

ISSN 1813-5420

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія



Науковий журнал

№ 2 – 2016

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія

Науковий журнал

№ 2 (44) - 2016

Виходить 4 рази на рік
Заснований у березні 2000 року

Засновник
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

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

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ: Е. Хандшин (*Дортмундський технічний університет, інститут енергетичних систем та економіки енергетики, Німеччина*), Ричард Стржелецкі (*Інститут електротехніки, Варшава, Польща*), П.Я. Екель (*Папський католицький університет Мінас Жерайс, Бразилія*), Димитрос Мавракіс (*Національний університет м. Афіни, Греція*), А.В. Кузнєцов (*Університет штату Північна Кароліна, США*), Карлос Ф. Пфайфер (*Університетський коледж Південно-Східної Норвегії*)

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 баз даних «Наукова періодика України» НБУВ, Google Scholar, WorldCat, BASE, OpenAIRE, PИHЦ, Джерело, URAN, Open Academic Journal Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, International Institute of Organized Research (I2OR), Academic Keys, General Impact Factor, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, електронного архіву наукових матеріалів ELAKPI. Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (протокол № 6 від 16 травня 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

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

№ 2 (44) - 2016

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

Founder
National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute»

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:
(Ukraine) A.O. Avramenko, B.I. Basok, O.O. Vovk, A.V. Voloshko, V.I. Deshko, V.Ya. Zhuykov, L.O. Kesova, M.V. Kosteriev, S.O. Kudrya, V.F. Nahodov, M.Ya. Ostroverkhov, S.M. Peresada, V.A. Popov, K.K. Tkachuk, V.O. Tuz, N.M. Fialko, O. Yu. Chernousenko, S.P. Shevchuk, V.F. Shinkarenko, A.A. Shcherba

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 Mavraklis (*University of Athens, Greece*), A.V. Kuznetsov (*North Caroline State University, USA*), Carlos F. Pfeiffer (*University College of Southeast Norway*)

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 databases «Scientific Periodicals of Ukraine», Google Scholar, WorldCat, BASE, OpenAIRE, RSCI, Djerelo, URAN, Open Academic Journal Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, International Institute of Organized Research (I2OR), Academic Keys, General Impact Factor, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, electronic archive of research materials ELAKPI. Passed for printing under recommendation of Academic Council of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" (protocol № 6 on May 16, 2016).

Proofreading V.G. Smoliar.
Desktop publishing P.O. Zamkoviy. 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
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

- В.О. Бржезицький, В.М. Сулейманов, Є.О. Троценко, В.І. Хомініч, А.Г. Кулакевич.** Експериментальне дослідження електричного поля повітряної лінії електропередавання змінного струму класу 330 кВ..... 7
- М.М. Федосенко, П.В. Кудієв, В.В. Віннічук.** Визначення оптимального числа і місць розташування підстанцій міських розподільних мереж електропостачання..... 13
- В.П. Розен, І.Г. Хомаківський.** Керування електричним навантаженням з використанням прогнозних моделей Хольта-Вінтерса..... 17

SMART GRID СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

- С.П. Денисюк, Д.С. Горенко.** Аналіз проблем впровадження віртуальних електростанцій..... 25

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА АУДИТ

- В.І. Дешко, О.М. Шевченко, М.М. Шовкалюк, І.О. Суходуб, М.І. Сотник, Н.П. Соколова.** Досвід створення та функціонування системи енергоменеджменту у ВНЗ..... 34

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

- М.М. Вознюк, В.А. Рогачов, О.М. Терех, О.В. Баранюк.** Теплообмін пакетів плоскоовальних оребрених труб в умовах вільної конвекції і природної тяги..... 46
- Т.В. Бібік, Є.В. Новаківський, І.В. Копчинська.** Дослідження можливостей використання датчиків поточного контролю радіаційного випромінювання під час перевезення радіоактивних матеріалів..... 54
- В.І. Коньшин, Т.О. П'янков.** Обґрунтування використання методології граничної сейсмостійкості при кваліфікації обладнання АЕС на сейсмостійкість..... 59
- А.Ю. Мезеря.** Снижение погрешности измерений гидравлических характеристик энергетического оборудования электростанций..... 63

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ

- С.П. Шевчук, С.В. Зайченко, В.О. Поліщук, В.М. Гарнець.** Кінематика ресурсозберігаючого підйомного комплексу з мехатронною системою мінімізації динамічних навантажень привода..... 70
- О.О. Закладний, А.О. Луц.** Визначення технічного стану електромеханічної системи енергетичними методами..... 76
- І.В. Притискач.** Параметрична ідентифікація моделей діагностичних параметрів у системах діагностування силових трансформаторів..... 82

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ

- В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д.А. Мединцева.** Аналіз длительности и границ существующих тарифных зон суток..... 88
- К.В. Чернуха, В.В. Дубровська, В.І. Шкляр.** Аналіз економічної доцільності використання біомаси сільськогосподарським підприємством..... 98

СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- І.Л. Трофімов, А.В. Яковлєва, О.В. Іванченко, Л.С. Всрягіна.** Аналіз потенціалу твердих побутових відходів як сировини для виробництва альтернативних палив в Україні..... 105
- Вимоги до оформлення статей..... 112

CONTENTS

ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

- V.O. Brzhezitskiy, V.M. Suleymanov, Ye.O. Trotsenko, V.I. Hominich, A.G. Kulakevich.** Experimental study of the electric field of 330 kV high voltage alternating current overhead transmission line 7
- M.M. Fedosenko, P.V. Kudiiiev, V.V. Vinnichuk.** Determination of the optimal number and location of distributing city power networks substations. 13
- V. Rozen, I. Khodakivskiy.** Electric load management trough the use of predictive models Holt-Winters. 17

SMART GRID SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

- S.P. Denysiuk, D.S. Horenko.** Analysis problems of implementation virtual power plants 25

ENERGY MANAGEMENT AND AUDIT

- V.I. Deshko, O.M. Shevchenko, M.M. Shovkaliuk, I.O. Sukhodub, M.I. Sotnyk, N.P. Sokolova.** Energy management system establishing and functioning experience in universities 34

ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

- M.M. Vozniuk, V.A. Rogachov, A.M. Terekh, A.V. Baranyuk.** Heat transfer of flat-oval finned tube bundles under conditions of free convection and natural draft 46
- T.V. Bibik, Y.V. Novakivskyy, I.V. Kopchinskay.** Research use sensors current control radiation during transport of radioactive materials 54
- V. Konshyn, T. Piankov.** Justification for the use the methodology of seismic margin assessment at qualification of NPP equipment seismic resistance 59
- A. Mezerya.** Reduction to inaccuracy of the measurements of the hydraulic features of the energy equipment of power plant station 63

MONITORING, DIAGNOSTIC AND MANAGEMENT OF POWER PROCESSES AND EQUIPMENT

- S.P. Shevchuk, S.V. Zaychenko, V.O. Polishchuk.** Kinematics resource saving lifting complex mechatronic systems minimize dynamic loads drive 70
- O.O. Zakladnyi, A. Lutc.** Definitions of technical electromechanical system using energy methods 76
- I. Prytyskach.** Parametric identification of diagnostic parameters models in power transformers diagnostic systems 82

ECONOMIC ASPECTS OF POWER-ENGINEERING

- V.F. Nakhodov, A.I. Zamulko, Mohammad Al Sharari, D.O. Medintseva.** Analysis of duration and border of existing tariff zones 88
- K.V. Chernuha, V.V. Dubrovska, V.I. Shklyar.** Economic feasibility analysis of using biomass by agricultural enterprises 98

ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

- I.L. Trofimov, A.V. Iakovlieva, O.V. Ivanchenko, L.S. Vieriyagina.** Analysis of municipal solid waste potential for production of alternative fuels in Ukraine 105

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

УДК 621.315.1

В.О. Бржезицький, д-р техн. наук, проф., **В.М. Сулейманов**, канд. техн. наук, проф.,
Є.О. Троценко, канд. техн. наук, доц., **В.І. Хомініч**, канд. техн. наук, доц., **А.Г. Кулакевич**, магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ ЗМІННОГО СТРУМУ КЛАСУ 330 кВ

Наведено експериментальні значення напруженості електричного поля на висоті 1,8 м від поверхні землі в зоні електромагнітного впливу високовольтної повітряної лінії класу 330 кВ на проміжному прогоні довжиною 400 м між двома опорами типу ППОД-8 (П330-9) з підвісними гірляндами (19 підвісних лінійних ізоляторів типу ПС-120), розщепленою фазою (2хАС 330/39) з кроком розщеплення 0,4 м. Як засіб діагностики використаний прилад ВНЕП-50 з діапазоном вимірювання 0,5...48 кВ/м. Межі припустимої основної зведеної похибки на основному діапазоні вимірювання (від 3 до 48 кВ/м) - не більше ± 10 , на додатковому діапазоні (від 2 до 0,5 кВ/м) - не більше $\pm 20\%$. Проведено порівняння одержаних значень напруженості з розрахунковими та нормативними даними. Визначено напрямок подальших досліджень.

Ключові слова: напруженість електричного поля, високовольтні повітряні лінії електропередавання, екологічний вплив, санітарно-захисні та охоронні зони, гранично допустимі норми напруженості, прилад ВНЕП-50

Вступ. Необхідність здійснення більш ефективного постачання електроенергії під час прогресивного зростання її споживання у світі гостро ставить проблему збільшення пропускної здатності високовольтних повітряних ліній електропередавання (ПЛ). При цьому виникає вимога оптимізації величин зон відчуження ПЛ, яка є особливо критичною при необхідності глибокого вводу високої напруги у великі міста та перетині трасою ПЛ населених пунктів і земель промислового призначення [1]. Одним з основних обмежуючих факторів високовольтного електропередавання є екологічний вплив ПЛ, оскільки електричні установки високої напруги є джерелами потужного електромагнітного випромінювання, що негативно впливає на довкілля та життєдіяльність людини.

Оскільки магнітна складова електромагнітного поля ПЛ при частоті 50 Гц на нормованій відстані від землі, що дорівнює 1,8 м, суттєво не впливає на життєдіяльність людини, за основний параметр дії електромагнітного випромінювання частотою 50 Гц на здоров'я людини в Україні нормативно прийнято напруженість електричного поля, за величиною якої визначено її гранично допустимі рівні (ГДР) та час перебування людини у зонах впливу при різних її значеннях [2, 3]. Відповідно до ГДР введено поняття санітарно-захисної зони (території на висоті 1,8 м від поверхні землі, в межах якої напруженість електричного поля перевищує 1 кВ/м), та охоронної зони (земельної ділянки, яка обмежує мінімально допустимі відстані від джерел випромінювання - високовольтних електроустановок [4-6]).

Аналітичним та чисельним розрахункам величин напруженості електричних полів частотою 50 Гц в зонах дії ПЛ різними методами присвячено значний обсяг наукових публікацій [7, 8]. При цьому слід відзначити, що критерієм достовірності одержаних в різних роботах результатів можуть слугувати тільки експериментальні значення, одержані в результаті прямого фізичного вимірювання напруженості електричного поля у зоні впливу ПЛ.

Мета та завдання. Метою роботи є експериментальне визначення значень напруженості електричного поля ПЛ класу 330 кВ у зоні її впливу, порівняльний аналіз експериментально одержаних та розрахункових значень напруженості електричного поля повздож траси проходження ПЛ, а також визначення відповідності отриманих значень допустимим рівням, які встановлені в нормативних документах та уточнення існуючих методик розрахунку та вимірювань напруженості електричного поля під високовольтними лініями електропередавання з використанням результатів експериментальних досліджень.

Матеріал та результати досліджень. Для вимірювання напруженості електричного поля на висоті 1,8 м від поверхні землі вздовж траси проходження високовольтної ПЛ було обрано один типовий проміжний прогін ПЛ 330 кВ в Київській області, який згідно [6] відповідає 3 району по ожеледі (навантаження ожеледі 15 Н/м при товщині стінки ожеледі 19 мм) та 1 району по вітровому тиску (при його значенні 400 Па/м). Довжина прогону становить 400 м. На прогоні встановлені проміжні опори типу ППОД-8 (ПЗ30-9) (рис. 1, 2) на відтяжках з висотою до точки підвісу гірлянди 25,5 м. У підтримувальних гірляндах використано 19 ізоляторів типу ПС-120 (будівельна висота ізолятора дорівнює 127 мм). Довжина гірлянди для району розташування з другим ступенем забруднення атмосфери, відповідного трасі ПЛ, дорівнює 2,42 м. При цьому висота підвішування проводів від землі становить 23,1 м. У досліджуваній ПЛ використані сталевалюмінієві проводи 2хАС 330/39 з кроком розщеплення 0,4 м та еквівалентним радіусом 0,0657 м. Міжфазна відстань дорівнює 8,2 м. Грунт під опорами – суглинок та супісок з питомим опором $10^2 \dots 3 \cdot 10^2$ Ом·м. Поряд з ПЛ 330 відсутні інші ПЛ, тому результати вимірювань зумовлені тільки проводами цієї лінії та наземними об'єктами, які спотворюють електричне поле, а саме, низкою дерев висотою не більш за 14 м, які ростуть з одного боку ПЛ на відстані 8 м від проекції крайньої правої фази та поодинокими невисокими (висотою не більш за 2м) будівлями вздовж траси.

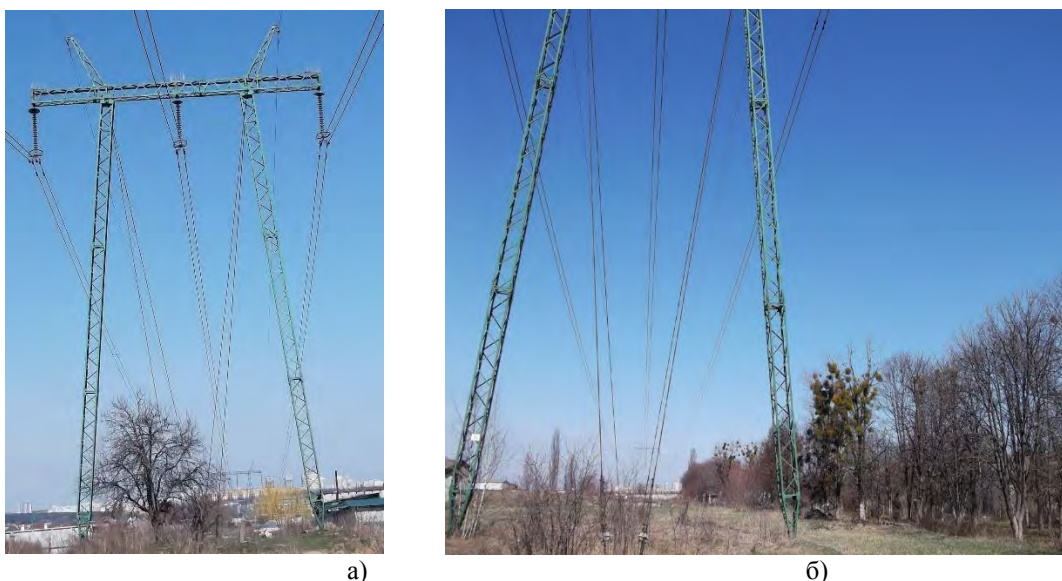


Рисунок 1 - Сталева одноланцюгова проміжна портална опора класу 330 кВ типу ППОД-8 (ПЗ30-9) на відтяжках з гірляндами ізоляторів типу ПС-120 а) фотознімок опори, б) ряд дерев та поодинокий об'єкт, розташовані з правого боку траси досліджуваної ПЛ

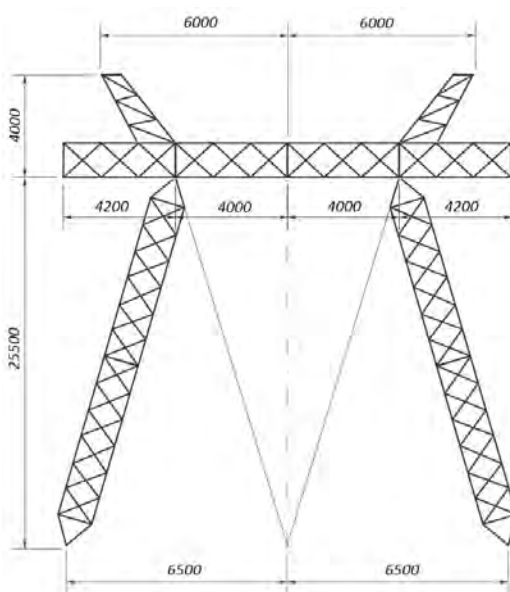


Рисунок 2 – Ескіз опори ППОД-8 (ПЗ30-9)

Дослідження проводилися при середній температурі повітря 20⁰ С.

Як діагностичний засіб було використано атестований в Україні прилад ВНЕП-50 [9, 10] з трьохкомпонентним датчиком для вимірювання середньоквадратичного значення напруженості змінного електричного поля частотою (50±1) Гц. Значення напруженості, які вимірює прилад, не залежать від орієнтації останнього в досліджуваному електричному полі. Діапазон робочих температур приладу - від мінус 10 °С до плюс 40 °С. Прилад дає змогу визначати значення напруженості електричного поля в діапазоні 0,2...48 кВ/м при похибках її вимірювання 10 % у діапазоні 3...48 кВ/м та 20 % - у діапазоні 0,2...5 кВ/м. Для запобігання спотворення оператором вимірюваного електричного поля прилад встановлювали вертикально на ізолюючу штангу висотою 1,8 м, після чого оператор віддалявся від нього на відстань більш за 3 м. У процесі вимірювань проводили перевірку визначення імовірної залежності показань приладу від його просторової орієнтації. Зміни результатів вимірювань досліджуваного електричного поля при цьому не спостерігалося.

