергетичні та інші ресурси, значною мірою залежить від забезпеченості їхніх потреб, зокрема, енергетичними вуглеводневими ресурсами. Наприклад, як відомо, ціни на природний газ, що поставляється із Росії, суттєво впливають на собівартість продукції, що виготовляється з використанням цього енергоносія, та на інші економічні показники виробників цієї продукції.

Енергетичні вуглеводневі ресурси, до яких належать нафта, нафтопродукти, газоконденсат, природний газ, до користувача в Україні чи за її межами у вигляді сировини або переробленими надходять усіма видами транспорту: автомобільним, залізничним, водним, трубопровідним. Нафтопродукти перевозяться переважно в цистернах. Транспортування вуглеводнів по трубопроводах вважається найбільш вигідним за економічними (за собівартістю перевезення, капітальними вкладеннями, витратами пального тощо), екологічними, часовими (швидкість доставляння) та іншими показниками.

Державна статистика публікує показники транспортування магістральним трубопроводами лише газу, нафти і нафтопродуктів, аміаку, та й то узагальнено.

Господарська експлуатація магістральних трубопроводів включає як власне процеси переміщення енергетичних вуглеводневих ресурсів з отриманням державою певних доходів, так і використання земельних площ народної власності, здійснення природоохоронних заходів, закачування вуглеводнів у підземні сховища для зберігання тощо. Такі процеси з енергетичними ресурсами нами пропонується **вважати такими, що належать** до "економічного природокористування". В його рамках, на наш погляд, проблемою залишається створення, адекватного видам енергетичних вуглеводневих ресурсів та їх використання, понятійного апарату, відповідно визначення та реалізації конкретних перспективних новацій з метою збільшення доходів держави від переміщення цих енергетичних ресурсів на великі відстані.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню доходів держави від користування надровими ресурсами, у тому числі у формі ренти, присвячені праці науковців: І.Д. Андрієвського, О.Б. Боброва, Б.М. Данилишина, М.Д. Красножона, Б.І. Малюка, В.С. Міщенко [1 – 6] та ін. В їхніх публікаціях, зокрема, досліджуються механізми справляння рентних платежів, проблеми рентного регулювання доходів від транспортування ресурсів та ін.

Результати досліджень проблем вдосконалення економічного механізму та ефективності справляння безпосередньо рентних платежів не досить широко висвітлені в економічній літературі. Але дуже ґрунтовні дослідження в цій економічній сфері провели, на наш погляд, такі російські вчені, як Є. Гурвіч, Є. Вакулєнко, Б. Кузик та А. Агєєв, В. Волконський, А. Кузовкін, А. Мудрецов та ін. [7 – 9]. Однак все-таки вивченню понятійного апарату та ефективності справляння рентних платежів на макроекономічному рівні ними недостатньо приділена увага.

Отже, питання вдосконалення понятійного апарату, у тому числі статистичного, щодо переміщення аналізованих речовин, **що аналізуються**, на великій відстані як товарів, відповідно товарно-грошові між суб'єктами господарювання і державою ними, на наш погляд, предметно не розглядаються. Тому й у статистиці вони не відображаються.

**Мета та завдання.** Метою написання статті є економічне обґрунтування джерела компенсації втрат доходів державного бюджету, отримуваних в результаті зниження для населення тарифів на енергоносії за рахунок використання у домашніх господарствах здешевленого природного газу власного видобутку.

Завданням є дослідження нормативної бази нарахування рентних платежів і обґрунтування економічної сутності, фінансово-економічної доцільності та механізму запровадження пропонованого нами платежу «вуглеводнево-фіскальний дохід» до державної скарбниці, який необхідно справляти з суб'єктів господарювання – користувачів вуглеводнево-транспортної системи.

**Матеріал і результати дослідження.** За предмет дослідження прийнято економічне відображення сутності та фіскальної результативності магістрального транспортування вуглеводневих ресурсів у формі чинної ренти (доходів держави) від цієї господарської (підприємницької для суб'єктів господарювання) діяльності. Оскільки у **Податковому кодексі України (ПКУ)** передбачена рентна плата за транспортування нафти і нафтопродуктів магістральними нафтопроводами і нафтопродуктопроводами, транзитне транспортування трубопроводами природного газу та аміаку територією України.

Для наших обґрунтувань розглянемо сутність офіційних визначень в ПКУ, що стосуються поняття податку, ренти і ставки оподаткування. Проаналізуємо також сутність і механізм справляння **за ПКУ** згаданого платежу «...рентна плата за транспортування нафти і нафтопродуктів магістральними нафтопроводами та нафтопродуктопроводами, транзитне транспортування трубопроводами природного газу та аміаку територією України – загальнодержавний обов'язковий платіж, який сплачується за надані послуги з транспортування (переміщення) вантажу територією України об'єктами трубопровідного транспорту» [10, ст. 14., п 14.1. 217].

За словниковим визначенням рента є доходом, що одержує власник майна не займаючись підприємницькою діяльністю [13, с. 621].

Визначення ренти за ПКУ суперечить словниковому його визначенню, оскільки у ПКУ йдеться про послуги, що надаються, хоча не відмічено ким. Практично надання послуг є видом підприємницької діяльності, що, наприклад, здійснює ПАТ «Укртрансгаз» – дочірня компанія НАК «Нафтогаз України». Зауважимо, що газотранспортна система (ГТС) виконує дві основні функції: забезпечення природним газом внутрішніх споживачів, а також транзит його через територію України у країни Західної та Центральної Європи. Таким чином, дане державне підприємство (ПАТ «Укртрансгаз») **здійснює у тому сенсі** певну підприємницьку діяльність (надає послуги, експлуатує об'єкти трубопровідного транспорту і т.д.), а інші державні органи (податкові інспекції і казначейство) мобілізують рентні платежі до державного бюджету.

Отже, чинна рента за ПКУ не відповідає її визначенню за словником, що ренту, як згадувалося, отримують власники, не займаючись підприємницькою діяльністю, тому її як фіскальний платіж не можна називати рентою. Далі, за ПКУ, «Ставкою податку визнається розмір податкових нарахувань на (від) одиницю (одиниці) виміру бази оподаткування» [10, ст. 25, п.25.1].

За ПКУ, «6.1. Податком є обов'язковий, безумовний платіж до відповідного бюджету, що справляється з платників податку відповідно до цього Кодексу. 6.2. Збором (платою, внеском) є обов'язковий платіж до відповідного бюджету, що справляється з платників зборів, з умовою отримання ними спеціальної вигоди, у тому числі внаслідок вчинення на користь таких осіб державними органами, органами місцевого самоврядування, іншими уповноваженими органами та особами юридично значимих дій» [10, ст. 6].

Отже, треба розуміти, що чинна рента є платежем за вигоду (точніше, за послуги з переміщення вуглеводневих ресурсів як товарів), а не «безумовний платіж», тому її не можна називати податком, відповідно застосовувати поняття ставки податку, бази оподаткування тощо. Для підтвердження доцільності такого погляду на сутність поняття «ренти», відмінне від поняття податку, порівняємо особливості надання послуг, що аналізуються, трубопровідним і автомобільним транспортом. Для порівняння відмітимо, що у разі перевезення цих ресурсів автомобілями також чітко визначається надавач транспортних послуг – транспортне підприємство.

Але переміщення ресурсів залізничним чи автомобільним транспортом не обкладається рентою. Хоча цими засобами переміщують вуглеводневі ресурси в значних обсягах, навіть на великій відстані, до широкого кола територіально віддалених їх споживачів і т.д. Наприклад, у 2008 р. залізницею перевезено 30 млн т, у 2009 р. – 27 млн т нафти і нафтопродуктів. Трубопроводами у 2008 р. перекачано цих речовин 41 млн т, у 2009 р. – 39 млн т. Показники **перевезення** у 2009 році вантажів нафти склали 15,7, а нафтопродуктів – 9,8 млн т [11, с. 231–235]. У наступних роках показники мали тенденцію до зниження. Так, вони у 2013 р. склали 23 і 17 млн т. У 2013 р. показники переробки морським транспортом вантажів нафти склали 2,4 млн т, нафтопродуктів – 7,6 млн т [16, с. 213–217]. Із наведених даних видно, що обсяги



переміщення ресурсів трубопроводами навіть на порядок не перевищують такі ж показники залізничного і морського транспорту.

Отже, справа щодо сутності доходів не в транспорті, не у вуглеводнях, а в економічному відношенні законодавців до різних видів і засобів транспортування вуглеводнів. Відповідно до статті 14 Закону України «Про систему оподаткування», рентні платежі належали до загальнодержавних податків та зборів. У ПКУ поняття, що стосуються рентної плати за транспортування нафти і нафтопродуктів магістральними нафтопроводами і нафтопродуктопроводами, транзитне транспортування трубопроводами природного газу і аміаку, також пов'язуються із загальнодержавними податками і зборами.

За ПКУ, платниками рентної плати є суб'єкти господарювання, які експлуатують об'єкти магістральних трубопроводів та надають (організують) послуги з транспортування (переміщення) вантажу трубопроводами України. Але ж поняття «вантаж» означає об'єкт перевезень. За показниками об'єкта визначається плата за перевезення відповідно до транспортних тарифів.

Відмітимо, що за чинною термінологією, вантаж трактується як всі предмети з моменту прийняття для перевезень до здачі одержувачу вантажу, тобто як економічний об'єкт. Поняття вантажовідправник розглядається як будь-яка фізична або юридична особа, яка подає перевізнику вантаж для перевезення, тобто як економічний суб'єкт. А вантажоодержувач – будь-яка фізична або юридична особа, яка здійснює приймання вантажів, оформлення товарно-транспортних документів та розвантаження транспортних засобів у встановленому порядку [13]. Таким чином, ця термінологія не має податкової орієнтації, хоча і трубопровідним, і автомобільним транспортом переміщуються на великі відстані одні й ті ж вуглеводневі товари (економічні об'єкти).

Для порівняння також відмітимо, що в літературі, наприклад, з питань морських перевезень для визначення плати (винагороди) за перевезення вантажу застосовуються економічні терміни: ціна перевезення, тариф, фрахт і провізна плата, які не є тотожними. Фрахт трактується як винагорода, яка встановлюється угодою сторін за фрахтування судна [10, ст. 6], або плата за перевезення вантажів морськими шляхами [14, с.747]. Щодо винагороди за перевезення вантажу, яка нараховується згідно з встановленими тарифами, використовується термін «провізна плата».

За Цивільним кодексом України, провізна плата, як економічне поняття, – це плата за перевезення вантажу, багажу, пошти у розмірі, що визначається за домовленістю сторін або за затвердженими тарифами [15, с. 263]. Поняття, **що аналізується**, треба розуміти як ціну транспортної продукції тобто продукції, отриманої як результату транспортування, яка включає плату за перевезення вантажів і плату за виконання робіт, пов'язаних з перевезенням.