Результати досліджень електричного поля повздож половини прогону наведені на рис.3. На горизонтальній вісі крайній лівій фазі відповідає 0 м, середній фазі відповідає 8,2 м, крайній правій відповідає 16,4 м. Вимірювання проводилися під лінією на висоті 1,8 від поверхні землі до відстані 30 м з шагом 5 м від проекції крайньої фази на землю з лівого боку та 5 м від проекції крайньої фази на землю з правого боку.

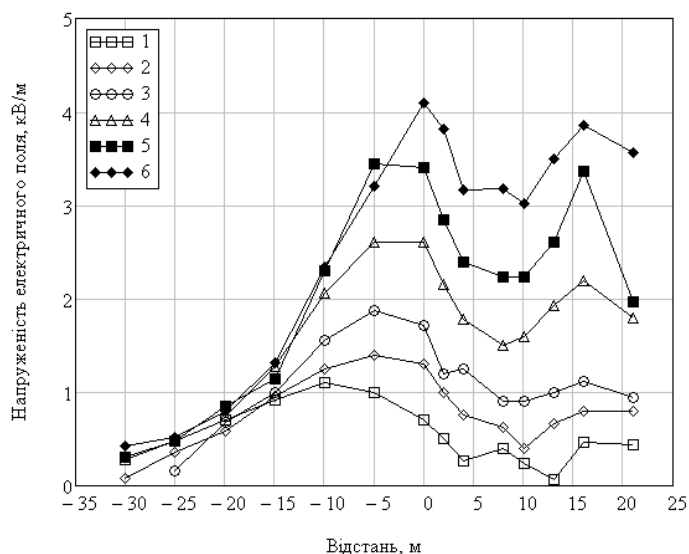


Рисунок 3 - Результати досліджень напруженості електричного поля в зоні впливу ПЛ 330 кВ на висоті 1,8 м від поверхні землі в залежності від відстаней від площини проекції фазного проводу лівої фази у перетині траси ПЛ при відстані від опори:

1 – 0 м; 2 – 20 м; 3 – 40 м; 4 – 100 м; 5 – 138 м; 6 – 200 м (середина прогону)

Криві на рисунку 3 відтворюють характерні особливості розподілення поля в прогоні ПЛ. Так, зі зростанням стріли провисання при віддаленні від опори напруженість електричного поля зростає від 1,2 кВ/м під опорою і досягає свого максимуму 4,1 кВ/м в середині прогону, де відстань між проводами і землею є мінімальною. Порушення симетрії розподілення поля відносно середньої фази і деяке зменшення напруженості поблизу правої з них можна пояснити по-перше, впливом дерев, що ростуть тільки з цього боку ПЛ, (вказане явище відповідає сучасним уявленням [11]), а по-друге - похибкою вимірювання приладом напруженості електричного поля біля сторонніх об'єктів.

Для аналізу та контролю експериментальних результатів вимірювань напруженості електричного поля приладом ВНЕП проводився аналітичний розрахунок їх значень. При цьому був обраний метод еквівалентних зарядів, який завдяки своїй відносній простоті та достатній точності [12-14] набув широкого поширення на практиці для розрахунку електричних полів ПЛ. За методом еквівалентних зарядів визначалася максимальна напруженість в середині прогону, тобто, де проводи максимально наближаються до землі та, окрім того, йдуть практично паралельно землі та один одному. При цьому не враховувався вплив рослинності, яка знаходиться у змінному електричному полі у зоні впливу ПЛ. Експериментальні дані на рисунку 4 наведені з урахуванням меж похибки приладу ВНЕП в робочому діапазоні вимірювання.

Слід відзначити, що похибка приладу є меншою за похибку вимірювань, оскільки при проведенні досліджень не враховувалися провідність поверхні, дія електричного поля Землі на вимірювальний прилад, а також похибки визначення місцезнаходження приладу.

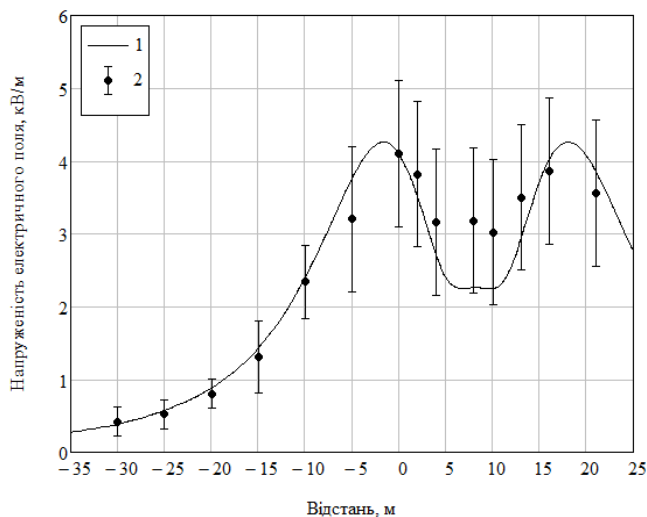


Рисунок 4 – Порівняння результатів вимірювання напруженості електричного поля під лінією електропередачі 330 кВ на висоті 1,8 м від землі з результатами розрахунку за методом еквівалентних зарядів для середини прогону: 1 – результати розрахунку для висоти 11,0 м від осі провідів до землі; 2 – результати вимірювань з урахуванням похибки приладу ВНЕП-50

Крива 1 побудована при припущенні, що відстань між проводами лінії і землею в середині прогону дорівнює 11,0 м, що відповідає найменшій відстані по вертикалі від провідів лінії до поверхні землі для ліній 330 кВ, прокладених в населеній місцевості, і яка нормована в [6]. Як видно з близькості кривих 1 і 2 на рисунку 3, таке припущення є достатньо справедливим.

Порівнявши криві 1 і 2, можна стверджувати, що метод еквівалентних зарядів дозволяє добре оцінити очікуване значення напруженості електричного поля в середині прогону 3 рисунку 4 також видно, що в межах санітарно-захисної зони напруженість електричного поля за температури досліджень не перевищує гранично допустимого рівня 5,0 кВ/м, який встановлений для населеної місцевості [2]. Однак, оскільки з підвищенням температури зростають стріли провисання, слід очікувати зростання максимальних значень напруженості відносно вимірюваних (при температурі досліджень 20°C), до неприпустимих величин.

Досліджувана ПЛ була побудована на початку 1990 років згідно діючими на той час Правилами улаштування електроустановок. При цьому було використано наступне нормативне нормування: по вітровому навантаженню -1 район (40 даН/м²), по ожеледі 3 район (стінка ожеледі – 15 мм). При вказаних умовах і використанні таких самих ізоляційних гірлянд для населеної місцевості максимальна стріла провисання мала дорівнювати 8,0 м, а для ненаселеної – 7,5 м. При використанні діючих на той час нормативів для населеної місцевості та прогоні довжиною 400 м відстань до поверхні землі при температурі 20°C повинна була становити 9,6 м, при температурі 30°C – 9,2 м та при температурі 40°C – 8,9 м.

Однак для нормативних умов, які зараз прийняті в Україні [6], для зони розташування досліджуваної ПЛ слід використовувати більш жорсткі вимоги (третій район по ожеледі при стінці 19 мм; максимальна температура траси 36°C). При цьому найбільша стріла провисання згідно монтажних таблиць має складати 17 м, що відповідає висоті підвішування провідів у 6,5 м. Ця висота є меншою за нормативну як на сьогодні, так і на час побудови ПЛ. Таким чином, напруженості електричного поля, які були закладені при проектуванні досліджуваної ПЛ, не відповідають сучасним вимогам, що потребує її реконструкції.

Висновки

У роботі здійснені вимірювання напруженості електричного поля частоти 50 Гц в межах одного прогону довжиною 400 м траси ПЛ 330 кВ при середній температурі 20°C за допомогою приладу ВНЕП-50.

Максимальне значення напруженості електричного поля під проводами фази в точці максимального наближення провідів фази до землі не перевищує гранично допустимого рівня 5,0 кВ/м. Наземні об'єкти, розташовані поблизу ПЛ, впливають на розподілення поля. Особливо наочно це видно для лінії з горизонтальним розташуванням провідів, коли внаслідок впливу наземних об'єктів, розташованих тільки з одного боку траси ПЛ, порушується симетрія картини поля лінії відносно середньої фази.

Порівняння результатів експерименту та чисельних розрахунків показало, що метод еквівалентних зарядів доцільно використовувати для оцінки рівня напруженості електричного поля високовольтних ПЛ.

Показано, що ПЛ, які побудовані до 2008 р, можуть з високим ступенем імовірності створювати неприпустимі рівні напруженості електричного поля.

На думку авторів, оскільки експериментальний метод дослідження та вимірювання напруженості електричного поля високовольтних ПЛ спрямовано на забезпечення екологічної безпеки людей та довкілля, він має бути відкоригований та введений в нормативну базу як обов'язковий, що потребує створення відповідних експериментальних методик.

Метою подальших досліджень є дослідження та аналіз розподілення електричного поля під лініями надвисокої напруги 330 та 750 кВ, уточнення методики вимірювань та розрахунків електричного поля.

Список використаної літератури

1. Щеглов, Н.В. Современные подходы к совершенствованию и развитию воздушных линий электропередачи / Н.В. Щеглов // Четвертая Российская научно-практическая конференция «Линии электропередачи 2010: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс, 2010. – С. 64-70.
2. ДСНіП №239 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань». – К., 1996. – 18 с.
3. ДСНіП №476 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. – К., 2002. – 12 с.
4. ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». – К., 1998. – 5 с.
5. СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008 «Розрахунок електричного і магнітного поля лінії електропередавання. Методика». – К.: Державне підприємство «Український проектно-вишукувальний та конструкторсько-технологічний інститут «Сільенергопроект», 2008. – 34 с.
6. Правила улаштування електроустановок. 5-те вид., переробл. й доповн. – Х.: Міненерговугілля України, 2014. – 793 с.
7. Javadi, H. Electric field evaluation of 400 kV overhead transmission lines on the earth surface / H. Javadi, A. Mobarhani, A. Ameli // 5th IET International conference on system safety, 2010. – P. 1-5.
8. Carsimamovic, S. Experimental results of ELF electric and magnetic fields of electric power systems in Bosnia and Herzegovina / S. Carsimamovic, Z. Bajramovic, M. Rascic, M. Veledar, E. Aganovic, A. Carsimamovic // IEEE EUROCON – International conference on computer as a tool, 2011. – P. 1-4.
9. Вимірювач напруженості електричного поля ВНЕП. Настапова по експлуатації. – Вінниця: ВСО ВЕТ, 2004. – 10 с.
10. Бржезицький, В.О. Характеристики вимірювача напруженості електричного поля / В.О. Бржезицький, Я.В. Неділько, В.І. Хомініч // Наукові вісті НТУУ "КПІ", 2009. – № 5. – С. 41-44.
11. Suojanen, M. Effect of spruce forest on electric fields caused by 400 kV transmission lines / M. Suojanen, J. Vehmaskoski, S. Kuusiluoma, P. Trygg, L. Korpinen // International conference on power system technology, 2000. – Vol. 3. – P. 1401-1405.
12. Белогловский, А.А. Методы расчета электрических полей в примерах и задачах. Учебное пособие. / А.А. Белогловский, И.В. Пашинин. – М.: МЭИ, 2007. – 82 с.
13. Mujezinovic, A. Electric field calculation around of overhead transmission lines in Bosnia and Herzegovina / A. Mujezinovic, A. Carsimamovic, S. Carsimamovic, A. Muharemovic, I. Turkovic, // International symposium on electromagnetic compatibility (EMC Europe), 2014. – P. 1001-1006.
14. Okrainskaya, I.S. Electromagnetic environment under overhead power transmission lines 110-500 kV / I.S. Okrainskaya, A.I. Sidorov, S.P. Gladyshev // International symposium on power electronics, electrical drives, automation and motion (SPEEDAM), 2012. – P. 796-801.

V.O. Brzhezitskiy, V.M. Suleymanov, Ye.O. Trotsenko, V.I. Hominich, A.G. Kulakevich
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ELECTRIC FIELD OF 330 kV HIGH VOLTAGE ALTERNATING CURRENT OVERHEAD TRANSMISSION LINE

The experimental values of the electric field at a height of 1.8 m from the ground surface in the area of electromagnetic effects of 330 kV high voltage overhead line at the intermediate span length of 400 m between two supports type POD-8 (P330-9) with hanging garlands (19 suspended linear insulators of the type PS-120), split phase (2xAC 330/39) with a step of 0.4 m in cleavage are discussed. As a diagnostic tool used device WNEP-50 with a range from 0.5 to 48 kV/m. The limit of permissible basic error in the primary measurement range (from 3 to 48 kV/m) - not more than ±10%, in the the additional range (from 2 to 0.5 kV/m) - not more than ±20%. A comparison of the experinmental values with the results of calculation and normative data is carried out. The direction of further research is formulated.

Keywords: electric field intensity, high voltage overhead transmission lines, environmental impact, health and safety and security zones, electric field limiting value, the device WNEP-50.

References

1. Scheglov, N.V. (2010). Sovremennyye podhody k sovershenstvovaniyu i razvitiyu vozdushnykh liniy elektroperedachi. Chetvertaya Rossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Liniy elektroperedachi 2010: proektirovanie, stroitelstvo, opyt ekspluatatsii i nauchno-tehnicheskii progress, 64-70.
2. DSNIP #239 (1996). Derzhavni sanitarni normi i pravila zahistu naselennya vid vpyvu elektromagnitnih viprominyuvan.. Kyiv, 18.
3. DSNIP #476 (2002). Derzhavni sanitarni normi i pravila pri roboti z dzherelami elektromagnitnih poliv. Kyiv, 12.
4. DNAOP 0.00-1.21-98 (1998). Pravila bezpechnoy ekspluatatsiyi elektroustanovok spozhivaciyv. Kyiv, 5.
5. SOU-N EE 20.179:2008 (2008). Rozrahunok elektrichnogo i magnitnogo polya liniyi elektroperedavannya. Metodika. Kyiv. Derzhavne pidpriemstvo "Ukrayinskiy proektno-vishukuvalniy ta konstruktorsko-tehnologichniy institut "Silenergoproekt", 34.
6. Pravila ulashtuvannya elektroustanovok (2014). 5-te vid., pererobl. y dopovn. Xarkiv. Minenergogugillya Ukrayini, 793.
7. Javadi, H., Mobarhani, A., Ameli, A. (2010). Electric field evaluation of 400 kV overhead transmission lines on the earth surface. 5th IET International conference on system safety, 1-5.
8. Carsimamovic, S., Bajramovic, Z., Rascic, M., Veledar, M., Aganovic, E., Carsimamovic, A. (2011). Experimental results of ELF electric and magnetic fields of electric power systems in Bosnia and Herzegovina. IEEE EUROCON – International conference on computer as a tool, 1-4.
9. Vimiryuvach napruzhenosti elektrichnogo polya VNEP (2004). Nastanova po ekspluatatsiyi. Vinnitsya. VSO VET, 10.
10. Brzhezitskiy, V.O., Nedilko, Ya.V., Hominich, V.I. (2009). Harakteristiki vimiryuvacha napruzhenosti elektrichnogo polya. Naukovi visti NTUU "KPI", Vol 5., 41-44.
11. Suojanen, M., Vehmaskoski, J., Kuusiluoma, S., Trygg, P., Korpinen, L. (2000). Effect of spruce forest on electric fields caused by 400 kV transmission lines. International conference on power system technology, Vol. 3, 1401-1405.
12. Beloglovskiy, A.A., Pashinin, I.V. (2007). Metodyi rascheta elektricheskikh poley v primerah i zadachah. Uchebnoe posobie. Moscow. MEI, 82.
13. Mujezinovic, A., Carsimamovic, A., Carsimamovic, S., Muharemovic, A., Turkovic, I. (2014). Electric field calculation around of overhead transmission lines in Bosnia and Herzegovina. International symposium on electromagnetic compatibility (EMC Europe), 1001-1006.
14. Okrainskaya, I.S., Sidorov, A.I., Gladyshev, S.P. (2012). Electromagnetic environment under overhead power transmission lines 110-500 kV. International symposium on power electronics, electrical drives, automation and motion (SPEEDAM), 796-801.

В.А. Бржезицкий, д-р техн. наук, проф., **В.Н. Сулейманов**, канд. техн. наук, проф.,
Е.А. Троценко, канд. техн. наук, доц., **В.И. Хоминич**, канд. техн. наук, доц., **А.Г. Кулакевич**, магистрант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
КЛАССА 330 кВ

Приведены экспериментальные значения напряженностей электрического поля на высоте 1,8 м от поверхности земли в зоне электромагнитного влияния высоковольтной воздушной линии класса 330 кВ на промежуточном пролёте длиной 400 м между двумя опорами типа ППОД- 8 (П330-9) с подвесными гирляндами (19 подвесных линейных изоляторов типа ПС-120), расщеплённой фазой (2хАС 330/39) с шагом расщепления 0,4 м. В качестве средства диагностики использован прибор ВНЕП-50 с диапазоном измерения от 0,5 до 48 кВ/м. Предел допустимой основной приведенной погрешности на основном диапазоне измерения (от 3 до 48 кВ/м) - не больше $\pm 10\%$, на дополнительном диапазоне (от 2 к 0,5 кВ/м) - не больше $\pm 20\%$. Проведено сравнение полученных значений напряженностей с расчетными и нормативными данными. Определено направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: напряженность электрического поля, высоковольтные воздушные линии электропередачи, экологическое влияние, санитарно-защитные и охранные зоны, предельно допустимые нормы напряженности, прибор ВНЕП-50.