В юридичній літературі висловлюється думка про те, що економічне поняття фрахту значно ширше, ніж поняття винагороди за перевезення. Зміст поняття "фрахт" охоплює будь-яку плату за перевезення вантажу на морському судні, незалежно від того, в якому порядку визначається розмір цієї плати. Сума провізної плати визначається традиційно за такими показниками, як вага (кількість), цінність вантажу, спосіб перевезення, відстань і швидкість перевезення та ін. Крім того, можуть передбачатися, наприклад, і певні умови щодо зберігання, плата за транспортне експедирування, штрафи [15, с. 261 – 272]. Тому відправники вимагають правильного зазначення наведених показників у перевізних документах. До речі, ціна перевезення вантажу морським транспортом може визначатися згідно тарифів, які діють на морському транспорті, або за згодою сторін. Таким чином, поняття вантажу неправомірно вживати у визначенні об'єкта для обчислення фіскального платежу, що аналізується, чи по відношенню до платника.

За ПКУ, платником ренти, наприклад, за транзит природного газу територією України, є уповноважений Кабінетом Міністрів України суб'єкт господарювання, який надає (організовує) послуги з його транзиту територією України. Логічно, що платником ренти за перевезення водневих ресурсів мають стати і автотранспортні підприємства – оскільки сума рентної плати залежить від показників переміщення вуглеводнів. До того ж показники фінансового результату від звичайної діяльності та рентабельності операційної діяльності в галузі транспорту і зв'язку, за даними Держстату України, щорічно значно вищі за показники щодо інших видів економічної діяльності в Україні. Тому економічна база нарахування фіскальної плати за перевезення вуглеводневих товарів автотранспортними підприємствами є реальною і значимою щороку. Цей вид платежу пропонується називати «авто-фіскальний платіж». Оскільки нафта, газ, аміак переміщуються також магістралями, що являють собою залізничні путі, тому аналогічно можна назвати «путійно-фіскальний платіж».

А платіж за трубопровідне перекачування вуглеводнів пропонується називати «магістрально-фіскальний платіж»,

Пропоновані нами «магістрально-фіскальний платіж», «путійно-фіскальний платіж» і «авто-фіскальний платіж» можна об'єднати під загальною назвою «вуглеводнево-фіскальний дохід». Об'єктом нарахування цієї фіскальної плати за переміщення нафти та нафтопродуктів мають бути їх фактичні обсяги, що транспортуються територією України у звітному періоді. Відповідно необхідно внести зміни і до нормативних актів [10; 16].

Плату за переміщення природного газу та аміаку можна нараховувати як суму добутоків відстаней відповідних маршрутів їх транспортування (переміщення), узгоджених між платником чинної рентної плати та замовником на відповідний звітний період, на обсяги природного газу та аміаку, переміщених кожним маршрутом транспортування.

За базові економічні нормативи нарахування фіскально-магістрального платежу (чинної ренти) на першому етапі його запровадження варто прийняти їх величини, зазначені у ПКУ: 1,67 грн за транзитне транспортування 1000 м<sup>3</sup> природного газу за кожні 100 км відстані відповідних маршрутів його транспортування; 4.5 грн за транспортування однієї тонни нафти магістральними нафтопроводами; 4.5 грн за транспортування однієї тонни нафтопродуктів магістральними нафтопродуктопроводами; 5,1 грн за транзитне транспортування однієї тонни аміаку за кожні 100 км відстані відповідних маршрутів його транспортування. Для усіх згаданих видів транспорту слід враховувати положення ПКУ: зі зміною тарифів до нормативів плати застосовується коригувальний коефіцієнт. Він має обчислюватися у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України (крім «ставки» чинної рентної плати за транзитне транспортування природного газу) [10, с. 362].

Порядок обчислення фіскальної плати за автоперевезення вуглеводневих товарів має відповідати визначенням ПКУ. За базовий звітний період для нарахування приймається календарний місяць. Платники самостійно обчислюють суму грошових зобов'язань з фіскальної плати. Сума плати обчислюється як добуток відповідного показника бази нарахування (за ПКУ – об'єкта нарахування) на відповідний норматив та з урахуванням коригувального коефіцієнта, визначеного в установленому порядку.

Також за ПКУ виконується розрахунок з фіскальної плати за звітний період (календарний місяць) за встановленою формою і подається платником органу державної фіскальної служби за місцем його реєстрації протягом 20 календарних днів, що настають за останнім календарним днем звітного періоду. А сума плати за звітний період, що дорівнює календарному місяцю, вноситься на казначейські рахунки платником за місцем його податкової реєстрації авансовими платежами щодакади (15, 25 числа поточного місяця, 5 числа наступного місяця), визначеної за фактичними обсягами природного газу та аміаку і показниками відстані відповідних маршрутів їх транспортування територією України у відповідних декадах місяця; фактичними обсягами нафти і нафтопродуктів, що транспортуються територією України, у відповідних декадах місяця.

При цьому плата (знову ж таки за вимогами ПКУ), визначена у звітному періоді з урахуванням фактично сплачених авансових платежів, вноситься платниками до державного бюджету протягом 10 календарних днів, що настають за останнім календарним днем граничного строку подання такого розрахунку. Якщо сума плати, що нарахована її платником за звітний період, не сплачена протягом 10 календарних днів, що настають за останнім календарним днем граничного строку подання розрахунку, на неї накладається економічна санкція: нараховується пеня в порядку, встановленому ПКУ. Тобто платник зобов'язаний самостійно вносити основну суму плати і плату за порушення термінів її перерахування на казначейські рахунки. Суму фіскально-магістрального платежу (чинної рентної плати) від перевезення нафти, нафтопродуктів і аміаку пропонується обчислювати за нормативами нарахування і кількістю (в тоннах).

За ПКУ платник несе економічну відповідальність за правильність обчислення суми плати, повноту і своєчасність її внесення до бюджету, а також за своєчасність подання органам державної фіскальної служби відповідних розрахунків згідно з вимогами цього Кодексу та інших законів України. Контроль за правильністю обчислення, своєчасністю і повнотою внесення плати до бюджету здійснюють органи державної фіскальної служби.

### **Висновки**

Таким чином, платіж, названий у Податковому кодексі України рентою за транзитне транспортування вуглеводнів, не відповідає класичному визначенню ренти і податку. Дефініції "плата за міждержавне переміщення (перекачування, перевезення) водневих товарів" необхідно трактувати **як вуглеводнево-фіскальний дохід** державної скарбниці (відповідно до галузі «магістрально-фіскальний платіж», «путійно-фіскальний платіж» і «авто-фіскальний платіж»), змінити механізм нарахування та внесення коштів на казначейські рахунки. Для розробки такого механізму є **необхідним проведення спеціальних досліджень, підтриманих** Кабінетом Міністрів України.

Запровадження названих платежів є економічно доцільним і юридично правомірним, оскільки транзитне переміщення енергетичних вуглеводневих ресурсів здійснюється з **використанням відповідних земельних площ, виходячи**, що земля у даному випадку розглядається як економічний об'єкт, є власністю народу України. Результатом їх запровадження має бути компенсація втрат бюджету в результаті зниження для населення тарифів на енергоносії.

Отже, з економічних інтересів держави і населення доцільно запровадити фіскальну плату за транзитне переміщення енергетичних вуглеводневих ресурсів, яку необхідно обчислюватися залежно від виду транспорту (трубопровідного, автомобільного, залізничного, а також у подальшому і морського), за комплексом, у тому числі економічних, показників, зокрема, кількості та якості виду ресурсу, часу,

магістральних тарифів і відстані його переміщення та ін. Сума може коригуватися з допомогою коефіцієнтів, офіційно встановлених Кабінетом Міністрів України.

#### Список літератури

1. Сучасні проблеми геолого-економічної оцінки та розвитку вітчизняної мінерально-сировинної бази / Збірник статей за матеріалами постійно діючого семінару. – К.: Обрії, 2010. – 134 с.
2. Данилишин Б.М., Міщенко В.С. Рентна політика в Україні. – К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2004. – 68 с.
3. Малюк Б.І., Бобров О.Б., Красножон М.Д. Надрокористування у країнах Європи і Америки: Довідникове видання. – К.: Географіка, 2003. – 197 с. : іл. 90. – Бібліогр: С. 196 – 197.
4. Міщенко В.С. Реформування платежів за користування надрами: методологія і практика / В. С. Міщенко // Фінанси України. – 2010. – № 3. – С. 38 – 49.
5. Міщенко В. Щодо формування ефективної рентної політики в Україні / В. С. Міщенко, О. І. Барановський, Я. В. Петраков // Фінанси України – 2008. – № 2. – С. 3–14.
6. Основи економічної геології: Навч. посіб. для студ. геол. спец. вищ. навч. закл. освіти /М.М. Коржнев, В.А. Михайлов, В.С. Міщенко та ін. – К.: Логос, 2006. – 223 с.:іл. – Бібліогр: С. 218 – 222.
7. Гурвич Е. Циклические свойства бюджетной политики в нефтедобывающих странах / Е. Гурвич, Е. Вакуленко, П. Кривенко // Вопросы экономики. – 2009. – № 2. – С. 51–70.
8. Гурвич Е. Нефтегазовая рента в российской экономике / Е. Гурвич// Вопросы экономики. – 2010. – № 11. – С. 4 – 25.
9. Кузык Б., Агеев А., Волконский В. и др. Природная рента в экономике России. М.: ИНЭС, 2004. – 192 с.
10. Податковий кодекс України. - К.: Юрінком Інтер, 2010. - 496 с.
11. Статистичний щорічник України за 2009 рік. – К.: ДП «Інформаційно-аналітичне агентство», 2010. – 566 с.
12. Про трубопровідний транспорт: Закон України від 15.05.1996 №196.
13. Про затвердження Правил перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні: Наказ Міністерства транспорту України від 14.10.1997 р. № 363. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20 лютого 1998 р. за № 128/2568.
14. Сучасний тлумачний словник української мови: 50000 слів/ За заг. ред. д-ра філол. наук, проф. В.В. Дубічинського. – Х.: ВД «ШКОЛА», 2006. – 832 с.
15. Цивільний кодекс України: чинне законодавство зі змінами та допов. станом на 16 верес. 2011 р.: (ОФЦ. ТЕКСТ). – К.: ПАЛИВОДА А. В., 2011. – 380 с. (Кодекси України).
16. [http://library.oseu.edu.ua/files/StatSchorichnyk\\_Ukrainy\\_2013.pdf](http://library.oseu.edu.ua/files/StatSchorichnyk_Ukrainy_2013.pdf)