Надійшла 29.02.2016

Received 29.02.2016

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА І МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ПІДСТАНЦІЙ МІСЬКИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Запропоновано алгоритм вирішення задачі визначення числа і місць побудови підстанцій при вирішенні задачі розвитку міських розподільних мереж електропостачання. Представлено математичну модель реалізації поставленої задачі методами дискретного програмування на основі методу k-середніх.

Ключові слова: міські розподільні електричні мережі; дискретні методи прийняття оптимальних рішень; метод k-середніх.

Вступ. Задача перспективного розвитку міської розподільної мережі електропостачання має на увазі визначення оптимального варіанту розвитку мережі, який враховує темпи розвитку міської інфраструктури [1]. При цьому обирається варіант розвитку мережі, при якому за найменших затрат на її будівництво і експлуатацію буде забезпечений заданий рівень надійності та якості електроенергії, що передається [2].

У зв'язку зі складністю та багатомірністю сучасних електропостачальних мереж, багатоваріантністю та багатокритеріальністю, задача обґрунтування перспективного розвитку міської розподільної мережі електропостачання є погано формалізованою, вимагає для свого розвитку дуже високих обчислювальних затрат, з практичної точки зору є важкоздоланною [3].

В літературі запропоновано велику кількість можливих методів вирішення задач визначення оптимальної кількості та місць встановлення трансформаторних підстанцій та розподільних підстанцій (ТП та РП відповідно). При цьому, як правило, задача ставиться як задача визначення умовного центру електричних навантажень [4-6]. В залежності від методу, в якості цього центру використовують геометричний центр ваги (без урахування потужностей споживачів) або навантажувальний центр ваги (з урахуванням потужностей споживачів).

Значна увага приділена даному питанню і в зарубіжній літературі. Так, в працях [7-8] для вибору оптимального розміщення підстанцій використовується метод віток та границь, у праці [9] для вирішення задачі застосовані методи цілочисельного програмування, праця [10] присвячена вирішенню задачі з використанням методів лінійного програмування. Відомі праці, в яких для визначення місць будівництва нових підстанцій застосовуються евристичні, генетичні та еволюційні алгоритми.

Основними недоліками запропонованих у зазначених публікаціях методах є відсутність обліку обмежень на розміщення нових підстанцій, а також можливість їх використання лише для побудови одиначної підстанції.

Постановка задачі. Задача полягає у визначенні числа та місць розташування нових ТП та РП, будівництво яких необхідне для забезпечення нових споживачів можливістю підключення до мережі енергопостачання.

Всі споживачі, які підключаються до мережі енергопостачання по рівню запитуваної напруги поділені на дві групи – споживачі, підключення яких відбувається до РП на рівні напруги 10 кВ, та споживачі, підключення яких здійснюється до ТП на рівні напруги 0,4 кВ, відповідно. Питання визначення місць будівництва ТП і РП в загальному випадку незалежні один від одного та можуть бути розглянуті послідовно – спочатку для об'єктів одного типу, потім іншого. Розглянутий нижче алгоритм має на увазі вирішення задачі в частині будівництва ТП, однак може бути використаний для вирішення задачі будівництва РП.

Вихідним для задачі є набір споживачів C' , підключення яких до діючих ТП не є можливим в зв'язку з відсутністю у підстанції достатнього об'єму вільної потужності або вільних місць для підключення:

$$C' = \{C_i, i \in [1:|C']\}.$$

Тут C_i – i -ий споживач, що підключається; $|C'|$ – число споживачів, що підключаються до мережі, підключення яких до мережі енергопостачання не є можливим. Також заданою являється множина можливих місць будівництва нових ТП O .

Результатом вирішення задачі є множина нових ТП $T^{нов}$.

Вектор варіюваних параметрів задачі має вигляд:

$$X = \{(x_i, y_i), X_{нов}^T, i \in [1: X_{нов}^T]\}.$$

Тут (x_i, y_i) – географічні координати i -ої нової ТП; $X_{\text{нов}}^T$ – число ТП, будівництво яких необхідно провести.

Ставиться задача визначення в області допустимих значень вектора варійованих параметрів D , такого значення вектора X , при якому буде забезпечений мінімум критерію оптимальності $Z(X)$:

$$\min_{X \in D} Z(\hat{X}) = \min_{X \in D} Z(X).$$

Алгоритм на основі методу k -середніх. Метод k -середніх – популярний неієрархічний метод кластеризації, який дозволяє розділити об’єкти на задане заздалегідь число кластерів. Основна його ідея полягає в тому, що на кожній ітерації об’єкти поділяються на кластери по принципу найменшої відстані від центра мас кластера, з подальшим перерозподілом отриманих на попередньому кроці центрів кластерів. До недоліків методу можна віднести необхідність попереднього визначення числа кластерів, а також залежність результату рішення від обраних початкових центрів кластерів. Перевагою методу є простота та низькі обчислювальні затрати.

Схема алгоритму, що реалізує вказаний метод, приведена на рис. 1. Тут $N^{\text{кластер}}$ – число кластерів, на які необхідно розділити елементи множини C ; R^{max} – максимальне число спроб вирішення задачі із заданим числом кластерів.

На першому кроці алгоритму ($\tau=1$) з множини O випадковим чином вибираємо $N^{\text{кластер}}$ точок, які оголошуємо центрами кластерів.

На наступному кроці кожного споживача множини C відносимо до одного з кластерів по принципу найменшого віддалення від центра кластера. Іншими словами, споживача C_i відносимо до j -го кластера, якщо для цього споживача відстань до центра j -го кластера менша, ніж до будь-якого іншого.

Далі для кожного з отриманих кластерів розраховуємо його навантажувальний центр ваги та з множини O вибираємо точку, що найбільш близько розташована до нього; вказану точку приймаємо за новий центр кластера. Наступним кроком проводимо перерозподіл споживачів по описаному вище принципу.

Процес кластеризації завершується, коли на черговому кроці τ роботи алгоритму, координати ні одного з центрів кластерів не змінюються.

Отримане рішення здійснює перевірку на допустимість – усі споживачі повинні мати можливість підключення до центру кластера, до якого вони віднесені. При виконанні даної вимоги за рішенням приймаються $X_{\text{нов}}^T = N^{\text{кластер}}$, місця будування нових ТП співпадають з центрами кластерів.

Якщо умову допустимості рішення не виконано, проводиться повторна спроба кластеризації з новими початковими кластерними центрами. Максимальне число спроб кластеризації з вихідним значенням числа кластерів $N^{\text{кластер}}$ задає R^{max} . Після R^{max} невдалих спроб кластеризації число кластерів збільшується на 1: $N^{\text{кластер}} = N^{\text{кластер}} + 1$.

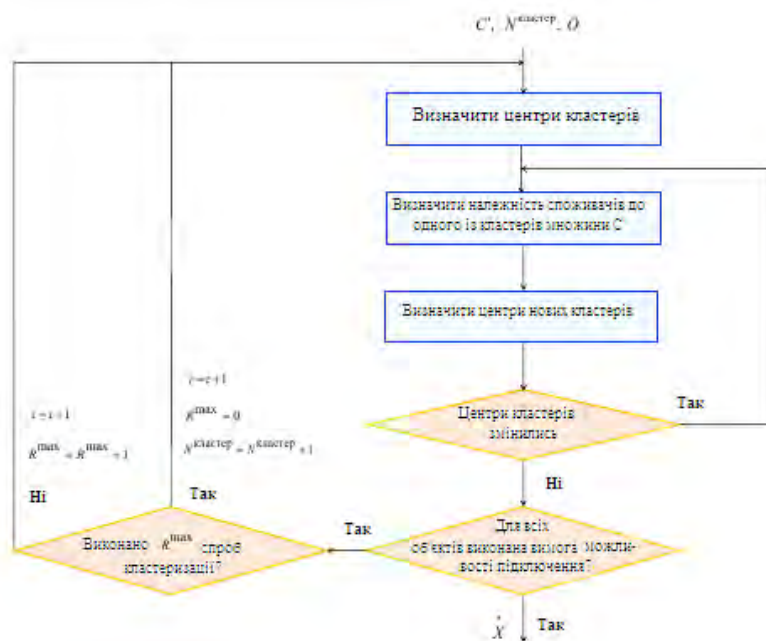


Рисунок 1 – Схема алгоритму, що реалізує метод k -середніх

Алгоритм, що реалізує кластеризацію методом k -середніх, ілюструє рис. 2. Приймаємо, що можливі місця будівництва нових ТП (елементи множини O) розташовані в усіх вузлах координатної сітки; $N^{\text{кластер}} = 2$.

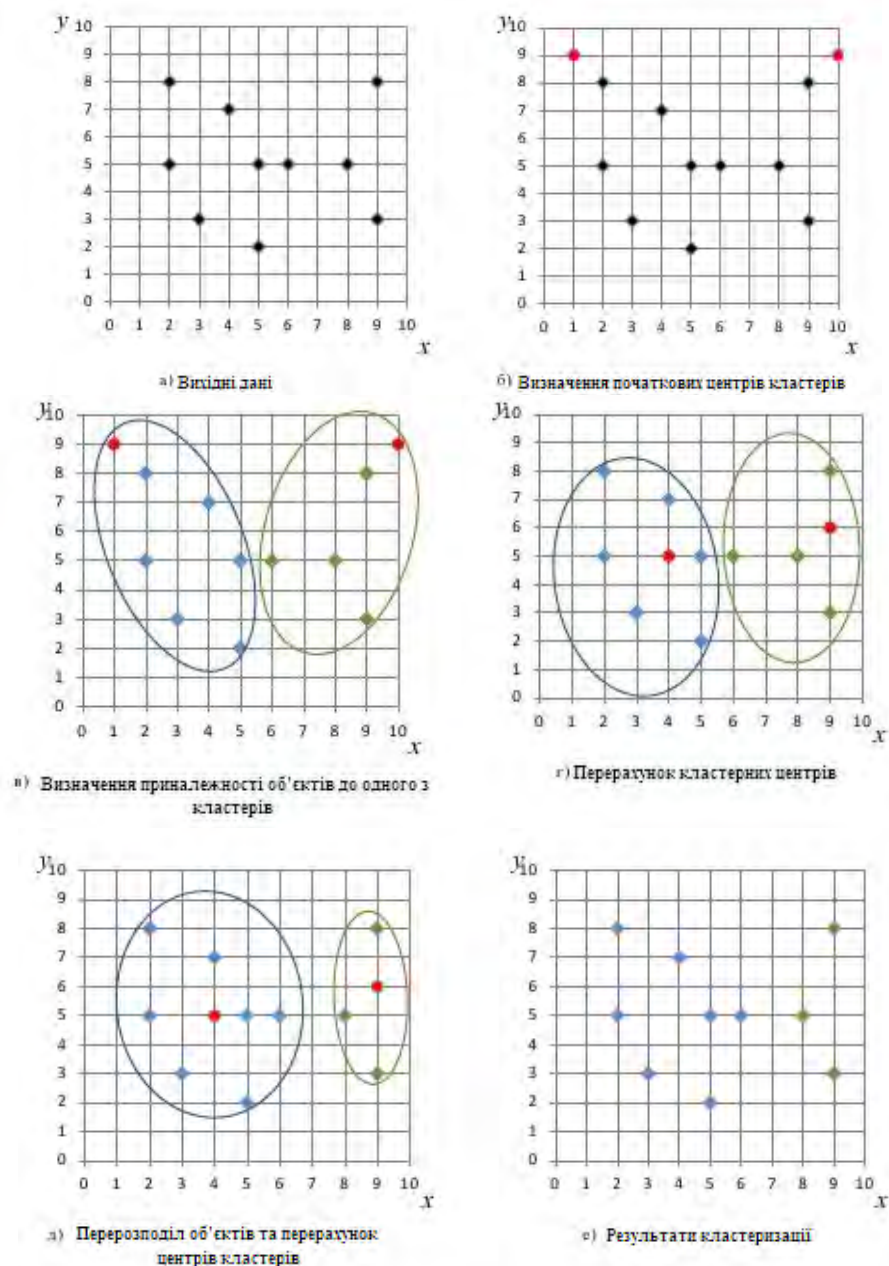


Рисунок 2 – Приклад роботи алгоритму, реалізуючого метод k -середніх

◆ – кластеризований об'єкт ● – кластерний центр ○ – умовна границя кластеру

Висновки. В роботі розглянуто метод та представлено алгоритм вирішення задачі оптимізації числа та місць побудови трансформаторних підстанцій, а саме, алгоритм, що реалізує метод k -середніх. Запропонований підхід дозволяє визначити оптимальне розташування об'єктів систем електропостачання з урахуванням дискретності обумовлюючих факторів (кількість трансформаторів та їх номінальні потужності, шкали перерізів провідників ліній, координати розташування та потужності споживачів) та параметрів режимів.

До переваг методу слід віднести можливість урахування вагових коефіцієнтів, які використовуються для коригування диспропорцій вибірки у порівнянні з досліджуваною сукупністю в цілому.

Недоліком можна вважати те, що метод k -середніх може привести до локального оптимуму, оскільки результати кластеризації залежать від початкового, довільного, розбиття на кластери.

Пропонуються способи подолання зазначених недоліків. Відповідно до першого, кластеризацію виконують декілька разів, формуючи початкові рішення з використанням методу Монте-Карло. Остаточним обирається варіант з мінімальним значенням цільової функції.

За іншим запропонованим способом, спочатку за допомогою ієрархічної кластеризації визначається число кластерів і знаходяться їх центри, а потім знайдене рішення уточнюється з позицій більш "тонкого" критерію, властивого методу k -середніх. При цьому розбиття проводиться на знайдене раніше число кластерів, а в якості початкових центрів кластерів беруться не перші рядки таблиці, а центри кластерів, отримані методом ієрархічної кластеризації.

Список використаної літератури

1. Ананичева С.С., Калинин М.А. Практические задачи электрических сетей: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 112 с.
2. Булатов Б.Г. САПР и модели оптимального развития энергосистем: конспект лекций. Челябинск: ЮУрГУ, 2005. 69 с.
3. Арзамасцев Д.А., Липес А.В., Мызин А.Л. Модели оптимизации развития энергосистем. М.: Высшая школа, 1987. 272 с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Интермент Инжиниринг, 2006. 670 с.
5. Керного В.В., Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Местные электрические сети. Минск: Вышэйшая школа, 1972. 218 с.
6. Thompson G.L. A Branch and Bound Model for Choosing Optimal Substation Locations // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1981. Vol. PAS-100, no. 5. P. 2683-2687. DOI: 10.1109/TPAS.1981.316784
7. Gonen T. Review of distribution system planning models: A model for optimal multistage planning // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1986. Vol. 133, no. 7. P. 397-408. DOI: 10.1049/ip-c:19860060
8. Gonen T. Distribution system planning using mixed integer programming // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1981. Vol. 128, no. 2. P. 70-79. DOI: 10.1049/ip-c:19810010
9. Ramirez-Rosado I. J. Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems // IEEE Transactions on Power Systems. 1991. Vol. 6, no. 1. P. 245-254. DOI: 10.1109/59.131069
10. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Application of evolutionary algorithms for the planning of urban distribution networks of medium voltage // IEEE Transactions on Power Systems. 2002. Vol. 17, no. 3. P. 879-883. DOI: 10.1109/TPWRS.2002.800975
11. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Planning of large rural low voltage networks using evolution strategies // IEEE Transactions on Power Systems. 2003. Vol. 18, no. 4. P. 1594-1600. DOI: 10.1109/TPWRS.2003.818741

М.М. Fedosenko, P.V. Kudriev, V.V. Vinnichuk

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

DETERMINATION OF THE OPTIMAL NUMBER AND LOCATION OF DISTRIBUTING CITY POWER NETWORKS SUBSTATIONS

The article sets a mathematical problem of defining the optimum number and sites to construct new transformer and distribution substations as an optimizing problem of discrete programming. The algorithm realizes a k -means method, which is a popular non-hierarchical clustering one. The method allows us to separate a set of objects into the clusters containing objects being at the smallest distance from the centers of clusters, which are accepted to be the sites for new substations.

Key words: urban power distribution network; optimization methods; k -means method.

References

1. Ananicheva S.S., Kalinkina M.A. Prakticheskie zadachi elektricheskikh setey [Practical tasks of electrical networks]. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2012. 112 p. (in Russian).
2. Bulatov B.G. SAPR i modeli optimal'nogo razvitiya energosistem [CAD and model of the optimal development of power systems]. Chelyabinsk, YuUrSU Publ., 2005. 69 p. (in Russian).
3. Arzamastsev D.A., Lipes A.V., Myzin A.L. Modeli optimizatsii razvitiya energosistem [Models of optimization of development of power systems]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987. 272 p. (in Russian).
4. Kudrin B.I. Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatiy [Power supply of industrial enterprises]. Moscow, Interment Inzhiniring Publ., 2006. 670 p. (in Russian).
5. Kernogo V.V., Pospelov G.E., Fedin V.T. Mestnye elektricheskie seti [Local electrical networks]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1972. 218 p. (in Russian).

6. Thompson G.L. A Branch and Bound Model for Choosing Optimal Substation Locations // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1981. Vol. PAS-100, no. 5. P. 2683-2687. DOI: 10.1109/TPAS.1981.316784
7. Gonen T. Review of distribution system planning models: A model for optimal multistage planning // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1986. Vol. 133, no. 7. P. 397-408. DOI: 10.1049/ip-c:19860060
8. Gonen T. Distribution system planning using mixed integer programming // IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution. 1981. Vol. 128, no. 2. P. 70-79. DOI: 10.1049/ip-c:19810010
9. Ramirez-Rosado I. J. Pseudodynamic planning for expansion of power distribution systems // IEEE Transactions on Power Systems. 1991. Vol. 6, no. 1. P. 245-254. DOI: 10.1109/59.131069
10. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Application of evolutionary algorithms for the planning of urban distribution networks of medium voltage // IEEE Transactions on Power Systems. 2002. Vol. 17, no. 3. P. 879-883. DOI: 10.1109/TPWRS.2002.800975
11. Diaz-Dorado E., Cidras E. J., Miguez E. Planning of large rural low voltage networks using evolution strategies // IEEE Transactions on Power Systems. 2003. Vol. 18, no. 4. P. 1594-1600. DOI: 10.1109/TPWRS.2003.818741

УДК 621.311

Н.Н. Федосенко, канд. техн. наук, доц., **П.В. Кудиев**, магистрант, **В.В. Винничук**, магистрант
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА И МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДСТАНЦИЙ
ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Предложено алгоритм решения задачи определения числа и мест размещения подстанций при решении задач развития городских распределительных электрических сетей. Представлено математическую постановку задачи в виде оптимизационной задачи дискретного программирования. Описан алгоритм, основанный на методе k-средних.

Ключевые слова: городские распределительные электрические сети; дискретные методы принятия оптимальных решений; метод k-средних.

Надійшла 19.04.2016

Received 19.04.2016

УДК 621.311

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф., **І.Г. Ходаківський**, студент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГНОЗНИХ МОДЕЛЕЙ ХОЛЬТА- ВІНТЕРСА

У даній роботі розглянуто метод управління електричним навантаженням промислового підприємства з використанням прогнозних моделей Хольта-Вінтерса. Представлений аналіз наукових досліджень в галузі управління електричним навантаженням. Використана модель Хольта-Вінтерса для виконання короткострокового прогнозування режиму електроспоживання. Представлені графічні результати прогнозування. Зроблено розрахунок похибок прогнозування часових рядів режиму електроспоживання. Представлений метод дозволяє провести оцінку прогнозної величини режиму електроспоживання з використанням підходу мінімізації помилок прогнозування величини електроспоживання. Результати можуть бути використані енергетиками промислових підприємств при плануванні режиму електроспоживання.

Ключові слова: метод Хольта-Вінтерса, модель Хольта, експоненціально згладжений ряд, оцінка тренда, оцінка сезонності, середнє значення квадратів похибок.

Вступ. На даний момент однією зі складових проблеми ефективного використання електроенергії є нерівномірність графіків навантаження в енергосистемі. У міру збільшення або зменшення електричного навантаження необхідно регулювати потужність, що подається. Витрати на керування електричним навантаженням з метою зменшення нерівномірності графіків навантаження набагато менші, ніж на створення маневрених потужностей і акумулюючих станцій. Економічні вигоди від створення систем регулювання можливі у вигляді зменшення капіталовкладень, зниження експлуатаційних витрат, економії палива, підвищення ККД і зниження втрат в системі. Тому стає доречним питання можливості регулювання навантаження.

Для точності регулювання споживання електричної енергії необхідно знати майбутнє підприємства, для цього застосовують розроблені методи прогнозування. В даній статті розглядається метод короткострокового прогнозування методом Хольта-Вінтерса.

Постановка проблеми. Зменшення фінансових витрат промислового підприємства на електричну енергію за рахунок підвищення достовірності прогнозованого значення електричної енергії та потужності методом Хольта-Вінтерса з допомогою використання програмного забезпечення STATISTICA.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В статті [1] показано порівняння як раніше запропонованих, так і тих, що розробляються методів короткострокового прогнозування електричного навантаження: регресійного аналізу, нейронних мереж, нечітких нейронних мереж. Порівняння підходів ґрунтується на вирішенні завдання добового прогнозування величини електричного навантаження. Інтенсивний розвиток обчислювальної техніки [2], теорії та практики моделювання, прогнозування процесів по-новому ставить питання створення інтелектуальних адаптивних програмних систем на базі оперативних комплексів у складі підприємств, організацій тощо.

На підставі відомостей про стан об'єкта, навколишнього середовища і власний стан системи за наявності пам'яті і мотивації синтезується мета моделювання (оперативний або короткостроковий контроль, прогнозування), яка поряд з іншими даними сприймається динамічною системою розпізнавання і контролю [3]. Остання, з використанням бази даних, проводить оцінку, на підставі якої приймається рішення про дію і прогнозується результат дії. На основі прогнозованої інформації дія коригується і синтезується алгоритм прийняття рішення, який реалізується після експертної оцінки за допомогою комп'ютерної системи і впливає на об'єкт. Результат дії порівнюється з прогнозом і на основі цього коригується прогнозна модель.

Класичним підходом до прогнозування є використання регресійних моделей і методів, що розкладають навантаження на регулярну (базову) і нерегулярну (залежить від погоди) складові. В роботі розглянуті системи прогнозування, побудовані на базі таких моделей як АРСС (p, q), АРПСС (p, d, q) з використанням методів сезонних кривих, сезонної декомпозиції (Сensus 1, Сensus 2) тощо [4]. Такі моделі привабливі тим, що мають добре опрацьовану математичну базу і прозору структуру. Однак вони є, в основному, лінійними моделями, а ряди навантаження, які вони моделюють - нелінійні функції екзогенних змінних.

Мета дослідження. Метою дослідження є підвищення якості керування електричним навантаженням застосовуючи прогресивні моделі прогнозування споживання електричної потужності на основі поточних параметрів, для короткострокового прогнозу на місяць, що дає можливість зменшити споживання електричної енергії.

Виклад основного матеріалу досліджень. Прогнозування електричного навантаження забезпечує основну вихідну інформацію для прийняття рішень при управлінні електроенергетичними системами в процесі планування їх нормальних електричних режимів. На основі прогнозування навантаження розраховуються вихідні та оптимальні режими електроенергетичних систем, оцінюється їх надійність, економічність, якість електроенергії тощо. Більшість алгоритмів прогнозування електричного навантаження, розроблених в електроенергетиці, являють собою комбінацію різних статистичних процедур. Існують методи прогнозування, в яких проводиться виділення так званої базової складової в змінах навантаження.

Для того щоб управляти будь якою системою або об'єктом, необхідно передбачити. При управлінні електроенергетичними системами одним з інструментів передбачення для прийняття рішень є прогнозування електричного навантаження.

До теперішнього часу розроблено велику кількість методів і моделей прогнозування електричного навантаження енергосистем. Одні методи призводять до значних похибок в оцінці прогнозованих величин, інші через складність математичного апарату не отримали широкого застосування для вирішення практичних завдань електроенергетики. Тому проблема розробки методики прогнозування навантаження дуже актуальна. Одним з методів прогнозування електричного навантаження є метод Хольта-Вінтерса.

Даний метод відноситься до методів експоненціального згладжування. Багато продуктів мають тенденцію зростання або падіння продажів, це відноситься і до споживання електричної енергії. Для таких продуктів доцільно враховувати конкретний характер тенденції і сезонних коливань. На основі моделі Хольта Вінтерс (Вінтерс, Winters) створив свою прогностичну модель, яка враховує експонентний тренд і аддитивну сезонність. Даний метод є розширенням попередньої моделі Хольта. Для урахування сезонних варіацій тут застосовується додаткове рівняння, і повністю цей метод описується чотирма рівняннями:

1. Експоненціально згладжений ряд:

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) , \quad (1)$$

2. Оцінка тренда:

$$T_t = \delta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \delta)T_{t-1} , \quad (2)$$

3. Оцінка сезонності:

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} , \quad (3)$$

4. Прогноз на p періодів вперед:

$$\hat{y}_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s} , \quad (4)$$

де α, δ, γ – постійні згладжування для рівня, тренда та сезонності, відповідно; s – тривалість періода сезонного коливання.

Сезонність враховується членом $\frac{Y_t}{S_{t-s}}$ в вихідних даних, після врахування сезонності та тренда оцінки згладжуються та вираховується прогноз.

Так само, як і в методі Хольта, ваги α, δ, γ можуть вибиратися суб'єктивно або шляхом мінімізації помилки прогнозування. Перед застосуванням першого рівняння необхідно визначити початкові значення для згладженого ряду L_t , тренда T_t , коефіцієнтів сезонності S_t . Зазвичай початкове значення згладженого ряду приймається рівним першому спостереженню, тоді тренд дорівнює нулю, а коефіцієнти сезонності встановлюються рівними одиниці. Оптимальні параметри α, δ, γ підбираються шляхом мінімізації середньоквадратичної похибки прогноза.

Вихідні дані споживання електричної енергії промисловим підприємством для виконання прогнозування представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані споживання електричної енергії

№ n/n	Дата ДД-ММ-РРРР	Електроспоживання кВт*год
1	01.12.2015	14735,7
2	02.12.2015	16215,9
3	03.12.2015	7020
4	04.12.2015	5070,2
5	05.12.2015	14187,6
6	06.12.2015	17342,4
7	07.12.2015	17965,8
8	08.12.2015	18520
9	09.12.2015	18043,6
10	10.12.2015	13012,6
11	11.12.2015	10724,5
12	12.12.2015	12946,8
13	13.12.2015	12663,6
14	14.12.2015	7974,6
15	15.12.2015	8365,4
16	16.12.2015	13864,5
17	17.12.2015	12506,6
18	18.12.2015	10803,3
19	19.12.2015	15011,7
20	20.12.2015	18686,5
21	21.12.2015	19077,5
22	22.12.2015	19302,9

Продовження таблиці 1

23	23.12.2015	18934,4
24	24.12.2015	17562,8
25	25.12.2015	18763,2
26	26.12.2015	17047,8
27	27.12.2015	15123,2
28	28.12.2015	19570
29	29.12.2015	17411,5
30	30.12.2015	18087,3
31	31.12.2015	15623,7

Використовуючи програмний додаток STATISTICA виконаємо короткострокове (на 1 місяць вперед) прогнозування електроспоживання вихідних даних методом Хольта-Вінтерса. Для отримання результатів дослідимо вихідні дані електричного споживання змінюючи коефіцієнти згладжування α , δ та γ в трьох випадках, а саме при 0,1; 0,5; 0,9 відповідно. Значення параметрів α, δ, γ вибрані для прогнозу з мінімальною середньоквадратичною похибкою.

На рисунках 1, 3, 5 представлені графічні результати прогнозування електричного споживання.
 На рисунках 2, 4, 6 представлені дані похибок прогнозування при відповідних значеннях коефіцієнтів.

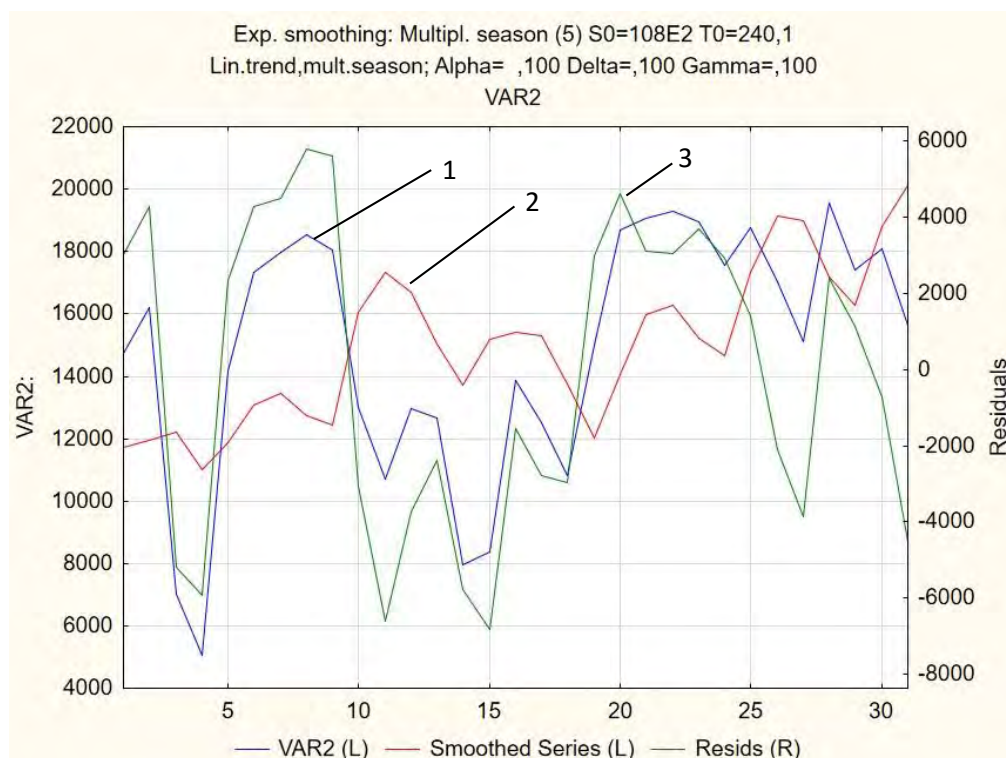


Рисунок 1 – Графічні результати прогнозування режиму електроспоживання, де 1 – реальні дані підприємства споживання електричної енергії, 2 – результат прогнозування на місяць при коефіцієнтах α, δ, γ рівних 0,1, 3 – похибка прогнозування.

Exp. smoothing: Multipl. season (5) S0=108E2 T0=240,1 (Spreadsheet1)	
Lin.trend,mult.season; Alpha= ,100 Delta=,100 Gamma=,100	
VAR2	
Summary of error	Error
Mean error	-95,736611
Mean absolute error	3644,443105
Sums of squares	489416440,807591
Mean square	15787627,122826
Mean percentage error	-9,522968
Mean abs. perc. error	29,768582

Рисунок 2 – Похибки прогнозування при коефіцієнтах рівних 0,1.

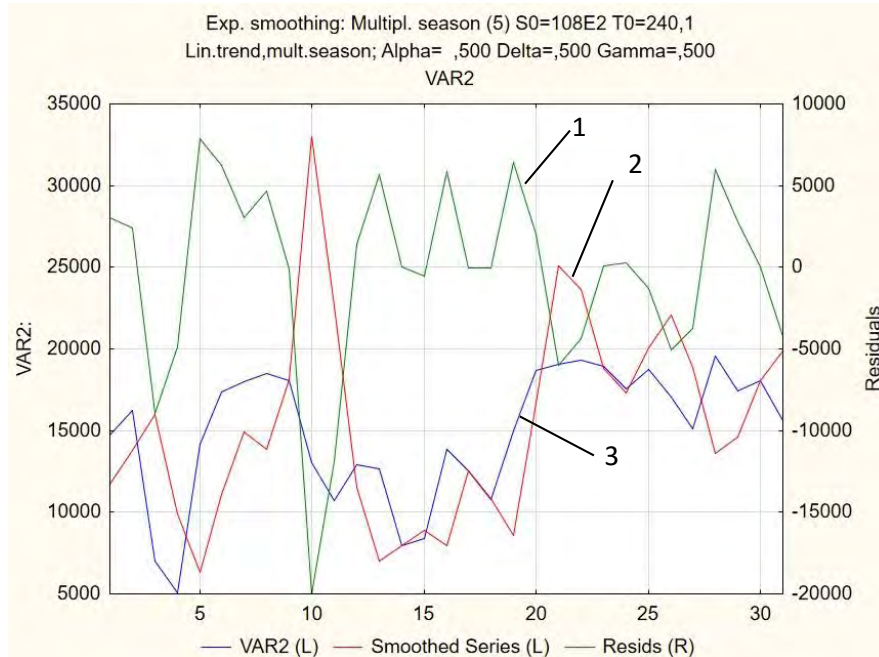


Рисунок 3 – Графічні результати прогнозування режиму електроспоживання, де 1 – результат прогнозування на місяць при коефіцієнтах α, δ, γ рівних 0,5, 2 – похибка прогнозування, 3 – реальні дані підприємства споживання електричної енергії.

Exp. smoothing: Multipl. season (5) S0=108E2 T0=240,1 (Spreadsheet1) Lin.trend,mult.season; Alpha= ,500 Delta=,500 Gamma=,500 VAR2	
Summary of error	Error
Mean error	-4,292120E+02
Mean absolute error	4,161017E+03
Sums of squares	1,065281E+09
Mean square	3,436392E+07
Mean percentage error	-8,655669E+00
Mean abs. perc. error	3,251695E+01

Рисунок 4 – Похибки прогнозування при коефіцієнтах рівних 0,5.