**A.V. Badyuk**

**Research institution "Resources"**

#### **FISCAL ASPECT OF TRANSIT TRANSPORTATION OF HYDROCARBON ENERGY RESOURCES**

*Justified economic identity services on transportation of energy of the hydrocarbon resources of the different modes of transport and are characterised by economic entities that provide such services. It has been proven that revenue, named for the tax code of Ukraine rent for transit of hydrocarbons pipelines does not meet the classical definition of rent and tax. Sound feasibility entry fiscal charges for interstate transit, moving energy of hydrocarbon resources in the form of uglevodorodno-fiscal income, its computation depending on the mode of transport (road, rail, pipeline), for the set of indicators: the type, quantity and quality of resource time, trunk rates and distances it is moving.*

**Key words:** hydrocarbons, services, transit, pipeline, rent, tax payment, entity

#### **References**

1. Modern problems of geological and economic evaluation and development of domestic mineral base / Zbimik stately za materialami postiyono diyuchogo seminaru. – K.: Obrii, 2010. – 134 s.
2. Danilishin B.M., Mischenko V.S. Annuity Policy in Ukraine. – K.: ZAT «NICHCLAVA», 2004. – 68 s.
3. Malyuk B.I., Bobrov O.B., Krasnozhon M.D. The mineral resources in Europe and America. – K.: Geografika, 2003. – 197 s. : il. 90. – Bibliogr: S. 196 – 197.
4. Mischenko V.S. Reform of payments for subsoil use: Methodology and Practice / V. S. Mischenko // Finansi Ukraini. – 2010. – № 3. – S. 38 – 49.
5. Mischenko V. The formation of effective rent policy in Ukraine / V. S. Mischenko, O. I. Baranovskiy, Ya. V. Petrakov // Finansi Ukraini – 2008. – № 2. – S. 3–14.
6. Fundamentals of Economic Geology: Navch. posib. dlya stud. geol. spets. visch. navch. zakl. osviti /M.M. Korzhnev, V.A. Mihaylov, V.S. Mischenko ta in. – K.: Logos, 2006. – 223 s.:il. – Bibliogr: S. 218 – 222.
7. Gurvich E. Cyclic properties of fiscal policy in oil-producing countries / E. Gurvich, E. Vakulenko, P. Krivenko // Voprosyi ekonomiki. – 2009. – № 2. – S. 51–70.

8. Gurvich E. Oil and gas rents in the Russian economy / E. Gurvich// Voprosyi ekonomiki. – 2010. – № 11. – S. 4 – 25.
9. Kuzyik B., Ageev A., Volkonskiy V. i dr. Natural Rent in the Russian economy. M.: INES, 2004. – 192 s.
10. Tax Code of Ukraine. K.: Yurinkom Inter, 2010. 496 s.
11. Statistical Yearbook of Ukraine for 2009. – K.: DP «Informatsiyno-analitichne agentstvo», 2010. – 566s.
12. About a pipeline transport: Zakon Ukrayini vid 15.05.1996 №196.
13. About approval of Rules of transportation of goods by road in Ukraine: Nakaz Ministerstva transportu Ukraini vid 14.10.1997 r. № 363. Zareestrovano v Ministerstvi yustitsii Ukraini 20 lyutogo 1998 r. za № 128/2568.
14. Dictionary of Modern Ukrainian language: 50000 sliv/ Za zag. red. d-ra filol. nauk, prof. V.V. Dubichinskogo. – H.: VD «SHKOLA», 2006. – 832 s.
15. The Civil Code of Ukraine: chinne zakonodavstvo zi zminami ta dopov. stanom na 16 veres. 2011 r.: (OFITS. TEKST). – K.: PALIVODA A. V., 2011. – 380 s. (Kodeksi Ukraini).
16. [http://library.oseu.edu.ua/files/Statschorichnyk\\_Ukrainy\\_2013.pdf](http://library.oseu.edu.ua/files/Statschorichnyk_Ukrainy_2013.pdf)

УДК 347.247:336

**А.В. Бодюк**, канд. экон. наук, ст. науч. сотр.

Научно-исследовательского заведения «Ресурсы»

### **ФИСКАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ТРАНЗИТНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

*Обосновано экономическую идентичность услуг относительно транспортировки энергетических углеводородных ресурсов разными видами транспорта и охарактеризовано субъекты хозяйствования, которые оказывают такие услуги. Доказано, что доход, названный в Налоговом кодексе Украины рентой за транзитную транспортировку углеводородов трубопроводами, не отвечает классическому определению ренты и налога. Обоснованная целесообразность ввода фискальной платы за межгосударственное, транзитное перемещение энергетических углеводородных ресурсов в форме углеводородно-фискального дохода, его вычисление в зависимости от вида транспорта (трубопроводного, автомобильного, железнодорожного), за комплексом показателей: вида, количества и качества ресурса, времени, магистральных тарифов и расстояния его перемещения.*

**Ключевые слова:** углеводороды, услуги, транзит, трубопровод, рента, фискальный платеж, субъект хозяйствования

Надійшла 27.10.2015

Received 27.10.2015

## СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

---

UDK 502.33

O. Vovk, doctor of techn. sc., prof., R. Kravchuk, master st., A. Lutc, master st., Ch. Adeniyi master st.,  
V. Gladysheva postgraduate st. NAU  
National technical university of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”

### ALTERNATIVE PRODUCTION OF BIO-FUEL FROM THE BYE PRODUCTS OF OIL SPILLAGE

*Analytical approach in identifying of ecologically effective methods for oil spills purification were investigated and new effective method of alternative biofuel production from the bye products of oil spillage were proposed.*

**Key words:** hydrocarbons, oil spills, alternative fuels, algal farming.

#### **Introduction**

An oil spill is the release of a liquid petroleum hydrocarbons into the environment, especially marine areas, due to human activity, and is a form of pollution. This pollution can affect our environment in various ways like the depletion of fishes, loss of plantation and gas glaring.

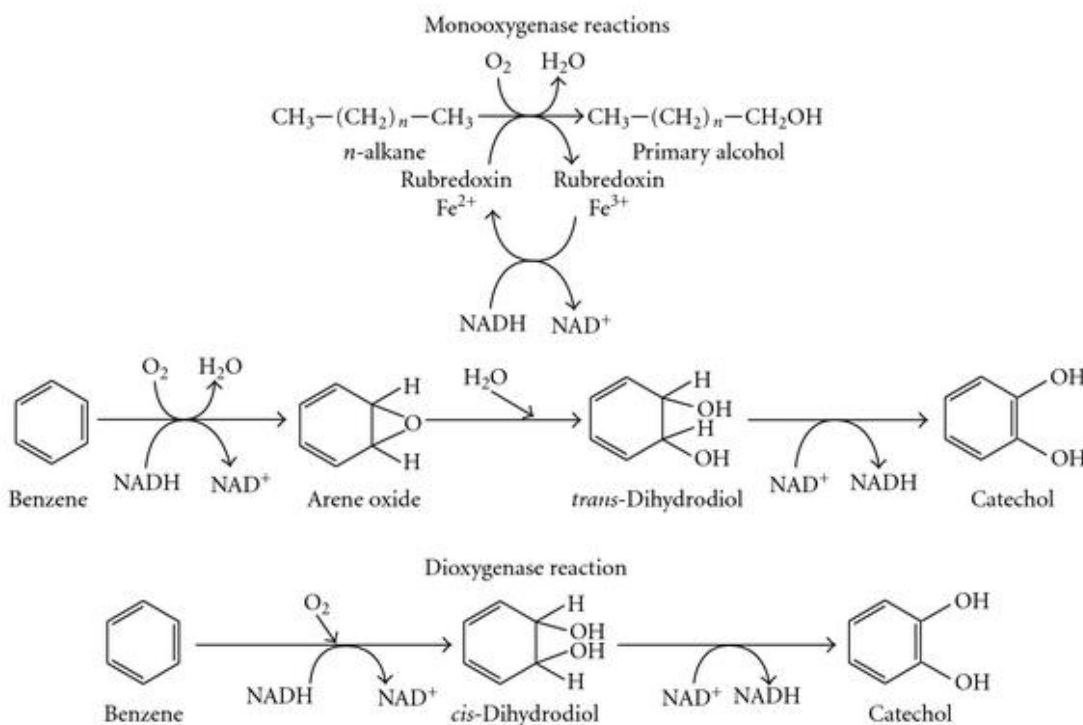
#### **Goal and tasks**

In many coastal regions, there were several cases of water pollution, mainly the reason for this action was the production of oil, which resulted in lost of drinking water, as the latter had unsatisfactory condition for consumption. Such damage to the environment requires a lot of effort to restore these ecosystems, so many scientists considerable time trying to come up with ways to solve the problem of water treatment that is, today is the actual implementation of new methods, in particular, and models to improve the state of water resources.

#### **Material and research results**

In the purification of water bodies oil-eating microbes naturally affect the oil, but they can be enhanced to effectively degrade the oil spills. Photosynthetic organisms use energy from sunlight to convert carbon dioxide and water into carbohydrates, proteins, and fats, with oxygen as a byproduct. The genetic machinery needed to make these oil-degrading enzymes is most commonly found in bacteria (although many fungi and some other organisms can also degrade oil). Biological mechanisms are not the only factor involved in cleaning up an oil spill. A variety of physical and chemical processes are also at work, such as: evaporation, dissolution, dispersion, photo-oxidation.

Microbes can be counted on to biodegrade oil over time. However, the process may not be fast enough to prevent ecological damage. Immediate containment or physical removal of the oil is therefore an important first line of defense. Even though oil-degrading microbes are found everywhere, their mere presence does not mean that environmental conditions are ideal for oil biodegradation. Environmental conditions, as well as the location, duration, and form of an oil spill strongly affect how quickly biodegradation will occur. One of the most rapid ways this can happen is by horizontal gene transfer (HGT). HGT is a mechanism whereby microbes can share genes with each other—with HGT, a microbe that has the genetic instructions for producing oil-degrading enzymes can transfer copies of those genes to other microbes—even microbes of different species previously incapable of degrading oil components. In this way, microbes that were unable to use oil as a food source acquire that capability. The ability to share genes can greatly promote a local microbial community's capacity to clean up an oil spill.



Picture 1 – Breakdown of hydrocarbons

After the degradation there is still a residue. This residue can be used to grow algae, because it is nonpoisonous and organic which in turn can be used to produce bio-fuels. Developing alternative fuels is an essential step towards solving the problems associated with fossil fuels. It is important that alternative fuels be renewable, have less impact on the environment and be produced and used by currently available technology. The natural biodiesel resources such as oil crops and waste cooking oil are not sufficient to cover the global transportation fuel demand.

## Biodiesel from algae

High oil prices and advances in biotech over the past decade have refueled the algae biofuel race.