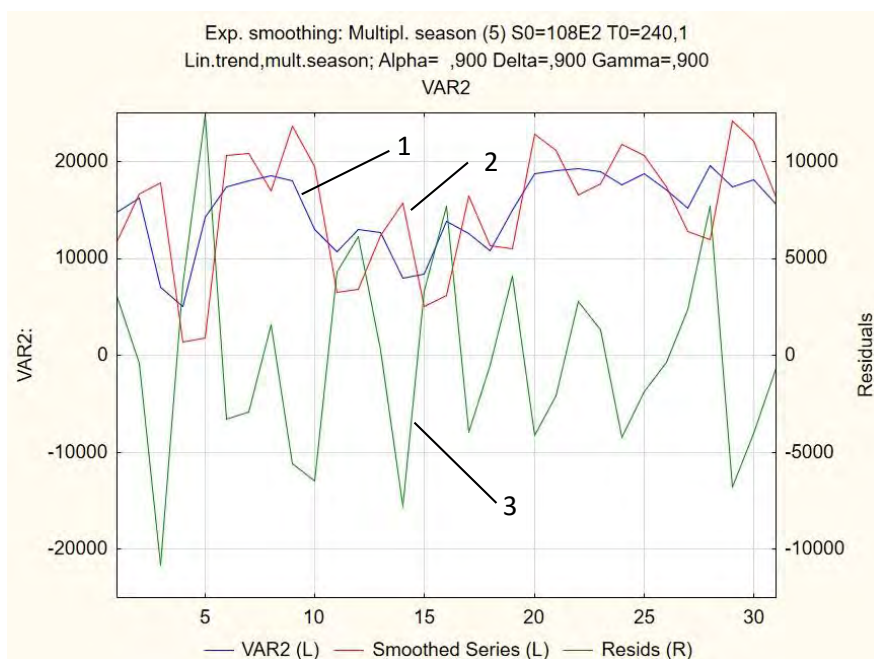


Рисунок 5 – Графічні результати прогнозування режиму електроспоживання, де 1 – реальні дані підприємства споживання електричної енергії, 2 – результат прогнозування на місяць при коефіцієнтах α, δ, γ рівних 0,9, 3 – похибка прогнозування.

	Exp. smoothing: Multipl. season (5) S0=108E2 T0=240,1 (Spreadsheet1) Lin.trend.mult. season; Alpha= ,900 Delta= ,900 Gamma= ,900 VAR2
Summary of error	Error
Mean error	-175,746564
Mean absolute error	4074,282088
Sums of squares	785731105,947154
Mean square	25346164,707973
Mean percentage error	-2,115765
Mean abs. perc. error	32,787540

Рисунок 6 – Похибки прогнозування при коефіцієнтах рівних 0,9.

Для визначення точності прогнозування використовують оцінки точності. Оцінка точності важлива при визначенні спроможності отриманого прогнозу.

Відома велика кількість оцінок, що визначають точність прогнозування, але для обчислення будь-якої з них необхідно знати на кожному кроці помилку прогнозування.

Похибка прогнозування на один крок вперед в момент часу t дорівнює:

$$e_t = X_t - \hat{X}_t, \quad (5)$$

де X_t – значення вхідної послідовності в момент часу t ; \hat{X}_t – прогноз на момент часу t зроблений на попередньому кроці.

Найбільш поширеною оцінкою точності прогнозування є середнє значення квадратів похибок (Mean Squared Error):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-1} e_t^2, \quad (6)$$

де n – кількість елементів послідовності.

Іноді, як недолік оцінки MSE вказують на її надмірну чутливість до рідкісних одиночних похибок великих величин. Це пояснюється тим, що значення похибки при обчисленні MSE зводиться в квадрат. У цьому випадку в якості альтернативи пропонується використовувати середнє значення абсолютної похибки (Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-1} |e_t|. \quad (7)$$

Передбачається, що при використанні MAE можна отримати більш стійкі оцінки.

Дані оцінки добре підходять, для визначення точності прогнозу однієї і тієї ж послідовності при різних параметрах моделі або при використанні різних моделей, але вони виявляються малоприматними для порівняння між собою результатів прогнозування, отриманих на різних послідовностях

Виконавши процес прогнозування були розраховані похибки, а саме середня абсолютна похибка $e_{t\text{cp}}$, сума квадратів похибок $\sum e_t^2$, середнє значення квадратів похибок MSE та середнє значення абсолютної похибки MAE.

Використовуючи дані похибок, розрахованих за допомогою програмного додатку STATISTICA, побудуємо графік залежності значень похибок від коефіцієнтів α, δ, γ при значеннях коефіцієнтів 0,1, 0,5, 0,9 відповідно.

Результати для побудови графіків представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Таблиця для побудови графіків залежності похибки від коефіцієнтів α, δ, γ

№ n/n	Коефіцієнти α, δ, γ		
	0,1	0,5	0,9
Середня абсолютна похибка $e_{t\text{cp}}$	$36,444 \cdot 10^2$	$41,61 \cdot 10^2$	$40,742 \cdot 10^2$
Сума квадратів похибок $\sum e_t^2$	$48,941 \cdot 10^7$	$106,528 \cdot 10^7$	$78,573 \cdot 10^7$
Середнє значення квадратів похибок MSE	$15,787 \cdot 10^6$	$34,363 \cdot 10^6$	$25,346 \cdot 10^6$
Середнє значення абсолютної похибки MAE	29,768	32,516	32,787

Порівняння похибок прогнозування

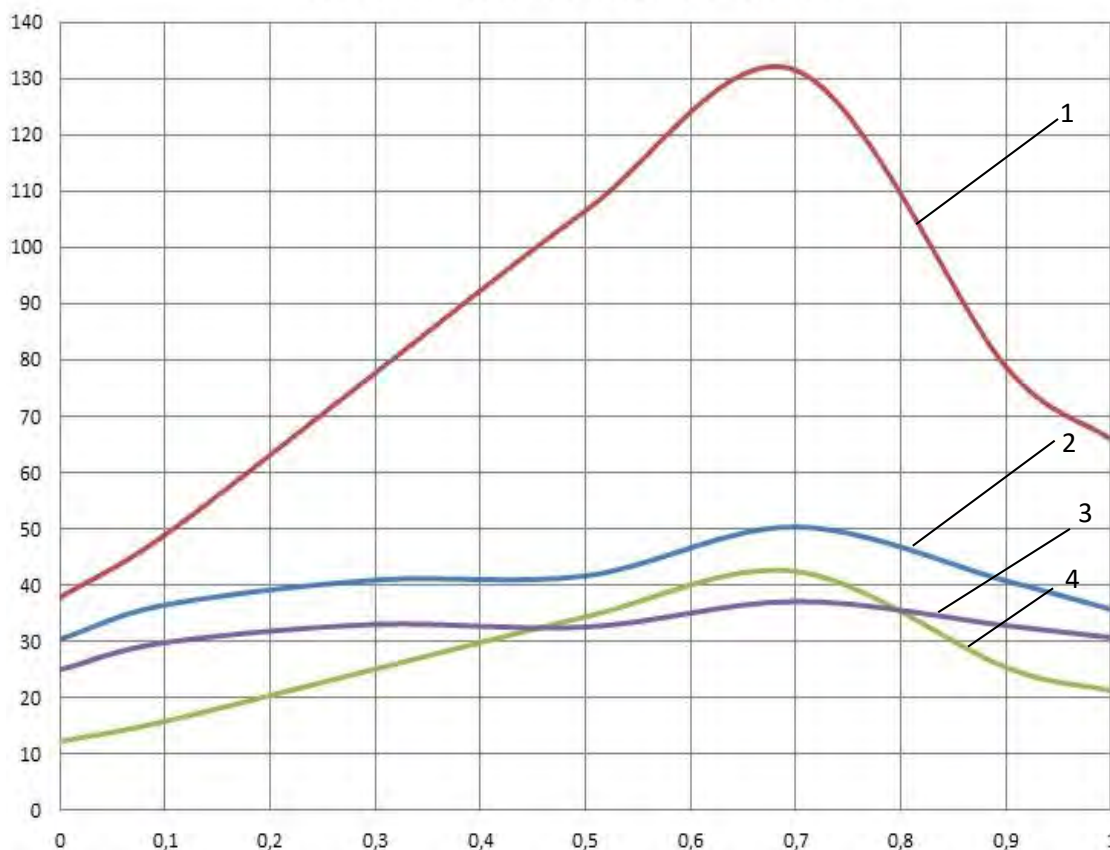


Рисунок 7 – Графічні результати порівняння похибок прогнозування з використання метода Хольта-Вінтерса, де 1 – сума квадратів похибок $\sum e_t^2$; 2 – середня абсолютна похибка $e_{t\text{cp}}$; 3 – середнє значення абсолютної похибки MAE; 4 – середнє значення квадратів похибок MSE.

Отримані результати порівнюємо з реальними даними електроспоживання і розраховуємо різницю між при відповідних коефіцієнтах α, δ, γ .

При коефіцієнтах прогнозування α, δ, γ рівних 0,1 різниця складає 3354,34 кВт*год, при α, δ, γ рівних 0,5 – 13305,57 кВт*год, при α, δ, γ рівних 0,9 – 5448,14 кВт*год.

Висновки. Виконавши короткострокове прогнозування вихідних даних електроспоживання підприємства, методом Хольта-Вінтерса, можна зробити висновок що точність прогнозування більша при коефіцієнтах α, δ, γ рівних 0,1.

Маючи результати прогнозування підприємство матиме більш повну картину для можливості заощадження коштів підприємства на оплату електричної енергії.

Список використаної літератури

1. Манусов, В. З. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами [Текст] / УДК 621.311:519.8 / Новосибирский государственный технический университет / В. З. Манусов, Е. В. Бирюков // Томск, 2006 – 153 с.

2. Чепурна, М. М. Удосконалення систем керування споживачами-регуляторами з метою регулювання графіків навантаження енергосистем [Текст]: автореф. к. т. н. НТУ «ХП» / УДК 621.311 / IX Міжнародна науково-практична студентська конференція магістрантів / М. М. Чепурна, Г. І. Мельников // Харків – 2015 – 159 с.

3. Галустов, Г. Г. Математическое моделирование и прогнозирование в технических системах: Учебное пос. [Текст] / ТТИ ЮФУ / Г.Г. Галустов, С.П. Бровченко, С.Н. Мелешкин // Таганрог, 2008 – 30 с.

4. Праховник А. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий [Текст]: книга / УДК 622.234 / А. В. Праховник, В. П. Розен, В. В. Дегтерев // М.: Недра, 1985 – 232 с.

5. Шумилова, Г. П. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур [Текст] / УДК 621.311.016.3:004.032.26 / Российская академия наук уральское отделение / Коми научный центр / Институт социально-экономических и энергетических проблем севера / Г.П.Шумилова, Н.Э.Готман, Т.Б.Старцева // Сыктывкар, 2008 – 4 с.

V. Rozen, I. Khodakivskiy

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
ELECTRIC LOAD MANAGEMENT THROUGH THE USE OF PREDICTIVE MODELS
HOLT-WINTERS**

In this paper, the method of managing the electric load industrial enterprises using predictive models Holt-Winters. The analysis of research in the field of electrical load. Used Holt-Winters model to perform short-term forecasting mode power consumption. Presented graphic forecasting results. Made errors of calculation time series prediction mode power consumption. The method allows to assess the predictive value mode power consumption using the approach of minimizing prediction error value of power consumption. The results can be used in power engineering industry in planning mode power consumption.

Keywords: Holt-Winters method, model Holt, exponentially smoothed series, trend assessment, evaluation seasonality, mean squares errors.

References

1. Manus, V. Z. Short-term forecasting of electric load based on fuzzy neural network and its comparison with other methods [Text] / UDC 621.311:519.8 / Novosibirsk State Technical University / V. Z. Manusov, E. V. Biryukov // Tomsk, 2006 – 153 p.
2. Chepurna, M. M. Improving consumer-management controls to regulate load schedule grids [Text]: author. k. t. n. NTU "KPI" / UDC 621.311 / IX International scientific conference of graduate student / M. M. Chepurna, G. I. Melnikov // Kharkiv, 2015 – 159 p.
3. Galustov, G. G. Mathematical modeling and forecasting of technical systems: Textbook [Text] / TTY SFU / G. G. Galustov, S. P. Brovchenko, S. N. Meleshkin // Taganrog, 2008 – 30 p.
4. Prakhovnik, A. V. Energy-saving modes of power mining enterprises [Text]: a book / UDC 622.234 / A. V. Prakhovnik, Rozen V. P., V. V. Degterev // М.: Nedra, 1985 - 232 p.
5. Shumilova, G. P. Prediction of electrical load in operational control of power systems based on neural network structures [Text] / UDC 621.311.016.3:004.032.26 / Russian Academy of Sciences Ural Branch / Komi Research Center / Institute for Socio-Economic and Energy Problems of the North / G. P. Shumilova, N. E. Gotman, T. B. Startseva // Syktyvkar, 2008 – 4 p.

УДК 621.311

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф., И.Г. Ходаковский, студент

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГНОЗНОЙ
МОДЕЛИ ХОЛЬТА-ВИНТЕРС**

В данной работе рассмотрен метод управления электрической нагрузкой промышленного предприятия с использованием прогнозных моделей Хольта-Винтерса. Представлен анализ научных исследований в области управления электрической нагрузкой. Использована модель Хольта-Винтерса для выполнения краткосрочного прогнозирования режима электропотребления. Представлены графические результаты прогнозирования. Произведен расчет погрешностей прогнозирования временных рядов режима электропотребления. Представленный метод позволяет произвести оценку прогнозной величины режима электропотребления с использованием подхода минимизации ошибок прогнозирования величины электропотребления. Результаты могут быть использованы энергетиками промышленных предприятий при планировании режима электропотребления.

Ключевые слова: метод Хольта-Винтерса, модель Хольта, экспоненциально сглаженный ряд, оценка тренда, оценка сезонности, среднее значение квадратов погрешностей.

Надійшла 24.03.2016

Received 24.03.2016

SMART GRID СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ SMART GRID SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

УДК 621.316.1.05

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., Д.С. Горенко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В даній статті розглядаються структура віртуальних електростанцій (ВЕУ) та світовий досвід їх впровадження. Коротко наведено світовий досвід впровадження систем Smart Grid. Представлено переваги та недоліки від впровадження віртуальних електростанцій для різних учасників енергоринку.

Зазначені системи дистанційного керування та система синхронізації комплексних вимірювань у віртуальних електромережах. Описані комплексний та системний підходи до керування генерацією в цілому та окремими її складовими. Представлені різновиди методів підвищення ефективності ВЕУ.

Наведено алгоритм аналізу взаємного впливу елементів систем Smart Grid. Також представлені фактори, які необхідно враховувати при здійсненні аналізу. Описано основні параметри та характеристики електромагнітної сумісності.

Ключові слова: розосереджена генерація, системи електропостачання, Smart Grid, Virtual Power Plants, поновлювальні джерела енергії, система керування, Energy Management System, електромагнітна сумісність.

Вступ. Застосування віртуальних розосереджених генераторів може вирішити багато проблем. Кращий спосіб реалізувати новий потенціал розосередженої генерації – це прийняти системний підхід, який розглядає генерацію і пов'язані з нею навантаження як підсистеми або "micro grid" [1,2]. Під час порушень генерація та відповідні навантаження можуть відокремити від системи розподілу ізолювати Microgrid навантаження від збурення, без пошкодження передачі цілісності мережі. Дієздатність острова генерації і навантажень в комплексі має потенціал, щоб забезпечити більш високу локальну надійність, ніж передбачено енергетичною системою в цілому.

Економічні, екологічні технології стимулюють зміну генерації та передачі електроенергії. Централізована генеруюча потужність, поступаються місцем меншій, більш розосередженій генерації частково через втрату традиційного ефекту, не дивлячись на те, що ситуація змінюється швидко і вимагає уваги до питань, пов'язаних із впровадженням розосередженої генерації в розподільні системи. Розподілена генерація охоплює широке коло технологій, таких як застосування двигунів внутрішнього згоряння, газових турбін, мікротурбін, сонячних батарей, паливних елементів і вітряків. Більшість нових технологій, таких як мікротурбіни, фотовольтаїка, паливні елементи і газові двигуни внутрішнього згоряння з генератором постійного струму вимагають інверторів для підключення до електричної системи. Ці нові технології мають більш низькі викиди і вищий потенціал, що зумовлює більш низьку вартість, замінюючи негативний традиційний економічний ефект [3–5].

Від сучасних Smart Grid очікують: підвищення ефективності енергоспоживання (такі складові як demand / response, floating prices, smart metering, peak shaving), зокрема, за рахунок зниження пікових навантажень; використання відновлюваних джерел енергії з розв'язанням задач динамічного балансу споживання та генерації на макро- і мікрорівнях; поширення електромобілів з формуванням стандартів обміну інформацією та фізичного підключення до електромережі; підвищення надійності, стабільності та безпеки [6].

Віртуальна електростанція (VPP) – це структура, що поєднує в собі елементи трьох видів [7]: розосереджені генератори (вітроустановки, фотоелектричні станції, міні- і мікро- ТЕЦ тощо); споживачі-регулятори навантаження (побутові та промислові); системи акумулювання енергії. Побутові споживачі (пральні машини, холодильники, телевізори, мікрохвильові печі, системи кондиціонування приміщень, нагрівальні елементи тощо) є найбільш легко керованими навантаженнями. Керованість навантаження промислових споживачів у основному залежить від гнучкості їх технологічних процесів. Для деяких процесів підвищують гнучкість за рахунок систем акумулювання енергії. Системи акумуляції можуть

накопичувати енергію в різних формах (теплової, електричної, механічної та хімічної). Для побутових споживачів найбільш раціональним варіантом є акумулювання тепла (за режимами роботи теплоакumuлюючі системи добре координуються з мікроТЕЦ). Для промислових споживачів оптимальними накопичувачами є акумуляторні батареї. Система акумулювання енергії вибирається, виходячи з області застосування і вартості накопичувачів, з урахуванням, за необхідності, географічного чинника.

Зазвичай віртуальні електростанції приєднуються до мережі середньої або низької напруги. Елементи віртуальної електростанції можуть розташовуватися на значних відстанях один від одного. Мережі (електричну та комунікаційну) об'єднують під терміном Microgrid. Характерною особливістю Microgrid є можливість роботи в автономному режимі. Керування віртуальними електростанціями здійснюється дистанційно через систему EMS (Energy Management System), яка приймає інформацію про поточний стан кожної енергоустановки та передає на них керуючі сигнали. У EMS використовується глобальна супутникова система навігації (GPS), за допомогою якої здійснюється синхронізація вимірювань комплексних значень струму та/або напруги на всіх енергоустановках віртуальної електростанції. Пристрої для таких вимірювань називають PMU (Phasor Measurement Units). Віртуальна електростанція може мати комерційне призначення (продаж електроенергії на оптовий ринок), технічне (системні послуги, такі як регулювання частоти та активної потужності, підтримання якості електричної енергії тощо) або ж поєднувати обидві ці функції.

До функціональних можливостей віртуальних електростанцій можна віднести [8]:

- 1) керування розосередженою генерацією (оптимізацію режимів мережі);
- 2) керування споживанням електроенергії (співставлення графіків навантаження споживачів та джерел електроенергії);
- 3) керування ринком резерву потужності (можливість використання резервної потужності).

Ефект від впровадження проявиться для споживача в підвищенні надійності, енергетичної та економічної ефективності електропостачання, а за рахунок участі в програмі керування споживанням виникає можливість впливати на споживання електроенергії. Також є можливість отримання доходів від продажу надлишків потужності в мережу. Для енергосистеми це призведе до зниження пікових навантажень мережі, оптимізації регулювання навантаження і режимів мережі, інтеграції віртуальних електростанцій в систему зі збереженням її стабільності, а також збільшення завантаження активів мережі, зменшення незатребуваної потужності та зменшення рівня інвестицій в мережу.

Отже, деякі вигоди різним учасникам ринку від впровадження віртуальних електростанцій [9]:

1) Розподільні та магістральні мережі:

- більш прозора діяльність об'єктів розосередженої генерації і контроль їх активності на ринку;
- зниження пікових навантажень мережі за рахунок регулювання навантаженнями споживачів;
- зниження ризиків перебоїв мережі;
- зниження рівня інвестицій у мережу;
- поліпшення контролю роботи негнучкої і непостійної розосередженої генерації.

2) Збутові компанії:

- поліпшений контроль за комерційними ризиками;
- новий рівень роботи зі споживачами, можливість пропонувати нові програми керування споживанням;
- доступ до більш дешевих ресурсів;
- поліпшення надійності енергопостачання;
- покращений білінг.

3) Власники розосередженої генерації і споживачі:

- отримання плати за гнучку потужність, за участь у програмах керування споживанням;
- можливість брати участь на ринку в повному обсязі в якості виробника, продаж електроенергії на ринку;
- збільшення вартості активів;
- більш осмислене споживання електроенергії;
- економія коштів за рахунок зниження споживання електроенергії (у разі надання гнучкої потужності).

4) Регулятор або системний оператор:

- балансування і оптимізація ринку;
- відкриття ринку для більш дрібних учасників;

- отримання додаткової гнучкої потужності;
- інтеграція об'єктів розосередженої генерації у систему, зберігаючи при цьому її стабільність;
- досягнення цілей країни щодо зниження викидів CO₂;
- створення нових робочих місць.

Мета та завдання. В Україні потрібна технологічна модернізація мережі, зокрема – із використанням пристроїв регулювання напруги та потоків потужності, створення резервних смостей для вирівнювання профілів генерації. Власне, з цим пов'язані основні очікування суспільства щодо стійкого, ефективного енерговиробництва та енергоспоживання.

Поряд зі створенням концепції Microgrid в Україні важливо розробити відповідне нормативно-правове і технічне забезпечення інтеграції розосереджених джерел енергії, з використанням наявних на ринку нашої країни пристроїв систем електропостачання та накопичувачів, створити платформу керування потужністю інтегрованих розосереджених джерел енергії на основі сучасних технологій Smart Grid, забезпечити реалізацію міжнародних стандартів функціональної сумісності обладнання інтелектуальних мереж відповідних регламентів і технічних умов.

Матеріал і результати дослідження. Світовий досвід впровадження систем Smart Grid включає в себе безліч проектів у всьому світі. Прийняті стратегічні документи для розвитку електроенергетики в ЄС (Директива 2004/8/ЄС від 11.02 2004 р. «Про розвиток когенерації на основі корисного тепла на внутрішньому енергетичному ринку»), США (Каліфорнія. План розвитку розосередженої генерації), Австралія (Програма з реформування енергетики Австралії) [10]. В країнах Європи розосереджена генерація складає приблизно 10 % від загального об'єму виробництва електроенергії. Для прикладу в Данії до 2020 року планується перехід на нетрадиційну енергетику 33 % загальної генерації, а до 2050 року повністю відмовитись від викопного палива. В США приблизно 12 млн. установок малої розосередженої генерації з одиничною потужністю до 60 МВт та загальною потужністю понад 220 ГВт. Темпи приросту становлять порядку 5 ГВт на рік. В Росії на базі Національного дослідницького Іркутського державного університету, в співпраці з Технічним університетом Отто-фон-Геріке і Науковим центром Фраунхофера, в 2013 році стартував проект «Smart Grid» – «Байкал» [11].

Розроблено і широко використовуються багато пристроїв, систем та програмного забезпечення для розумних мереж. Одним з пристроїв, що забезпечують керування Microgrid і використовуються в США, є контролер мікроджерел [3,4].

Інвертори забезпечують контроль і гнучкість, необхідні для функціональності PnP. В управлінні Microgrid необхідно врахувати те, що нові мікроджерела можуть бути додані в систему без модифікації існуючого обладнання, Microgrid може підключитися або швидко ізолювати себе від мережі, може контролювати незалежно реактивну та активну потужності, а також задовольнити потреби динамічних навантажень.

Контролер мікроджерел [3], описаний нижче, використовує перетворювач, який взаємодіє з паливними елементами, мікротурбінами і технологіями зберігання даних. Кожен контролер мікроджерела повинен бути в змозі ефективно реагувати на зміни в системі, спричинені навантаженням або іншими джерелами. Робота Microgrid допускає, що силова електроніка, яка здійснює контроль поточних мікроджерел, модифікується, щоб забезпечити набір ключових функцій, яких в даний час немає. Функції керування включають можливість регулювати потужність потоку джерела; регулювання напруги на стикі першого мікроджерела; забезпечити, щоб кожне мікроджерело швидко сприймало свою частку навантаження в системі островів. Як додаток до цих функцій керування, спроможність системи островів плавно і автоматично підключитися до об'ємної потужності є важливою оперативною функцією. На рис. 1 представлено структурну схему контролера мікроджерела.

Принцип роботи контролера мікроджерела полягає в корекції реактивної потужності Q зі зміною напруги регулювання E_p та корекції частоти ω зі зміною активної потужності P . Інтеграція великого числа мікроджерел в Microgrid неможлива без забезпечення контролю коефіцієнта потужності [3]. Напруга регулювання необхідна для локальної надійності і стабільності. Без місцевого регулювання напруги, в системі з великою кількістю мікроджерел можуть спостерігатися коливання напруги і/або реактивної потужності. Напруга керування має також гарантувати, що відсутня велика циркуляція реактивних струмів між джерелами. З невеликою помилкою напруги керування, циркулюючий струм може перевищувати допустимий мікроджерела. Така ситуація вимагає корекції напруги за зміною реактивної потужності контролера таким чином, щоб, якщо реактивна потужність, що виробляється мікроджерелом, стає більш смісна, напруга керування зменшувалась. І навпаки, якщо Q стає більш індуктивна, напруга керування збільшується.

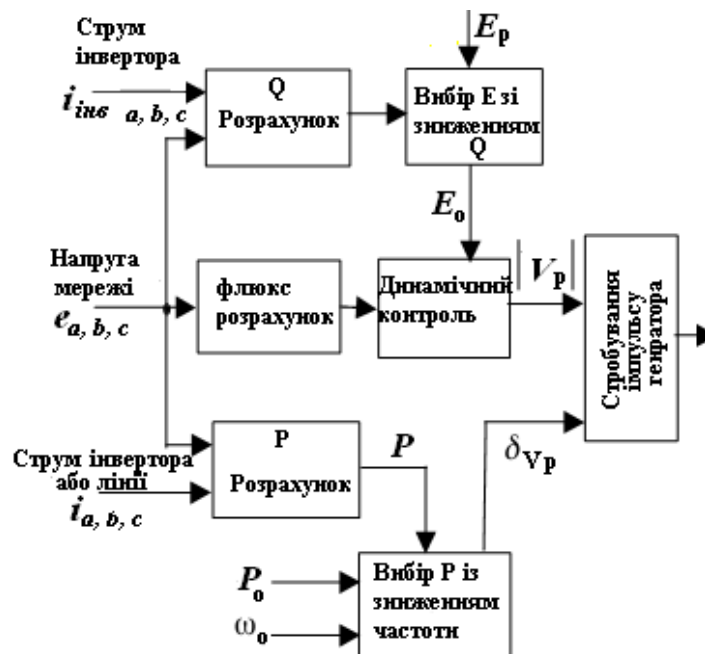


Рисунок 1 – Контролер мікроджерела

Microgrid може забезпечувати надлишок потужності, працюючи з використанням методів контролю, де острів Microgrid може плавно і автоматично підключитися до основної мережі енергосистеми, аналогічно системі UPS [3]. В острівному режимі потрібно вирішити проблеми незначних помилок генерації кожного інвертора і необхідної зміни потужності робочих точок, щоб відповідати змінам навантаження. Функціональна залежність потужності від зниження частоти на кожному мікроджерелі може ефективно вирішити ці проблеми без комунікаційної мережі. Коли Microgrid підключена до мережі, Microgrid навантаження отримують живлення як від мережі, так і з місцевих мікроджерел, в залежності від ситуації клієнта. Якщо потужність мережі втрачається через перепади напруги, збої, відключення і т. ін., Microgrid плавно переходить в режим острова. Коли Microgrid відокремлюється від мережі, фазові кути напруги на кожному мікроджерелі в Microgrid змінюються, що призводить до очевидного зниження частоти. Це зниження у поєднанні зі збільшенням потужності дозволяє для кожного мікроджерела забезпечити його пропорційну частку потужності.

Крім регулювання системи в цілому також можливе регулювання конкретних її елементів. Сучасні вітроенергетичні установки (ВЕУ) використовують вітер приземного шару атмосфери [12]. На попередній стадії виявлення перспективності ВЕУ використовується один з головних показників ефективності – середньорічна швидкість вітру. Вважається, що для побудови ефективної ВЕУ ця величина повинна становити 5 м/с та більше. Вітер із меншою швидкістю для вироблення енергії майже не використовується.

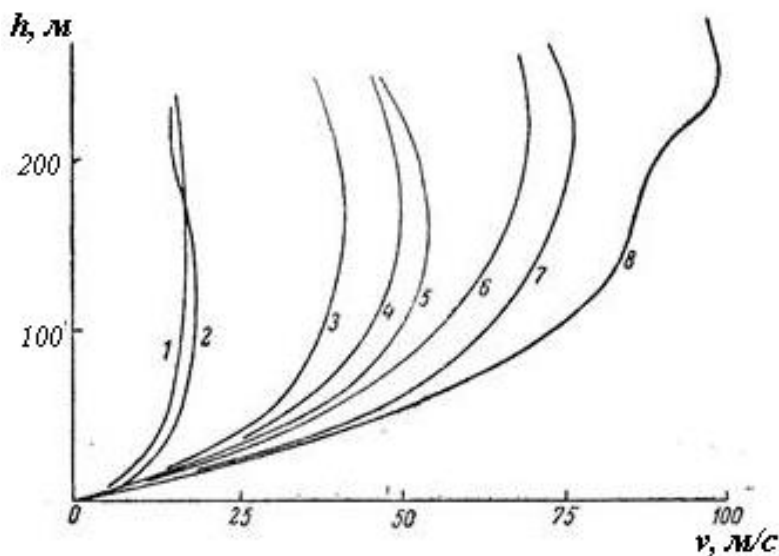
Для оцінки ефективності вітрового потоку використовується формула:

$$P = C_p \cdot \rho \cdot S \cdot \frac{V^3}{2}, \quad (1)$$

де C_p – коефіцієнт ефективності вітроколеса, ρ – густина повітря ($\text{м}^3/\text{с}$), S – площа вітроколеса (м^2), V – швидкість вітру біля вітроколеса ($\text{м}/\text{с}$) [13].

Що стосується ВЕУ, які використовують вітер швидкістю 5 м/с і більше, то на етапі проектування електроустановок обов'язково потрібно враховувати значення швидкості вітру в залежності від висоти осі ротора.

Доведено, що на різній висоті, в одній і тій самій місцевості, в один і той самий момент часу швидкість вітрового потоку відрізняється. А саме, чим вища точка заміру, тим більша лінійна швидкість потоку. Крім того, на профіль швидкості вітру впливає покриття поверхні, рельєф, кущі та дерева, окремі будівлі, міста. Оціночні профілі швидкості вітру наведені на рис. 2 [11].



1,2 – відкрита місцевість; 3,4,5 – ліс та окремі будівлі;
6,7 – міста та селища; 8 – великі міста.

Рисунок 2 – Вертикальні профілі вітру в граничному шарі атмосфери

В країнах, де вагому частку виробленої електроенергії генерують ВЕС, виникає необхідність регулювання вихідної потужності для вирівнювання графіку навантаження. До способів підвищення енергоефективності ВЕУ можна віднести:

- керування кутом атаки лопастей вітроенергетичної установки.
- керування кутом повороту осі ротора ВЕУ в залежності від напрямку вітру.
- зміну положення в просторі установки в цілому.
- розташування ВЕУ у відкритому морі.
- використання потоконаправляючих елементів та концентраторів вітрового потоку і т.ін.

На рис. 3 представлено різні способи зміни висоти башти вітрогенератора, а на рис. 4 – варіант структурної схеми використання даного способу регулювання в комплексі [5,14].