**The process**

- 1 After initial growth, algae is deprived of nutrients to produce a greater oil yield
- 2 Extraction of oil: A press produces 70-75% of the oils from the plant
- 3 Solvents used to separate sugar from oil; solvents then evaporate
- 4 Oil is ready: Can be used as oil directly in diesel engines or refined further into fuel

**Yield of various plant oils**  
(Gallons per hectare)

Soy	118
Safflower	206
Sunflower	251
Castor	373
Coconut	605
Palm	1,572
Algae	26,417

**About algae**

- Among the fastest growing plants; about 50% of their weight is oil
- Contains no sulfur; non toxic; highly biodegradable
- Algae fuel is also known as algal fuel or oilgae

Source: oilgae.com, MCT Photo Service  
Graphic: Scott Bell © 2008 MCT

Picture 2 – The process of biofuel production from algae

The pivotal outcome of the project will be cost. This was proved in the well documented closure of the US Department of Energy's algae research program in 1996 after nearly 20 years of work. At the time it was estimated

that the \$40-60/bbl cost of producing algal oil just couldn't compete with petroleum for the foreseeable future. In recent years, we have seen the increase in petroleum and the pollution that comes with it. Biofuel from algae will help reduce the fossil fuels usage and carbon emissions. It will also helps in land and nutrient preservation.

#### **Conclusions**

Micro algal farming has the potential to be combined with flue gas CO<sub>2</sub> mitigation and wastewater treatment. It can also use seawater as a medium when marine micro algal species are utilized which mitigates the problem of freshwater shortages. In addition, there is much potential for cost savings when the production of novel products for use in medicine, food, and cosmetics are coupled with the production of biofuels. Technological developments which include advances in photo bioreactor design, microalgal biomass harvesting, drying and other downstream processing technologies are important areas that need to be addressed in order to effectively implement the use of biofuel from algae as a replacement for fossil fuels. Algal biodiesel has prospects in developing countries such as China, India, Nigeria etc, but research of algal as a source of biofuel is lacking among Ukrainian Universities compared to China and other developing countries.

#### **References**

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Oil\\_spill](http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_spill)
2. Peterson, C. L. (1986) "Vegetable Oil as a Diesel Fuel: Status and Research Priorities," Transactions of the ASAE, pp 1413-1422. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MO.
3. Bruwer, J.; van D. Boshoff, B.; du Plessis, L.; Fuls, J.; Hawkins, C.; van der Walt, A.; Engelbrecht, A., (1980) "Sunflower Seed Oil As an Extender for Diesel Fuel in Agricultural Tractors," presented at the 1980 Symposium of the South African Institute of Agricultural Engineers.
4. Markley, K. (1961) "Chapter 9: Esters and Esterification," in Fatty Acids: Their Chemistry, Properties, Production and Uses Part 2, 2nd Edition (Markley, K.; ed.). Interscience Publications, New York
5. [www.oilgae.com](http://www.oilgae.com)
6. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/publications/microbes/index-eng.html>
7. <http://www.gulfspillrestoration.noaa.gov/>
8. [http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/er\\_5.html](http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2010/er_5.html)
9. Aquatic Species Program by the U.S. Department of Energy's Office of Fuels Development.-1996.

#### **УДК 502.33**

**О.А. Вовк**, д.т.н., проф., **Р. Кравчук**, магістр, **А.О. Луц**, магістр, **К. Адений**, магістр.,  
**В. А. Гладышева**, аспірант НАУ

#### **Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО БИОТОПЛИВ ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН**

*В статье рассмотрен аналитический метод определения экологически эффективного способа очищения нефтяных пятен и предложен новый метод получения альтернативного биотоплива из побочных продуктов нефтяных пятен.*

**Ключевые слова:** углеводороды, нефтяные пятна, альтернативные топлива, аквафермы.

#### **УДК 502.33**

**О.О. Вовк**, д.т.н., проф., **Р. Кравчук**, магістр, **А.О. Луц**, магістр, **К. Адений**, магістр.,  
**В. А. Гладышева**, аспірант НАУ

#### **Национальный техничний університет України «Київський політехнічний інститут» АЛЬТЕРНАТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО БІОПАЛИВ З СУПУТНІХ ПРОДУКТІВ НАФТОВИХ ПЛЯМ**

*В статті розглянуто аналітичний метод визначення екологічно ефективного способу очистки нафтових плям та запропоновано новий метод отримання альтернативного біопалива з супутніх продуктів нафтових плям.*

**Ключові слова:** вуглеводні, нафтові плями, альтернативні палива, акваферми.

Надійшла 15.12.2015

Received 15.12.2015

## КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ И ВРЕДНЫХ ГАЗОВ, ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

*Статья посвящена решению оптимизационной задачи обоснования рабочего режима электроэнергетической системы. Показано, что выбор и обоснование рабочего режима электроэнергетической системы должен основываться на сочетании решения комплексных технико-экономической и экологической задач, причём плату за загрязнение окружающей среды следует отнести в состав производственных издержек энергетического предприятия. Показана особая актуальность рассматриваемой задачи для тепловых электростанций, расположенных вблизи крупных мегаполисов и промышленных центров, где наблюдаются относительно короткие и закономерно повторяющиеся периоды особо неблагоприятного ухудшения метеоусловий, вызывающих резкое увеличение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. Разработаны математические модели ущербов от загрязнения приземного слоя атмосферы, в том числе выбросами летучих твёрдых веществ, серы, окислов азота и ванадия. Показано, что критерий, характеризующий степень загрязнения атмосферы носит временный характер.*

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, оптимизация, тепловая электростанция, выбросы, ущерб от загрязнения, концентрация загрязняющих веществ.

### Введение.

При расчётах и оптимизации работы электрической системы необходимо, исходя из экологических соображений, учитывать влияние режимов работы электроэнергетической системы на окружающую среду.

Решение вопросов оценки экологического воздействия на окружающую среду при эксплуатации тепловых электростанций (ТЭС) заключается в соблюдении нормативов чистоты атмосферного воздуха при расчётных метеорологических условиях в районах расположения ТЭС, которые характеризуются определёнными усреднёнными значениями скорости ветра, коэффициентов стратификации атмосферы и рядом других параметров [1]. Здесь под коэффициентом стратификации атмосферы будем понимать распределение температуры воздуха по высоте, характеризующее вертикальным градиентом температуры (град/100 м). Такой коэффициент характеризует устойчивость атмосферы в конкретном районе по отношению к вертикальным перемещениям воздуха. Укажем, что величины экологических параметров обычно принимаются с некоторым запасом, учитывающим сравнительно длительные периоды ухудшения метеорологической ситуации [2-4].

Показатели чистоты атмосферного бассейна обуславливаются суммарными значениями выбросов, которые связаны, в частности, с прямым сжиганием топлива на станциях системы и режимами работы потребителей энергии.

Накопленный опыт показывает, что в крупных городах и промышленных центрах наблюдаются относительно короткие и закономерно повторяющиеся периоды особо неблагоприятного ухудшения метеоусловий, вызывающих резкое увеличение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. Поэтому при проектировании, сооружении и эксплуатации ТЭС в таких районах для воздушного бассейна должны предусматриваться не только средства, рассчитанные на регулярную эксплуатацию, но и приниматься специальные меры, обеспечивающие возможность дополнительного существенного сокращения вредных выбросов в атмосферу в кратковременные периоды особо неблагоприятных метеоусловий. К таким мероприятиям могут относиться, например, использование запасов малосернистого топлива, перераспределение нагрузок между энергетическими объектами, режимные изменения в технологическом производстве энергии и т. д. [3-5]

Является возможным возникновение таких ситуаций, при которых оказывается недопустимым выгодное в экономическом отношении покрытие графиков нагрузки тепловыми агрегатами электростанций, расположенных вблизи больших городов. Такое положение будет справедливо для ситуации, когда агрегаты электростанций работают на топливе, содержащем вредные примеси и при этом направление воздушных потоков таково, что выбросы от электрических станций будут направлены



непосредственно к близко расположенным городам. В таких ситуациях, вполне вероятно, более правильным может оказаться решение не об оптимальной загрузке группы высокоэкономичных станций, а некоторых других, менее экономичных станций, но расположенных вдали от данного центра электрических нагрузок [6]. При этом, несомненно, сравнительно высокий необходимый уровень передачи мощности от станций, расположенных вдали от энергоёмких нагрузок, повлечёт за собой увеличение потерь активной и реактивной мощности и потерь напряжения в питающей электрической сети. Эти обстоятельства, в свою очередь, активно воздействуют на критерии оценки режимов по потерям активной мощности, минимуму расхода топлива в системе за рассматриваемый период времени и др.

#### **Цель работы.**

Назрела необходимость подвести под мероприятия по защите окружающей среды экономическую составляющую, что, несомненно, позволит более правильно планировать и финансировать экологические мероприятия, а также устанавливать материальную ответственность энергетических предприятий за загрязнение воздушного бассейна. Такую плату за загрязнение следует отнести в состав производственных издержек энергетического предприятия [5-8].

#### **Материал и результаты исследований.**

Таким образом, выбор определённого режима работы любой электроэнергетической системы должен основываться на сочетании решения комплексных технико-экономической и экологической задач.

В общем виде математическую модель ущерба от загрязнения наземного слоя окружающей среды можно представить в следующем виде:

$$\Phi_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{\sigma=1}^{\Sigma} A_{jr\sigma} Q_{jr\sigma} \alpha_{jr\sigma} \Delta t_j \rightarrow \min ,$$

где  $A_{jr\sigma}$  – вредные выбросы в атмосферу  $r$ -го вещества в  $j$ -й разрез времени, уровень выбросов зависит от расхода  $\sigma$ -го вида топлива, используемого на электростанциях системы;  $Q_{jr\sigma}$  – средние значения удельного ущерба от  $r$ -го выброса в  $j$ -й момент времени при использовании  $\sigma$ -го вида топлива;  $\alpha_{jr\sigma}$  – коэффициент, учитывающий изменение среднего значения ущерба для  $r$ -го вредного вещества выброса при использовании  $\sigma$ -го вида топлива в  $j$ -м временном разрезе. Коэффициент  $Q_{jr\sigma}$  обуславливается местными условиями (общим фоном загрязнения воздушного бассейна, плотности населения и размещения промышленности, высотой труб электростанций и т. д.)

Укажем, что в настоящее время, в связи со значительным изменением климата, связанного с потеплением атмосферы Земли, международные комиссии ООН приняли решения о жёстком ограничении для экономически развитых государств объёмов выбросов, так называемых, парниковых газов в атмосферу Земли. В то же время особое внимание должно уделяться также объёмам выбросов в атмосферу вредных газов в виде окислов серы, азота, ванадия и летучих твёрдых веществ в виде золы.