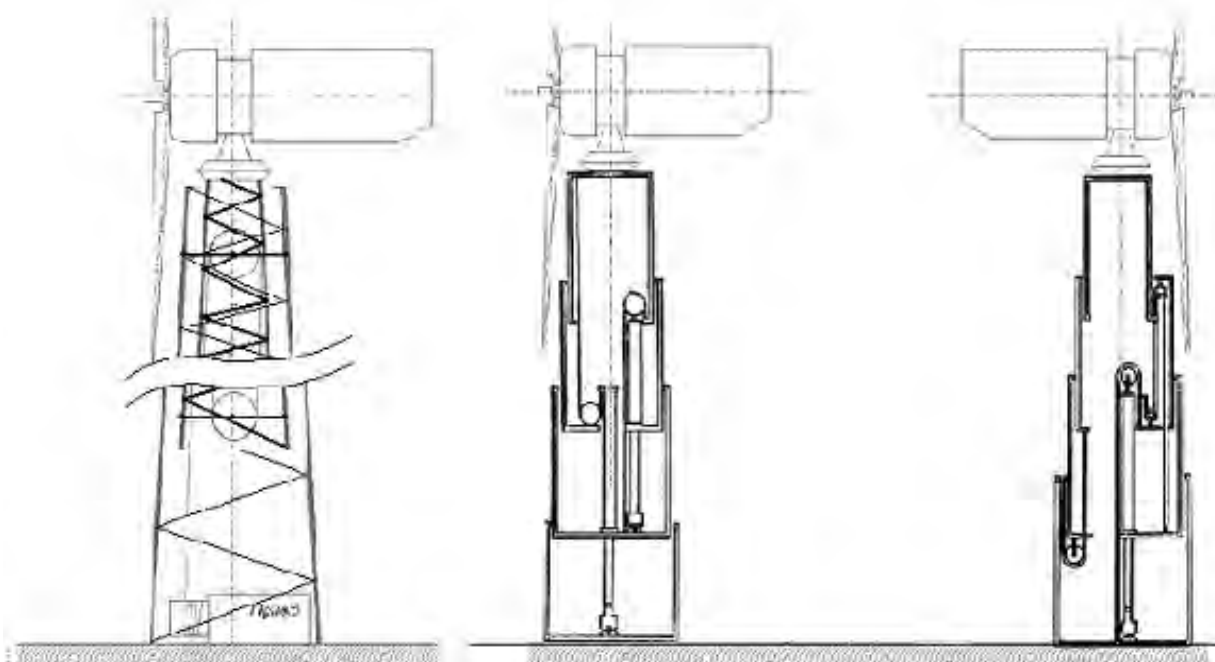


Рисунок 3 – Різні методи реалізації регулювання висоти башти вітрогенератора

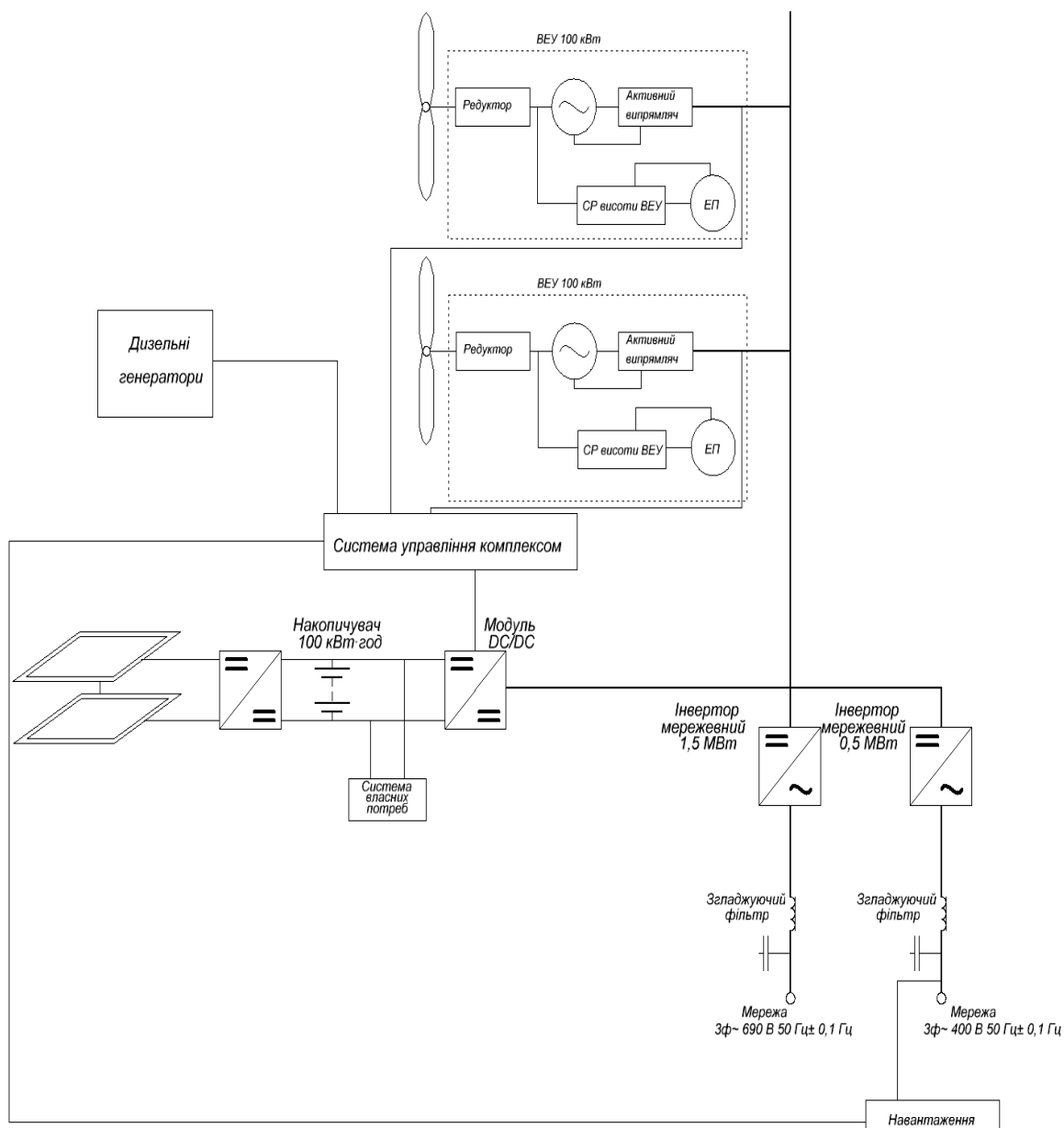


Рисунок 4 – Структурна схема використання ВЕУ з системою регулювання висоти башти

Аналіз взаємного впливу елементів системи Smart Grid

Рівень електромагнітної сумісності (ЕМС) є одним із визначальних показників систем енергопостачання, що обумовлює погіршення їх техніко-економічних показників, вплив на інші системи та навколишнє природне середовище [15].

Аналіз рівнів ЕМС потребує розгляду електромагнітної обстановки та характеристик різних типів електромагнітних завад, їх впливу на електроприймачі, на величину технологічного та комерційного складників втрат, а також оцінки часткової участі кожного спотворюючого джерела в загальній результуючій (сумарній) величині впливу спотворюючих джерел. Як наслідок, потребують свого розв'язання задачі побудови моделей оцінки ЕМС у системах та розроблення алгоритмів аналізу взаємного впливу елементів СЕП.

Зазвичай взаємний вплив елементів ураховується для конкретного режиму роботи. Аналіз взаємного впливу здійснюється таким чином[15]:

- 1) при формуванні моделі виділяються елементи та підсхеми, для яких оцінюватиметься взаємний вплив.
- 2) проводиться розрахунок електромагнітних процесів.
- 3) здійснюється оцінка електромагнітної сумісності.

4) формується інтегральна модель на основі розділення струму на реактивну та активну складові.

Аналіз передбачає врахування впливу різних факторів неякісності електроенергії, до яких відносяться зміни форми сигналів $u(t)$, $i(t)$, що обумовлюють відхилення, провали та зміни напруги, спотворення синусоїдальної кривої напруги та струму, несиметрія напруги та струму, поява імпульсів напруги та тимчасова перенапруга.

До критеріїв ефективності енергетичних процесів для оцінки взаємного впливу елементів можна віднести критерії, що відображають відмінність оптимального режиму, в тому числі – від синусоїдального, рівні реактивної потужності за першою та вищими гармоніками, складовими витрат, характер протікання обмінних процесів [11].

Рівень порушення електромагнітної сумісності визначається виразами

$$L_{EMC} = (H_j, e_i) = \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_i; \quad L_{EMC\Sigma} = \sum_{j=1}^{n_e} \left\{ \sum_{i=1}^{n_{3,j}} (H_{i,j}, e_{i,j}) \right\} = \sum_{j=1}^{n_e} \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_{i,j}. \quad (2)$$

Якщо поставити у відповідність векторам $H_j, H_{i,j}$ вектори вагових коефіцієнтів $W_{K1} = |w_1, w_2, \dots, w_{n_{3j}}|'$, $W_{K11} = |w_{11}, w_{12}, \dots, w_{n_e, n_{3j}}|'$, можна отримати уточнені кількісні характеристики порушення EMC для -го елемента та системи в цілому:

$$L_{EMC} = \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_i w_j; \quad L_{EMC\Sigma} = \sum_{j=1}^{n_e} \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_{i,j} w_{i,j}. \quad (3)$$

В аналізі взаємного впливу враховується парціальний вплив сигналу на елементи кола, вплив зміни параметрів елементів кола, у тому числі – діючих генераторів, взаємний вплив елементів.

Безпосередньо рівень EMC оцінюється показниками Δ_{B1} , Δ_{B2} , Δ_{B3} , які визначаються за співвідношеннями:

- 1) $\Delta_{B1} = \int_0^T (u(t)/i(t) - R_{\parallel}) dt / (TR_{\parallel})$;
- 2) $\Delta_{B2} = Q_{OB}/P$;
- 3) $\Delta_{B3} = Q/Q_{OB} - \pi$,

де R_{\parallel} – опір, при якому відсутнє спотворення сигналу; Q_{OB} – обмінна реактивна потужність. Обмінні процеси можна поділити за першою та вищими гармоніками:

$$Q_{OB}^{(1)} = \frac{1}{T \int_0^{t^+} u(t) I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i) dt}; \quad Q_{OB}^{(\sim)} = \frac{1}{T \int_0^{t^+} u(t) (\sum_{k=2}^{N_{\Gamma}} I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i)) dt}. \quad (4)$$

Показники Δ_{B1} та Δ_{B2} відображають відповідно критерії мінімуму втрат та усереднення зворотних потоків енергії, а Δ_{B3} є інтегральною характеристикою наближення енергетичного процесу до синусоїдального. Міра оцінки взаємного впливу елементів визначається ступенем їх наближення до нуля.

Висновки. Вирішення актуальної задачі інтеграції VPP у централізовану електричну мережу в масштабі Microgrid дозволить підвищити рівень гнучкості і надійності електропостачання споживачів, а також підвищити рівень функціонування ринку електроенергії в цілому [8].

Необхідність і доцільність впровадження в сучасну енергосистему України потужностей малої енергетики не викликає сумнівів. Європейські та світові приклади успішної модернізації у сфері електроенергетики, а також спроможність систем розосередженої генерації конкурувати з великими джерелами енергії підтверджують цю тезу. Крім того, сучасні засоби автоматики та захисту спроможні подолати технічні проблеми перебудови розподільної мережі енергосистеми з впровадженням автономних генераторів [10].

Головною умовою розширення VPP в Україні є організація зв'язків між усіма взаємодіючими суб'єктами. Для цього необхідно вдосконалювати засоби технічного регулювання, узгоджувати технології VPP з вимогами єдиної енергосистеми України шляхом розроблення відповідних стандартів і правил, а також дослідити питання вибору оптимального поєднання і розміщення джерел електроенергії в Microgrid.

Розроблення науково обґрунтованих пропозицій щодо використання конкретних типів сучасних електроенергетичних та електротехнічних пристроїв різного функціонального призначення, алгоритмів аналізу взаємного впливу елементів системи та механізмів забезпечення EMC дозволить суттєво

покращити стан ЕМС та якість електроенергії, наблизити показники її якості у вітчизняних мережах, умови функціонування конкретних типів електроенергетичного та електротехнічного обладнання до загальних європейських вимог. [15].

Список використаної літератури

- 1 Стогній, Б.С. Розвиток інтелектуальних електричних мереж на основі положень концепції SMART GRID / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк. // Інститут електродинаміки НАН України. – 2012. – С. 5–13.
- 2 Стогній, Б.С. Світовий досвід та перспективипобудови інтелектуальних енергетичних систем в Україні / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк. // Інститут електродинаміки НАН України. – 2013. – С. 5–17.
- 3 Lasseter. R.H. Microgrid: A Conceptual Solution/ R.H. Lasseter, P. Piagi. // PESC'04 Aachen, Germany. – 2004.
- 4 Wen C.X. Droop Control of Parallel Dual-Mode Inverters Used in Microgrid / C.X. Wen, Z.Y. Liu, Z.X. Li. // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE 2015).
- 5 Горенко, Д.С. Дослідження можливостей підвищення ефективності вітроенергетичних установок різної потужності / Д.С. Горенко, Т.М. Базюк.
- 6 Денисюк, С.П. Аналіз взаємного впливу елементів систем з нелінійними струмами і напругами / С.П. Денисюк. // Ресурсоенергозбереження в ринкових відносинах. – 1997. – С. 12.
- 7 Білодід, В.Д. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього / В.Д. Білодід, К.В. Таранець. // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №8. – С. 40–47.
- 8 Кечкин, А.Ю. Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе Micro-Grid / А.Ю. Кечкин, Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо. – 2015. – С. 50–55.
- 9 Виртуальная электростанция – «умный контроль» распределенной генерации. // Энергетика и промышленность России. – 2014. – №8.
- 10 Кожуховский, И.С. Распределённая энергетика - мировой тренд / И.С. Кожуховский. // Материалы IX Всероссийской конференции НП ГП и ЭСК «Розничные рынки электроэнергии 2013-2014гг.». – 2013.
- 11 Проект ИрГТУ «Smart Grid» – «Байкал» получил грант и продолжит исследования [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://greenevolution.ru/2013/07/19/proekt-irgtu-smart-grid-bajkal-poluchil-grant-i-prodolzhit-issledovaniya/>
- 12 Величко, С.А. Ветроэнергетика: состояние и перспективы [Електронний ресурс] / С.А. Величко, А.С. Болтенков // Интернет-журнал «Наше будущее» – Режим доступу до ресурсу: <http://uneworld.uzoz.com/102.pdf>.
- 13 Голубенко, Н. С. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности [Електронний ресурс] / Н. С.Голубенко, С. И. Довгалюк, А. М. Фельдман, В. Б. Худик – Режим доступу до ресурсу: o_zavisimosti_skorosti_vetra_ot_vysoty_s_uchetom_relefa_mestnosti.doc
- 14 Долуденко, А.Н. Разработка многофункционального энергетического комплекса на основе гибридной ветродизельной установки с накопителем энергии/ А.Н. Долуденко, Т.Ю. Жораев, А.Н. Новиков, Н.Л. Новиков, Ю.Г. Шакарян.//ОИВТ РАН, Москва, Россия.
- 15 Жуйков, В.Я. Энергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами / В.Я. Жуйков, С.П. Денисюк. – Київ: ТЕКСТ, 2010. – 264 с. – (ТЕКСТ).

S.P. Denysiuk, D.S. Horenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

ANALYSIS PROBLEMS OF IMPLEMENTATION VIRTUAL POWER PLANTS

This article discusses the structure of virtual power plant and the international experience of their implementation. Summarized the world experience of implementing Smart Grid systems. Presents the advantages and disadvantages of the introduction of virtual power plants for different participants of the energy market.

The remote control system and the synchronization system of integrated dimensions in the virtual grid. Described is a comprehensive and systematic approach to the management of the generation as a whole, and its individual components. Presents the variety of methods of increasing the efficiency of wind turbines.

The algorithm of analysis of the mutual influence of elements of Smart Grid systems. Also presents the factors that must be considered when performing analysis. Describes the main parameters and characteristics electromagnetic compatibility.

Keywords: dispersed generation, power system, Smart Grid, Virtual Power Plants, renewable energy, control system, Energy Management System, electromagnetic compatibility.

References

- 1 Stogny C. Development of smart grids on the basis of the provisions of the SMART GRID concept / B.S. Stogniy, V.A. Kirilenko, S.P. Denysiuk. // Institute of electrodynamics of NAS of Ukraine. – 2012. – S. 5-13.
- 2 Stogny C. Global experience and perspectivebased intelligent energy systems in Ukraine / B.S. Stogniy, V.A. Kirilenko, S.P. Denysiuk. // Institute of electrodynamics of NAS of Ukraine. – 2013. – S. 5-17.
- 3 Lasseter. R.H. Microgrid: A Conceptual Solution/ R.H. Lasseter, P. Piagi. // PESC'04 Aachen, Germany. – 2004.
- 4 Wen C.X. Droop Control of Parallel Dual-Mode Inverters Used in Microgrid / C.X. Wen, Z.Y. Liu, Z.X. Li. // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE 2015).
- 5 Horenko D.S. Investigation of possibilities to improve the efficiency of wind turbines of various capacities / D.S. Horenko, T.M. Bazyuk.
- 6 Denysiuk S.P. Analysis of the mutual impact of system elements with non-linear currents and voltages / S.P. Denysiuk. // Resursosberegenie in the market. – 1997. – S. 12.
- 7 Beloded V.D. Small-scale power generation and its importance in regonline systems of the future. V.D. Beloded, K.V. Taranets. // Problems of general energy. – 2008. – No. 8. – S. 40-47.
- 8 Kechkin A. Yu., The creation of virtual power plants on the scale of Micro-Grid / Kechkin A. Yu., E. N. Sosnina, A. W. Saluja. – 2015. – S. 50-55.
- 9 Virtual power plant – "smart control" of distributed generation. // Energy and industry of Russia. – 2014. – No. 8.
- 10 Kozhukhovskiy S.C. Distributed energy - global trend / S. Kozhukhovskiy. // Materials of the IX all-Russian conference of NP GP and ESK "Retail electricity markets, 2013-2014.". – 2013.
- 11 The Project of ISTU "Smart Grid" – "Baikal" has received a grant to continue research [Electronic resource] – access Mode to a resource: <http://greenevolution.ru/2013/07/19/proekt-irgtu-smart-grid-bajkal-poluchil-grant-i-prodolzhit-issledovaniya/>
- 12 Velichko S.A. Vetroenergetika: status and prospects [Electronic resource] / by S.A. Velichko, A.S. Boltenkov // Internet magazine "Our future" – access Mode to a resource: <http://uneworld.ucoz.com/102.pdf>.
- 13 N. Golubenko. C. In dependence of wind speed from height with consideration of the terrain [Electronic resource] / N.S. Golubenko, S.Y. Dovgaluk, A.M. Feldman,. . Hudik – access Mode to a resource: o_zavisimosti_skorosti_vetra_ot_vysoty_s_uchetom_relefa_mestnosti.doc
- 14 Doludenko A.N. Development of multifunctional energy complex based on hybrid wind / diesel plant with energy storage/ A.N. Doludenko, T.Y. Gorev, A.N. Novikov, N.L. Novikov, Yu.G. Shakaryan.//JIHT RAS, Moscow, Russia.
- 15 Zhuikov V.Y. Energy processes in electronic circles with the key elements / V.Y. Zhuykov, S.P. Denysiuk. – Kiev: the TEXT, 2010. – 264 S. – (TEXT).

УДК 621.316.1.05

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., Д.С. Горенко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВНЕДРЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В данной статье рассматриваются структура виртуальных электростанций и мировой опыт их внедрения. Кратко приведен мировой опыт внедрения систем Smart Grid. Представлены преимущества и недостатки внедрения виртуальных электростанций для различных участников энергорынка.

Указанные системы дистанционного управления и система синхронизации комплексных измерений в виртуальных электросетях. Описаны комплексный и системный подходы к управлению генерацией в целом и отдельными ее составляющими. Представлены разновидности методов повышения эффективности ВЭУ.

Приведен алгоритм анализа взаимного влияния элементов систем Smart Grid. Также представлены факторы, которые необходимо учитывать при осуществлении анализа. Описаны основные параметры и характеристики электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: рассредоточенная генерация, системы электроснабжения, Smart Grid, Virtual Power Plants, возобновляемые источники энергии, система управления, Energy Management System, электромагнитная совместимость.