Таким образом, парниковые газы влияют на глобальное изменение климата Земли, угрожающего негативными последствиями для всего человечества, а вредные газы оказывают местное негативное влияние на здоровье населения и продуктивных животных, длительное время находящихся в зоне выпадения осадков вредных веществ.

В настоящее время планированию и контролю подлежат выбросы золы, окислов серы, азота и ванадия в атмосферу. Объёмы газообразных выбросов определяются расчётным путём по характеристикам топлива, топочных и улавливающих устройств.

Например, выброшенное в атмосферу количество летучих твёрдых веществ (золы) определяется следующим выражением:

$$A_{1j\sigma} = \sum_{i=1}^I B_{j\sigma i} (A_{0j\sigma i} \pm q_{j\sigma i}) (1 - \eta_{j\sigma i}) \alpha_{j\sigma i} \cdot 10^{-2} ,$$

где  $A_{0j\sigma i}$  – зольность  $\sigma$ -го вида топлива, используемого на  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени;  $B_{j\sigma i}$  – расход  $\sigma$ -го вида топлива на  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени;  $q_{j\sigma i}$  – потери тепла от механической неполноты сгорания расхода  $\sigma$ -го вида топлива на  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени;  $\eta_{j\sigma i}$  – среднеэксплуатационный коэффициент полезного действия золоуловителя  $i$ -й электростанции при сжигании  $\sigma$ -го вида топлива в  $j$ -м временном срезе;  $\alpha_{j\sigma i}$  – доля золы в уносе при использовании  $\sigma$ -го вида топлива в  $j$ -м временном срезе, зависящая от конструкции топки.

Уровень выбросов окислов серы определяют по количеству сжигаемого топлива и содержанию серы в нём. Уровень выбросов серы в атмосферу определяется выражением:

$$A_{2j\sigma} = \frac{m_{\text{SO}_2}}{m_{\text{SO}}} \sum_{i=1}^I B_{j\sigma i} S_{\sigma j}^p (1 - \xi_{j\sigma i}) ,$$

где  $m_{SO}$ ,  $m_{SO_2}$  – относительные молекулярные массы серы и двуокиси серы соответственно;  $S_{\sigma j}^p$  – серность топлива при использовании  $\sigma$ -го вида топлива в  $j$ -м временном разрезе;  $\xi_{j\sigma i}$  – доля серы, уходящая с золой и шлаком в процессе сжигания  $\sigma$ -го вида топлива на  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени.

Уровень выбросов окислов азота определяют по объёму выброшенных дымовых газов, приведенных к нормальным условиям, и концентрации окислов азота в дымовых газах при коэффициенте избытка воздуха в уходящем газе равном единице. С учётом вышесказанного выражение для определения уровня окислов азота принимает вид:

$$A_{3j\sigma} = \sum_{i=1}^I C_{NO_2j\sigma i} B_{j\sigma i} V_{ij\sigma i} ,$$

где  $C_{NO_2j\sigma i}$  – концентрация окислов азота  $\sigma$ -го вида топлива в  $j$ -й момент времени за последней поверхностью нагрева;  $V_{j\sigma i}$  – объём газов при нормальных условиях на 1 кг сожжённого  $\sigma$ -го вида топлива на  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени.

Уровень окислов ванадия, выброшенных в атмосферу, для станции, работающей на жидком топливе, оценивается выражением [9]:

$$A_{4j\sigma} = \sum_{i=1}^I B_{j\sigma i} m_{\sigma j} \beta_{j\sigma i} ,$$

где  $m_{\sigma j}$  – удельное содержание окислов ванадия в жидком  $\sigma$ -м виде топлива при пересчёте на  $V_2O_5$  в  $j$ -м разрезе времени;  $\beta_{j\sigma i}$  – коэффициент, учитывающий долю твёрдых частиц в продуктах сгорания, образующихся при сжигании  $\sigma$ -го вида топлива и улавливаемых специальным фильтром, устанавливаемом на  $i$ -й электростанции, в  $j$ -й момент времени.

Расчёт уровня выбросов в атмосферу должен осуществляться при соблюдении ограничений вида

$$C_{mji}^p + C_{\phi j}^p \leq C_{доп j}^p ,$$

где  $C_{mji}^p$  – концентрация загрязняющего вещества, обусловленная работой  $i$ -й электростанции в контролируемом  $p$ -м районе в  $j$ -й момент времени;  $C_{\phi j}^p$  – то же, но обусловленная работой действующих предприятий и транспорта, характеризующихся рассматриваемыми выбросами;  $C_{доп j}^p$  – предельно допустимая концентрация вредных веществ в  $p$ -м районе в  $j$ -м разрезе времени, устанавливаемая Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения Украины.

Концентрацию загрязняющих веществ, обусловленную работой станций в контролируемых районах, можно рассчитать по методике, разработанной и утверждённой Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Эта методика устанавливает зависимость концентрации примесей в приземном слое атмосферного воздуха от различных параметров режимов работы электрических станций, метеорологических и прочих условий. Основное количественное соотношение для определения концентрации загрязняющих веществ согласно указанной методике имеет следующий вид:

$$C_{mji}^p = \frac{A_i^p m_{ji} n_{ji} \sum_{r=1}^R A_{jr\sigma i} F_{j\sigma i}}{H_i^2} \sqrt[3]{\frac{N_i}{V_{j\sigma i} \Delta T_{ji}}} , \quad (1)$$

где  $A_j$  – коэффициент температурной стратификации атмосферы, зависящий от метеорологических условий  $p$ -го района;  $\sum_{r=1}^R A_{jr\sigma i}$  – суммарный выброс загрязняющего вещества в атмосферу на  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени;  $F_{j\sigma i}$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость осаждения твёрдых частиц золы в атмосфере (для газовых примесей равен единице) для  $\sigma$ -го вида топлива в  $j$ -й момент времени;  $m_{ji}$ ,  $n_{ji}$  – безразмерные коэффициенты, зависящие от скорости выхода дымных газов из устья труб  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени;  $V_{j\sigma i}$  – объём дымовых газов, выбрасываемых из труб  $i$ -й электростанции в  $j$ -й момент времени при сжигании  $\sigma$ -го вида топлива;  $\Delta T_{ji}$  – разность между температурой дымных газов, выходящих из труб  $i$ -й электростанции и окружающего воздуха в  $j$ -й момент времени;  $N_i$  – число дымовых труб на  $i$ -й электростанции;  $H_i$  – высота дымовых труб  $i$ -й электростанции.

Критерий выброса в атмосферу должен в первую очередь определяться только для тех электростанций, которые функционируют или намечены к сооружению в районах крупных городов, промышленных центров и т. д. В этих случаях предельная допустимая концентрация загрязняющих веществ может

превышать установленные санитарные нормы. Важно, что это условие, как правило, известно до начала проведения оптимизационных расчетов режимов работы электростанций.

Отметим также, что электрические станции, работающие в пиковом и полупиковом режимах, характеризуются различными объемами выбросов в атмосферу, обусловленными различными значениями мощностей станций и, следовательно, объемами расхода топлива. Помимо этого, ряд коэффициентов в выражении (1) изменяются во времени и, следовательно, критерий, характеризующий степень загрязнения атмосферы носит временный характер.

#### **Выводы.**

1. При расчетах и оптимизации работы электрической системы обязательно необходимо учитывать влияние режимов работы электроэнергетической системы на окружающую среду.

2. Накопленный опыт показывает, что в крупных городах и промышленных центрах наблюдаются относительно короткие и закономерно повторяющиеся периоды особо неблагоприятного ухудшения метеоусловий, вызывающих резкое увеличение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. При проектировании, сооружении и эксплуатации ТЭС в таких районах для воздушного бассейна должны предусматриваться не только средства, рассчитанные на регулярную эксплуатацию, но приниматься и специальные меры, обеспечивающие возможность дополнительного существенного сокращения вредных выбросов в атмосферу в кратковременные периоды особо неблагоприятных метеоусловий.

3. Назрела необходимость подвести под мероприятия по защите окружающей среды экономическую составляющую, устанавливающую материальную ответственность энергетических предприятий за загрязнение воздушного бассейна.

4. Разработаны математические модели ущерба от загрязнения приземного слоя атмосферы вредными выбросами тепловых электростанций, выбросами в атмосферу золы, окислов серы, азота и ванадия.

5. Расчет выброса в атмосферу загрязняющих веществ должен осуществляться при соблюдении ограничений, обусловленных установленными Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения Украины предельно допустимыми концентрациями вредных веществ.

#### **Список литературы:**

1. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). ДСП-201-97 – Київ: МОЗ, 1997.

2. Гранично допустимі концентрації /ГДК/ та орієнтовні безпечні рівні діяння /ОБРД/ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць – Донецьк, 2006.

3. Костюковський Б. А. Проблема зниження викидів забруднювачів в атмосферу в тепловій енергетиці України в контексті інтеграції ОЕС України в УСТЕ / Б. А. Костюковський, Т. П. Нечаєва та ін. // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – №16.

4. Нечаєва Т. П. Дослідження можливих стратегій розвитку структури електроенергетичного комплексу України з урахуванням впливу екологічних обмежень і вимог / Т. П. Нечаєва. // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – вип. 3 (25). – С. 25–31.

5. Кулик М. Н. Влияние экологических факторов на использование технологий тепловой энергетики / М. Н. Кулик, Т. П. Нечаева. // Электротехнологии и ресурсосбережение. – 2015. – №2.

6. Установки спалювання на теплових електростанціях та в котельнях. Організація контролю за викидами в атмосферу. СОУ-Н МПЕ 40.1.02.307: 2005. – Київ, 2005.

7. Костюковський Б. А. Заходи з виконання екологічних вимог за умови спільної роботи ОЕС України з об'єднанням енергосистем європейських країн / Б. А. Костюковський. // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – вип. 3 (34).

8. Сулейманов В. М. Загальний підхід до постановки задачі вибору оптимальних робочих режимів електроенергетичних систем на основі багатокритеріального аналізу / В. М. Сулейманов, В. А. Баженов, Т. Л. Кацадзе. // Гідроенергетика України. – 2009. – №3. – С. 42–45.

9. Сулейманов В. М. Вибір оптимальних схем побудови та режимів електроенергетичних систем на основі багатокритеріального аналізу – (Звіт про НДР УкрНТІП № 0209U010893) / В. М. Сулейманов, В. А. Баженов, Т. Л. Кацадзе. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. – 128 с.

**V. Suleymanov, O. Yankovska**

**National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”**

#### **INTEGRATED SOLUTION OF TECHNICAL AND ECONOMIC AND ECOLOGICAL TASKS BY REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS, HARMFUL GASES AND VOLATILE MATTER IN ELECTRIC POWER INDUSTRY**

*The article is devoted to solving the optimization problem justify the mode of power system. It is shown that the selection and justification of the mode of power system should be based on a combination of complex solutions of technical, economic and environmental problems, with payment for environmental pollution should include in*

*the production cost of the energy enterprise. Shown special urgency of this problem for thermal power plants located near large cities and industrial centers, where there are relatively short and regularly recurring periods of particularly adverse weather conditions worsening, causing a sharp increase in the concentration of pollutants in the surface layer of the atmosphere. The mathematical models of pollution damage the surface layer of the atmosphere, including emissions of volatile solids, sulfur, nitrogen oxides and vanadium. It has been shown that the criterion characterizing the degree of air pollution is only temporary.*

**Keywords:** power system optimization, thermal power plant, emissions, pollution damage, the concentration of pollutants.

**References:**

1. State Sanitary rules of air protection of settlements (pollution from chemical and biological agents). SSR-201-97 – Kyiv: MOZ, 1997 (ukr).
2. Maximum allowable concentration / MPC / estimated safe levels and actions / OBRD / pollutants in ambient air of settlements – Donetsk, 2006 (ukr).
3. Kostukovsky B. A. The problem of reducing emissions of pollutants into the atmosphere in the thermal energy of Ukraine in the context of Ukraine's integration into UCTE IPS / B. A. Kostukosky, T. P. Nechaeva etc. // Problemy zagalnoi energetyki. – 2007. – №16 (ukr).
4. Nechaeva T. P. Investigation of possible development strategies of the structure of the electricity sector of Ukraine with the influence of environmental constraints and requirements / T. P. Nechaeva // Problemy zagalnoi energetyki. – 2011. – вип. 3 (25). – С. 25–31 (ukr).
5. Kulyk M. N. Influence of environmental factors on the use of technologies of thermal energy / M. N. Kulyk, T. P. Nechaeva // Elektrotehnologii i resursoberezhenie. – 2015. – №2 (rus).
6. Installations combustion in thermal power plants and boiler houses. Organization of control over emissions into the atmosphere. SOU-N MPE 40.1.02.307: 2005. – Kyiv, 2005 (ukr).
7. Kostukovsky B. A. Measures to implement environmental requirements on condition IPS work together with Ukraine European Interconnection / B. A. Kostukosky // Problemy zagalnoi energetyki. – 2013. – vol. 3 (34) (ukr).
8. Suleymanov V. M. The general approach to setting the problem of choosing optimal regimes of electric power systems based on multi analysis / V. M. Suleymanov, V. A. Bazhenov, T. L. Katsadze // Hidroenergetika Ukrainy. – 2009. – №3. – С. 42–45 (Ukr).
9. Suleymanov V. M. The choice of optimal schemes of construction and modes of power systems based on multicriterial analysis – (Report of SRW UkrNTII № 0209U010893) / V. M. Suleymanov, V. A. Bazhenov, T. L. Katsadze. – Kyiv: NTUU “KPI”, 2009. – 128 с (ukr).

**УДК 621.311.22:504.054**

**В. М. Сулейманов**, канд. техн. наук, проф., **О. М. Янковська**, ст. викл.

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

**КОМПЛЕКСНЕ ВИРІШЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ**

**ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ ІЗ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ТА ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ,  
ЛЕТУЧИХ РЕЧОВИН В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ**

*Стаття присвячена розв'язанню оптимізаційної задачі обґрунтування робочого режиму електроенергетичної системи. Доведено, що вибір та обґрунтування робочого режиму електроенергетичної системи має ґрунтуватися та поєднанні розв'язання комплексних техніко-економічної та екологічної задач, причому плату за забруднення навколишнього середовища слід зарахувати до складу виробничих витрат енергетичного підприємства. Показана особлива актуальність розглянутої задачі для теплових електростанцій, розташованих поблизу великих мегаполісів і промислових центрів, де спостерігаються відносно короткі періоди особливо несприятливого погіршення метеоумов, які закономірно повторюються та викликають різке збільшення концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря. Розроблено математичні моделі збитків від забруднення приземного шару атмосфери, у тому числі викидами летючих твердих речовин, сірки, оксидів азоту і ванадію. Показано, що критерій, що характеризує ступінь забруднення атмосфери носить тимчасовий характер.*

**Ключові слова:** електроенергетична система, оптимізація, теплова електростанція, викиди, збиток від забруднення, концентрація забруднюючих речовин.

Надійшла 04.02.2016

Received 04.02.2016

## ВИБІР ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА

*В роботі розглядаються принципи побудови систем контролю шкідливих та небезпечних факторів, які засновані на принципах реалізації адаптивних системи збору і передачі інформації. Сукупність джерел інформації контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища розглядається як набір датчиків випадкових процесів. Розглянута структура багатоканальної адаптивної системи, а також структура адаптивної системи з буферним запам'ятовуючим пристроєм. Показано, що для побудови системи контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища доцільним є використання адаптивних принципів побудови системи з буферними запам'ятовуючими пристроями.*

**Ключові слова:** небезпечні та шкідливі фактори, виробниче середовище, адаптивні системи.

**Вступ.** У системах контролю параметрів виробничого середовища важливим є оперативне отримання достовірної інформації, що значною мірою обмежується пропускнуною спроможністю каналів зв'язку. Існують системи передачі даних за принципом фіксованого розподілу пропускнуною спроможності каналу та адаптивні системи.

Для збільшення ефективності використання каналів зв'язку важливим є виключенням з передачі повідомлень, що не представляють інтересу. При цьому доля пропускнуною спроможності каналу зв'язку, що виділяється кожному джерелу повідомлення, величина змінна. Принципи перерозподілу пропускнуною спроможності каналу зв'язку між джерелами повідомлень реалізують адаптивні системи збору і передачі інформації [1-4].

**Метою роботи** є побудова системи контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, в основу якою покладені принципи реалізації адаптивних систем збору і передачі інформації.

**Викладення основного матеріалу.** Сукупність джерел інформації (датчиків) контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища можна розглядати як набір датчиків випадкових процесів. Розглянемо випадок сукупності джерел незалежних кусочно-стаціонарних процесів з рівномірним спектром, ширина якого у кожного з джерел є випадковою функцією часу  $F_i(t)$ , але на кожному з інтервалів стаціонарності значення цієї функції фіксоване і дорівнює випадковій величині  $F_i$ . При передачі повідомлень відмінність процесів  $\varepsilon(t)$  і  $\varepsilon^*(t)$  визначає абсолютне значення сумарної похибки відновлення :

$$y(t) = \varepsilon^*(t) - \varepsilon(t). \quad (1)$$

Тоді, нижня межа  $i$ -го джерела на пропускну спроможність каналу визначається [2,3]

$$C_i = F_i \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\delta_i^2} \right), \quad (2)$$

де  $\delta_i^2$  - відносна середньоквадратична похибка відновлення процесу  $i$ -го джерела, а для сукупності джерел

$$C_\Sigma = \sum_{i=1}^{n_c} F_i \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\delta_i^2} \right) \quad (3)$$

Оскільки параметри, що характеризують нестационарну сукупність джерел змінюються в часі за випадковим законом, то і нижня межа необхідної пропускнуною спроможності також змінюється за випадковим законом з шириною спектру  $F_i(t)$  тобто

$$C_\Sigma(t) = \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\delta^2} \right) \sum_{i=1}^{n_c} F_i(t) = \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\delta^2} \right) F_\Sigma(t), \quad (4)$$

де  $\delta_i = \delta$  виходячи з припущення, що необхідна точність передачі для усієї сукупності однакова.

Для великої кількості датчиків можна зробити допущення про нормалізацію розподілу  $F_{\Sigma}(t)$  причому

$$F_{\Sigma c} = \sum_{i=1}^{n_c} F_{ic} \quad (5)$$

де  $F_{ic}$  - момент розподілу випадкової величини  $F_i$ .

У неадаптивних системах виділяється незмінна в часі доля пропускної спроможності каналу зв'язку, розраховуючи на максимальне з можливих значень ширини спектру процесу, тобто сумарна інформаційна смуга дорівнює сумі максимально можливих смуг джерел  $n_c$

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_c} F_{i \max} \quad (6)$$

Відповідно до принципу роботи неадаптивної системи

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_c} F_{i \max} = n_c F_{\max} \quad (7)$$

Адаптивні системи мають властивість автоматичного перерозподілу пропускної спроможності каналу зв'язку між окремими джерелами з урахуванням поточної смуги їх спектру.

Оцінимо можливий виграш в необхідній пропускній спроможності каналу зв'язку адаптивної системи в порівнянні з неадаптивною.

Введемо параметр  $a$  що характеризує величину нестационарності процесу

$$a = \frac{F_{\max}}{F_c} \quad (8)$$

Параметр  $a$  кількісно визначає величину надмірності, що вноситься нестационарністю процесу при передачі його по неадаптивній системі, коли джерелу призначається частота опитування, виходячи з величини  $F_{\max}$ .

Для адаптивної системи згідно [4]

$$\begin{cases} F_{\Sigma c} = n_c F_c; \\ a_{F\Sigma}^2 = n_c a_F^2. \end{cases} \quad (9)$$

де

$$\begin{cases} F_{\Sigma c} = \frac{n_c F_{\max}}{a}; \\ a_F^2 = n_c F_{\max}^2 \frac{2a-3}{3a^2}. \end{cases} \quad (10)$$

Якщо для адаптивної системи прийняти, що

$$F_{\Sigma \max} = F_{\Sigma c} + 3a_{F\Sigma} = n_c F_c + \sqrt{n_c a_F} \quad (11)$$

Отримаємо, що пропускна спроможність каналу для адаптивної системи в  $k_a$  раз більше, ніж для не адаптивної

$$k_a = \frac{n_c F_{\max}}{n_c F_c + \sqrt{n_c a_F}} = \frac{a}{1 + \sqrt{\frac{3(2a-3)}{n_c}}} \quad (12)$$

На рисунку 1 представлені залежності виграшу адаптивної системи від числа джерел при різній мірі нестационарності процесів джерел  $a = F_{\max} / F_c$ .

Ефективність тим вище, чим вище міра нестационарності джерел і чим більше число джерел обслуговує систему збору інформації.

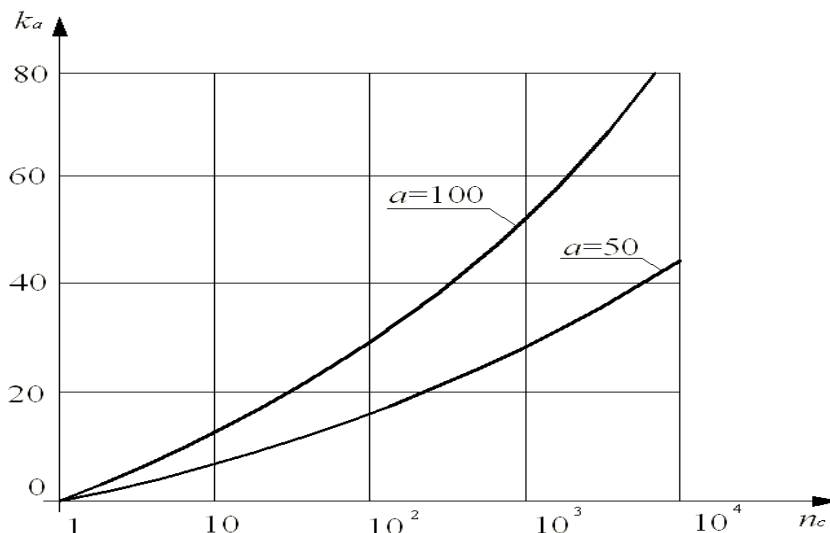


Рисунок 1 – Залежність виграшу адаптивної системи від кількості датчиків

У багатоканальних системах, що використовують цифрові канали зв'язку, повідомлення джерел піддаються дискретизації за часом і по амплітуді. Питання оптимального кодування безперервних повідомлень досить добре висвітлені в літературі [5].

У загальному випадку багатоканальну адаптивну систему збору і передачі інформації можна представити блок-схемою, показаною на рисунку 2.



Рисунок 2 – Структура багатоканальної адаптивної системи

Випадкові процеси  $\xi_1(t), \dots, \xi_{nc}(t)$  датчиків  $D_1, \dots, D_{nc}$  поступають на вхід регуляторів  $P_1, \dots, P_{nc}$  інтенсивності потоку відліків і далі через пристрій узгодження ПУ, канал зв'язку на пристрій відновлення  $D_1, \dots, D_{nc}$   $PВ_1, \dots, PВ_{nc}$ .

Регулятор в адаптивній системі є принципово новим елементом. В якості регулятора інтенсивності може використовуватися будь-який пристрій кодування.

Встановлено [6,7], що злиття потоків від великого числа джерел, як правило, веде до того, що сумарний потік відліків на виході регуляторів виявляється пуассонівським.

Узгодження випадкового потоку із структурою сигналу каналу зв'язку здійснюється ПУ. Найбільш поширеними варіантами ПУ являються пристрої, що використовують буферну пам'ять. Існують ПУ і без буферної пам'яті. При цьому скорочується загальна місткість пам'яті і груповий алгоритм. Проте такі ПУ вимагають підвищеної швидкості передачі інформації і каналу зв'язку.

Однією з особливостей багатоканальних адаптивних систем є наявність адресної частини в передавальних повідомленнях.

Втрати інформації в таких системах залежать як від інтенсивності потоку  $\lambda$  так і від кроку дискретизації  $(\Delta)$  [8], який обмежує максимальний цикл опитування. Остання обставина призводить до збільшення втрат інформації при збільшенні кількостей датчиків, що призводить до збільшення середнього числа повідомлень, які виводяться за один цикл. Для зменшення вірогідності втрат інформації

використовуються системи з буферним запам'ятовуючими пристроями. Розглянемо принципи побудови таких систем.

Для передачі випадкового потоку повідомлень по каналу зв'язку із заданою структурою сигналу, здійснюються перетворення цього потоку до виду, зручного для передачі. Завдання аналізу формулюється в термінах теорії масового обслуговування.

У загальному випадку блок-схема адаптивної системи з буферним запам'ятовуючим пристроєм (БЗП), представлена на рисунку 3.

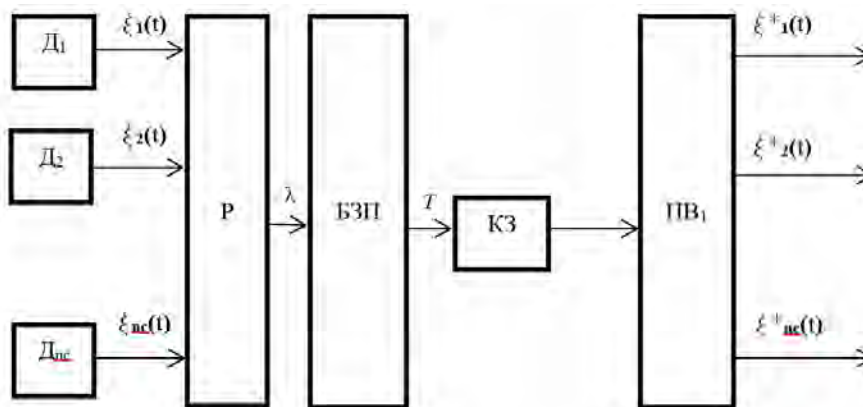


Рисунок 3 – Структура адаптивної системи з БЗП

Сумарний потік істотних відліків після обробки в регуляторі Р поступає у БЗП місткістю  $N$  повідомлень, звідки в порядку загальної черги через регулярні проміжки часу виводиться в канал зв'язку КЗ на передачу. У системі можливі втрати інформації із-за переповнювання БЗП, а також затримки переданих повідомлень через випадкову довжину черги на передачу. Якщо до моменту чергового виведення повідомлення БЗП виявляється порожнім, то має місце холостий хід.

Нехай на вхід БЗП ємністю  $n$  комірок поступають повідомлення, кожне з яких запам'ятовується у своїй комірці. У певні моменти  $kT(k=1,2,3,...)$  повідомлення в порядку черговості виводяться на передачу в канал зв'язку. Якщо повідомлення застає усі комірки зайнятими, то воно втрачається. Потік повідомлень, що поступає на вхід БЗП, є сумарним потоком усієї сукупності джерел. Такий потік може вважатися Пуассонівським.

Розглянемо систему в моменти  $kT=0$ , передуючі виведенню чергового повідомлення із БЗП. Вважаємо, що перехідні процеси закінчилися, тобто  $k \gg 1$ . Число повідомлень, наявних у БЗП в дані моменти часу, названі станом системи [1]. Число станів системи рівне  $N+1(0,1,2,...,N)$ . Вірогідність переходу з одного стану в інший позначається  $P_{ij}$ . При  $i > j+1$   $P_{ij} = 0$ . Враховуючи, що число повідомлень за час  $T$ , розподілено за законом Пуассона [1].

$$P_k(T) = e^{-\lambda T} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \quad (13)$$

Визначимо вірогідність втрати інформації із-за перерозподілу БЗП. Розглянемо роботу системи за досить велику кількість тактів  $Q$ . За цей час з системи було виведено  $Q(1-P_0)$  повідомлень, а поступило в систему  $\lambda QT$  повідомлень. Відношення числа втрачених повідомлень до загального числа повідомлень, що поступили при рівній імовірності втрати :

$$P_{emp} = \lim_{Q \rightarrow \infty} \left[ \frac{\lambda QT - Q(1-P_0)}{\lambda QT} \right], \quad (14)$$

або

$$P_{emp} = 1 - \frac{1-P_0}{\lambda T} \quad (15)$$

На рисунку 4 представлена вірогідність холостого ходу системи з БЗП, а на рисунку 5 вірогідності втрати повідомлень. З рисунка 4 видно, що величина  $P_0$  із зростанням  $N$  швидко прагне до свого граничного значення рівного  $1-\rho$  при  $\rho < 1$  і 0 при  $\rho > 1$  ( $\rho = \lambda T$ ). Величина втрат повідомлень залежить від величини завантаження системи і від об'єму БЗП. Причому при  $\rho \leq 1, P_{emp}$  можна зробити досить малим за рахунок збільшення об'єму БЗП, а при  $\rho > 1$  існує граничне значення  $P_{emp} = (\rho - 1)/\rho$ . Показано [1], що оптимальною величиною завантаження є  $\rho = 0,8 \div 1,0$ .



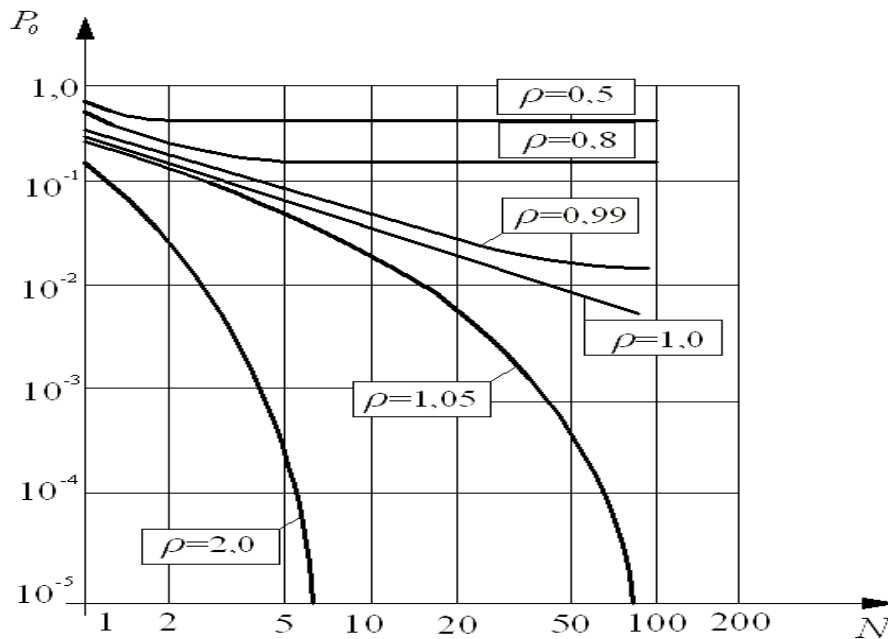


Рисунок 4 – Імовірність холостого ходу системи з БЗП

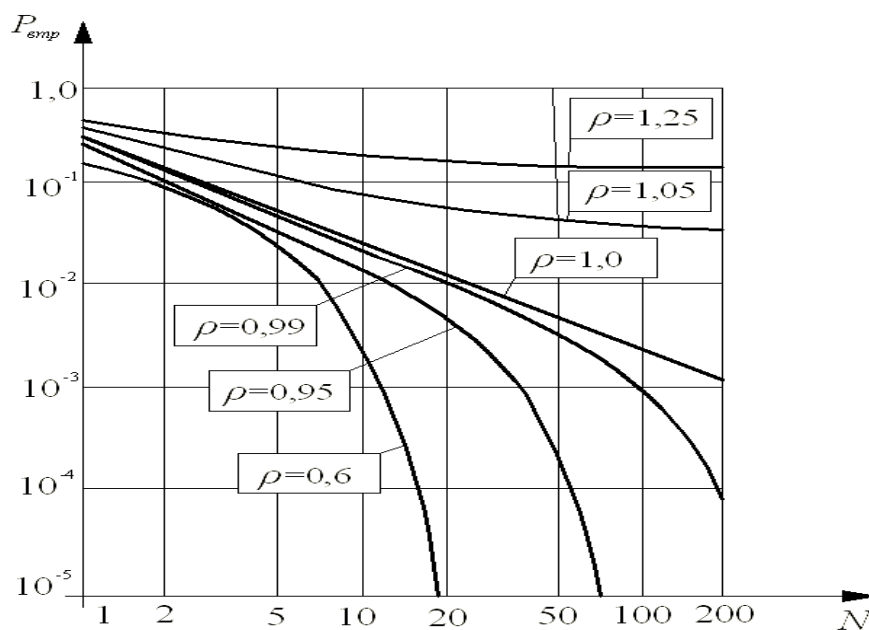


Рисунок 5 – Імовірність втрати інформації системи з БЗП

Таким чином, показано, що величина втрат повідомлень від інтенсивності поступлення вхідної інформації, а також від об'єму пам'яті БЗП, причому величину втрат можна суттєво зменшити за рахунок збільшення об'єму пам'яті БЗП.

**Висновок.** Проведений аналіз показав, що для побудови системи контролю шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища доцільним є використання адаптивних принципів побудови системи з буферними запам'ятовуючими пристроями, як таких що мають найменшу вірогідність втрат вхідних повідомлень. Запропонована структура системи досить гнучка і дозволяє реалізувати різні алгоритми роботи, має високу міру адаптації до зміни умов (рівнів нормальних і аварійних режимів роботи виробничої системи).

#### Список літератури

1. Калашников И. Д. Адаптивные системы сбора и передачи информации [Текст]/ Калашников И. Д., Степанов В. С., Чуркин А. В. - М.: Энергия, 1975. -240с.

2. Клюев Н. И. Информационные основы передачи сообщений [Текст]/ Клюев Н. И. - М.: Советское радио, 1966. - 360с.
3. А.Н.Дядюнов. Адаптивные системы сбора и передачи аналоговой информации. Основы теории [Текст]/ /А.Н.Дядюнов, Ю.А.Онищенко, А.И.Сенин. - М.: Машиностроение. 1988. – 288 с.
4. Антонюк Е. М. Оптимальный выбор передающего устройства адаптивной телеизмерительной системы/ Антонюк Е. М., Чекмарев О. А. // Приборостроение, 1983, №8, - С. 3-7.
5. Липкин И. А. Основы статистической радиотехники, теории информации и кодирования [Текст]/ Липкин И. А. - М.: Советское радио, 1978. - 240с.
6. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст]/ Гнеденко Б. В., Коваленко И. К. - М.: Наука, 1966. - 431с.
7. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания [Текст]/ Хинчин А. Я. - М.: Физматгиз, 1963. - 236с.
8. К.Н. Ткачук. Контроль состояния электротехнического оборудования / К.Н. Ткачук, В.В. Калинчик // *Енергетика: економіка, технологія, екологія* – 2013. - №1. – С. 64 – 70.

V. Kalinchyk

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

### SELECTION GUIDELINES FOR CREATING HAZARDS ENVIRONMENT FACTORS CONTROL SYSTEM

*The paper describes the principles of hazards control systems construction that are based on the principles of the implementation of adaptive systems for collecting and transmitting information. The assembly of information sources monitoring hazards factors of the working environment is regarded as a set of random processes. The structure of the multichannel adaptive system and the structure of the adaptive system with a buffer memory were considered. It was proved that for the construction of production environment hazards factors control system it was appropriate the use of adaptive principles of creating system with buffer storage devices.*

**Keywords:** dangerous and harmful factors, hazards factors, the production environment, adaptive systems.

#### References

1. Kalashnikov I. D. Adaptive systems for the collecting and transmitting information [text] / Kalashnikov I.D., Stepanov V.S., Churkin A.V. - М.: Energia, 1975. -240 p.
2. Klyuev N.I. Information bases of messaging [text] / Klyuev N.I. - М.: Sovietskoe radio, 1966. – 360 p.
3. A.N. Dyadyunov. Adaptive systems for collecting and transmitting analog information. Fundamental theory [text] / /A.N. Dyadyunov, Y.A. Onischenko, A.I. Senin. - М.: Mashinostroenie. 1988. - 288 p.
4. Antoniuk E.M. Optimal choice of transmitting device of adaptive telemetric system / E.M. Antoniuk, O. A. Chekmarev // *Priborostroenie*, 1983, №8, - p. 3-7.
5. Lipkin I.A. Fundamentals of statistical radio engineering, information theory and coding [text] / Lipkin I.A. - М.: Sovietskoe radio, 1978. – 240 p.
6. Gnedenko B.V. Introduction to queuing theory [text] / Gnedenko B.V., Kovalenko I.K. - М.: Nauka, 1966. – 431 p.
7. Khinchin A. Y. Works on mathematical queuing theory [text] / Khinchin A. Y. - М.: Fizmatgiz, 1963. – 236 p.
8. K.N. Tkachuk. Status monitoring of electrical equipment / K.N. Tkachuk, V.V. Kalinchyk // *Energetica: ekonomika, tehnologiya, ekologiya* - 2013. - №1. - P. 64 - 70.

УДК 658.26

В.В. Калинчик

### Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» ВЫБОР ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ

*В работе рассматриваются принципы построения систем контроля вредных и опасных факторов, которые основаны на принципах реализации адаптивных системы сбора и передачи информации. Совокупность источников информации контроля вредных и опасных факторов производственной среды рассматривается как набор датчиков случайных процессов. Рассмотрена структура многоканальной адаптивной системы, а также структура адаптивной системы с буферным запоминающим устройством. Показано, что для построения системы контроля вредных и опасных факторов производственной среды целесообразным является использование адаптивных принципов построения системы с буферными запоминающими устройствами.*

**Ключевые слова:** опасные и вредные факторы, производственная среда, адаптивные системы.

Надійшла 01.12.2015

Received 01.12.2015

### ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Для публікації в журналі "Енергетика: економіка, технології, екологія" приймаються статті, надруковані на стандартних аркушах паперу А4 (в 2-х примірниках), що супроводжуються електронною версією (Microsoft Word 2003 або 2007) на CD/DVD дисках, USB-флеш накопичувачах або надіслані електронною поштою.

Мова статті обирається автором. Параметри сторінки: поля верхні, нижні, ліві та праві – 2,5 см. Вирівнювання основного тексту – за шириною. Перші рядки всіх абзаців – з відступом 0,6 см, шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал 1. Назва статті друкується великими напівжирними літерами – кегль 14. Заголовки елементів основного тексту виділяються напівжирним шрифтом.

Структура статті: 1) номер УДК (у верхньому лівому кутку сторінки, напівжирним шрифтом); 2) ініціали, прізвища авторів (великими літерами) та відомості про авторів (науковий ступінь, вчене звання, посада, повна назва організації, адреса організації) - вирівнювання за правим краєм; 3) назва статті (у центрі); 4) реферат обсягом від 1000 до 1100 знаків повинен відображати короткий зміст статті, не повторювати назву, не містити загальних фраз та бути структурованим (мета дослідження, методика реалізації, результати дослідження, висновки, ключові слова (6–8 слів), словосполучення «Ключові слова» – напівжирним; 5) основний текст статті; 6) перелік літератури; 7) п.2, 3, 4, 6 – англійською мовою; 8) номер УДК, п.2,3,4 російською/українською, якщо основний текст представлено українською/російською мовою.

Відповідно до постанови Президії ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003р. до друку приймаються наукові статті, що мають такі елементи: **Вступ** (постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується зазначена стаття); **Мета та завдання** (формулювання цілей статті, постановка завдання); **Матеріал і результати досліджень** (виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів з можливим поділом його на частини з відповідними назвами); **Висновки** (зазначити основні висновки з даного дослідження та перспективи його подальшого розвитку в цьому напрямку).

Для надання відомостей про авторів англійською мовою слід використовувати загальноприйнятну лексику перекладу наукових ступенів, вчених звань, посад та місця роботи. **Англомовна анотація за обсягом рекомендується більшою за українську (російську)**, оскільки для закордонних вчених анотація є, як правило, єдиним джерелом інформації про зміст статті.

*Обсяг статті*, включаючи текст, таблиці, рисунки, не має перевищувати 6–8 сторінок. **Сторінки повністю заповнені текстом**. Схеми, рисунки й таблиці повинні бути пронумеровані та розміщені в тексті після посилань на них. Матеріал має бути викладений стисло, без повторювань даних таблиць і рисунків у тексті. Неприпустимо використовувати такі елементи форматування як «розрив розділу з нової сторінки» та колонтитули. Стаття має бути ретельно перевірена та підписана всіма авторами.

*Рисунки* (діаграми, фото тощо) подаються у чорно-білому зображенні разом із текстом, у місцях посилань на них. **Вимога до графічних матеріалів: будь-яка ілюстрація повинна бути єдиним нерозривним графічним об'єктом**. Рисунок має бути розташований у центрі, без обтікання текстом. Підписи до рисунків повинні містити нумерацію в порядку розміщення в тексті та пояснювальний підпис. Неприпустимо включати підписи до самого рисунка.

*Формули* в статтях мають бути набрані за допомогою редактора формул (внутрішній редактор формул у Microsoft Word). Кириличні та грецькі символи мають бути набрані прямим шрифтом, латинські літери - похилим. Виняток становлять символи операторів і стандартних функцій, які набираються прямим шрифтом. Нумерація формул, на які є посилання в тексті, – справа в дужках. Цілі частини від десяткових відокремлюються комою.

*Список літератури* наводиться в порядку посилань у тексті відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Посилання на літературні джерела в тексті наводяться у квадратних дужках. Список використаних джерел подається двічі: мовою оригіналу й англійською. У англомовному списку літератури (References) прізвища та назви журналу, видавництва подаються згідно з правилами транслітерації, відповідно до Постанови КМУ від 27 січня 2010 р. №55 (для української мови) або вимогам системи BGN/HCGN (для російської мови). **Назви статті, книги перекладаються англійською мовою.**

*В окремому файлі надаються відомості про авторів*: прізвище, ім'я та по-батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи (повна назва організації без скорочень, адреса, місто, країна), контактні телефони та електронна пошта

Відповідальність за зміст статті несуть автори. Остаточне рішення щодо друку статей ухвалює редколегія. Редакція залишає за собою право проводити скорочення та редакційну правку статей.

**Статті, які не відповідають вимогам редакції журналу "Енергетика: економіка, технології, екологія" не розглядаються.**

Контакти: тел. (38-044) 406-85-14, <http://energy.iee.kpi.ua>, e-mail: [krav@iee.kpi.ua](mailto:krav@iee.kpi.ua)