Надійшла 24.02.2016

Received 24.02.2016

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА АУДИТ ENERGY MANAGEMENT AND AUDIT

УДК 620.91:697.1

В.І. Дешко¹, д-р техн. наук, проф., О.М. Шевченко¹, канд. техн. наук, асист.,
М.М. Шовкалюк¹, канд. техн. наук, доц., І.О. Суходуб¹, канд. техн. наук, ст. викл.,

М.І. Сотник², д-р техн. наук, доц., Н.П. Соколова³, доц.

¹ – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

² – Сумський державний університет

³ – Національний авіаційний університет

ДОСВІД СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ У ВНЗ

Навчальні заклади є утримувачами матеріальної бази та споживачами енергетичних ресурсів, і ці два аспекти сталого розвитку (енергетичний та економічний) відіграють важливу роль у забезпеченні якості освітніх послуг та підготовці спеціалістів, що впливатимуть своїми рішеннями і діями на розвиток окремих організацій, підприємств, галузей та країни в цілому. Оптимальне управління процесами енергоспоживання та енергозбереження окремих освітніх установ та галузі в цілому потребує розвитку та вдосконалення науково-технічних та управлінських методів. Об'єкти галузі освіти, як і інші структури бюджетного фінансування, потребують системного підходу до управління та аналізу ефективності енерговикористання. На прикладі пілотних ВНЗ показано моделі управління процесами енергоспоживання, організаційна структура, механізми системи енергоменеджменту та система взаємодії між підрозділами. Дана стаття буде цікавою для наукових, педагогічних, інженерно-технічних працівників та спеціалістів, що займаються розробкою і впровадженням систем енергетичного менеджменту та заходів з енергозбереження у навчальних закладах.

Ключові слова: енергетичний менеджмент, ефективність енергоспоживання, вищий навчальний заклад, енергозбереження.

Вступ та постановка проблеми

Сьогодні перед Україною гостро постала необхідність вжиття заходів з підвищення енергоефективності у всіх сферах народного господарства, в тому числі й у галузі освіти. Реалізація існуючого потенціалу енергозбереження у цій сфері пов'язана з впровадженням не лише заходів з енергоефективної модернізації, а й реалізації низки організаційних заходів, що спрямовані на створення відповідної організаційної структури, навчання користувачів усіх рівнів правилам раціонального витрачання енергоресурсів на засадах сучасних стандартів енергоменеджменту та підвищення енергоефективності. Розроблення нових й удосконалення існуючих підходів до оцінювання енергоефективності, побудови системи управління процесами споживання енергії об'єктами галузі освіти є актуальними завданнями та мають науковий і практичний інтерес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Управління енерговикористанням у навчальних закладах вимагає не лише технічних, а й організаційно-управлінських рішень. Теоретичну та методологічну основу досліджень в цій сфері складають роботи провідних вчених в галузі підвищення ефективності управління енергоспоживанням і енергоефективності будівель, зокрема, Праховника А.В., Новосельцева О.В., Дешка В.І., Фаренюка Г.Г., Табунщикова Ю.А., Суходолі О.М., Розена В.П., Агеевої Т.П. та інших. Питання, пов'язані з розробкою моделей та засобів підвищення рівня ефективності енерговикористання у навчальних закладах за умов комплексного підходу, детально опрацьовуються в сучасних наукових роботах інших фахівців [1-5]. Зокрема, дисертаційна робота [1] присвячена розвитку методів та моделей оцінювання енергоефективності бюджетних закладів з урахуванням впливу погодних умов та сукупності фактичних умов експлуатації, в роботі запропоновано побудову концептуальної моделі управління процесами енергоспоживання та енергозбереження галузі освіти, що передбачає виділення трьох рівнів управління: галузевий – місцевий – локальний. Використання багатокритеріальних моделей та засобів управління енерговикористанням в навчальних закладах, запропонованих в роботі [2], дозволяє покращити прогнозованість результатів та оперативно приймати управлінські рішення в сфері енергоефективності. Питанням аналізу та моніторингу фактичних показників енергоспоживання з урахуванням дотримання умов комфортності в будівлях вищих

навчальних закладів (ВНЗ) присвячено роботи [3, 6-11]. В статті [12] представлені результати проведення структурного аналізу використання енергії об'єктами освітніх закладів, а також визначено фактори, що впливають на енергоспоживання ВНЗ. Проблема обґрунтування вибору заходів з енергозбереження в будівлях закладів освіти присвячено досить велика кількість робіт, а також розроблено практичні посібники як для вчителів, так і для студентів та учнів [13-16]. Проведений аналіз літературних джерел дозволив виявити, що недостатня кількість робіт присвячена саме висвітленню проблеми практичного досвіду побудови системи енергоменеджменту та організації роботи відповідної служби у ВНЗ.

Мета статті

Огляд практик різних ВНЗ відносно побудови системи енергоменеджменту на базі системного підходу до управління та аналізу ефективності енерговикористанням, набутого досвіду та надання практичних рекомендацій щодо розробки методичного забезпечення з організації системи управління.

Матеріал і результати досліджень

На теперішній час формування системи управління процесами енергоспоживання та енергозбереження (ПЕЕ) в галузі освіти України здійснюється не планомірно та зазвичай має характер часткових, неузгоджених рішень в окремих її елементах, що значною мірою спричинено складністю вирішуваних управлінських завдань, неповнотою та недостовірністю інформації про енергетичні та експлуатаційні показники підвідомчих об'єктів. Однак, не зважаючи на нечітку сформованість системи управління ПЕЕ, варто відмітити, що в закладах МОН проводяться заходи щодо налагодження робіт з енергозбереження, зокрема: при базових ВНЗ створено регіональні центри з енергозбереження (загалом 14 центрів), які надають методичну допомогу з питань енергозбереження; розроблено Програму щодо зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти на 2010-2014 рр. [17]; налагоджено звітність по півріччях про стан реалізації заходів, передбачених Програмою; розроблено методику проведення енергетичного аудиту ЗО [18]; рекомендується створення служб енергетичного менеджменту у ЗО, для чого розроблено типове положення про запровадження служби [19]. Таким чином, створено засади для системи управління та аналізу, однак через неструктурованість та неповноту надаваної інформації, на практиці поки що не вдалося реалізувати сучасне управління ПЕЕ закладами МОН. В той же час, як видно з рис. 1 сьогодні в галузі освіти немає комплексності енергоменеджменту, визначеної в [20]: відсутні складові моніторингу енергоспоживання та контролю за виконанням Програми з енергозбереження; не забезпечено умови для створення служб енергетичного менеджменту (перш за все фінансові); не проводиться перевірка ефективності роботи системи управління (через фактичну відсутність останньої) та впровадження корегувальних заходів; планування енергоспоживання здійснюється в грошових одиницях та спрямоване на мінімізацію витрат коштів з бюджету, не відслідковуючи при цьому рівень забезпечення комфортних умов у приміщеннях, динаміку зміни тарифів на енергоносії, термін окупності заходів з підвищення енергоефективності. При цьому ефективно діючі системи енергетичного менеджменту, реалізовані за принципами [20] передбачають виконання циклу послідовних дій за принципом Демінга. На рис. 1 наведено оцінку відповідності існуючої системи управління ПЕЕ галузі освіти міжнародним стандартам з енергетичного менеджменту.

Однією з основних властивостей системи управління є необхідність аналізу та синтезу процесів енергоспоживання з переходом від інтегральних показників до деталізованих і назад. Це дає можливість ідентифікації об'єктів з надвисоким споживанням енергетичних ресурсів та подальшого прийняття рішень стосовно енергетичної сертифікації, проведення енергетичного аудиту та, як наслідок, реалізації обґрунтованих заходів з підвищення енергоефективності з урахуванням оптимізації стану процесів підвищення енергоефективності галузі загалом.

В науковій роботі [1] відповідно до стандарту ISO 50001 [20] авторами розроблено і запропоновано методологію системи енергоменеджменту галузі освіти, в основу якої покладено концепцію трирівневої системи управління (рис. 2) ПЕЕ (рівень галузевого управління; рівень місцевого управління, об'єктом якого є підрозділи навчальних закладів; рівень локального управління, об'єктом якого є окремі будівлі).

Енергоменеджмент (ЕМ) включає в себе планування, організацію, кадрове забезпечення, здійснення контролю; охоплює генерацію, передавання, транспортування, розподілення та споживання енергії, а також екологічні питання. Тобто, ЕМ включає функції управління, організації, розподілу обов'язків та відповідальності, процедури і ресурси, в тому числі фінансові, кадрові, матеріальні та ін. Для ефективного функціонування енергоменеджменту необхідно безперервно повторювати цикл (рис. 3), що призводить до підвищення енергоефективності. Таким чином, енергоаудит та впровадження енергозберігаючих заходів – лише частина систем енергоменеджменту (СЕМ), суть якої – постійна діяльність, заснована на циклі PDCA. Основний потенціал енергозбереження мають технічні заходи, впровадження яких передбачає значні капіталовкладення в енергоефективне обладнання, матеріали, техніку та технології. Проте ці заходи матимуть тривалий і суттєвий ефект лише за умови їх реалізації одночасно з низкою організаційно-управлінських, інформаційних та мотиваційних заходів.

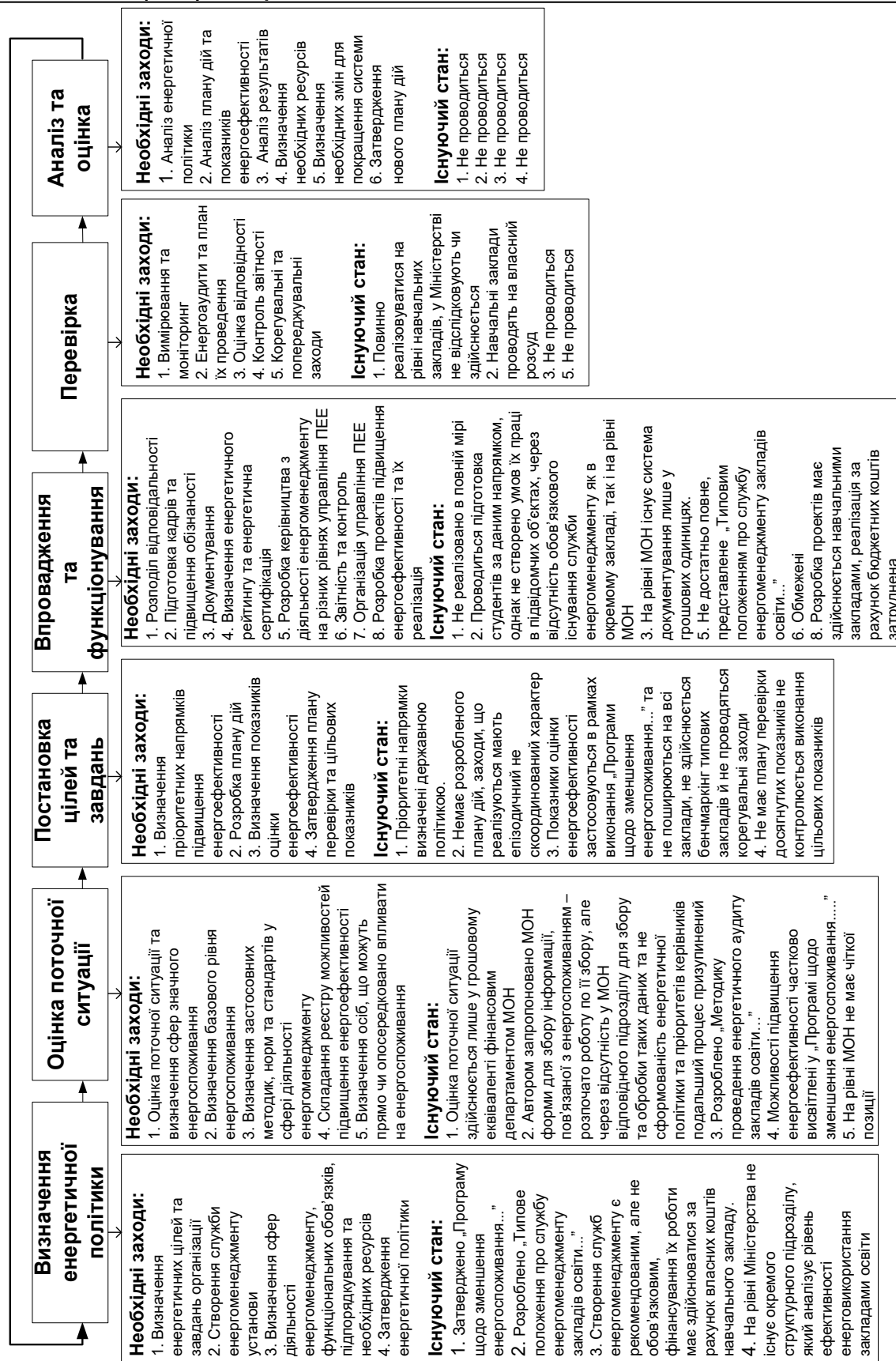


Рисунок 1 – Оцінка відповідності існуючої системи управління ПЕЕ галузі освіти міжнародним стандартам

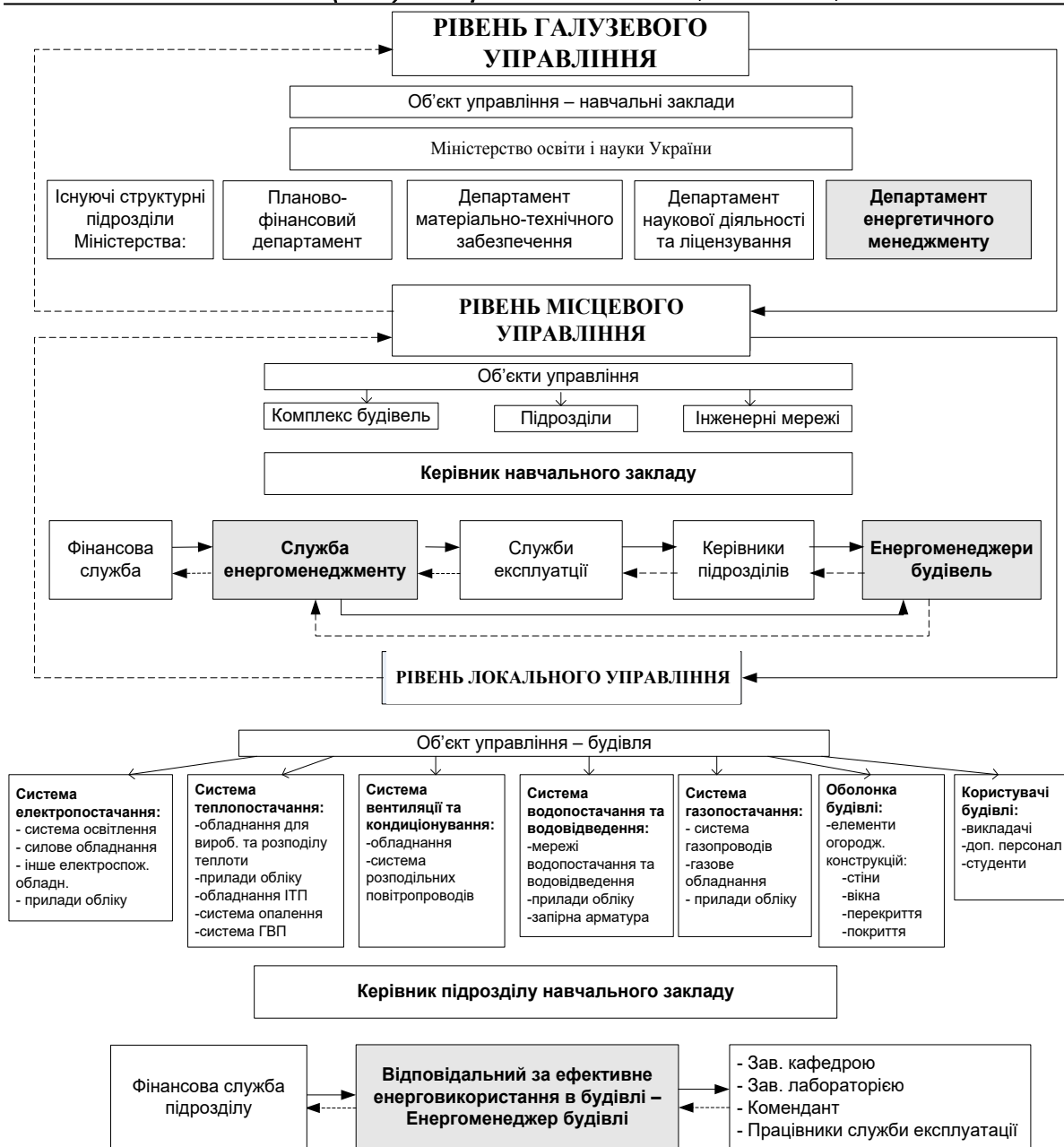


Рисунок 2 – Концептуальна модель управління ПЕЕ на прикладі галузі освіти України [1, 8]

ЕМ може позитивно вплинути на реалізацію організаційних і технічних заходів, а також забезпечити поведінку споживачів, яка зводить до мінімуму марнотратне використання енергії. Особливо важливим є створення у ВНЗ ефективної структури (відділу, служби), яка здатна збирати й аналізувати інформацію для визначення потенціалу енергозбереження, систематизувати дані, а також розробляти технічні рішення, контролювати впровадження заходів та процес енергоспоживання.

СЕМ повинна бути частиною загальної системи управління ВНЗ, основним завданням якої є управління ефективністю споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) шляхом здійснення обліку, контролю, планування, нормування та аналізування витрат ПЕР, проведення внутрішніх енергоаудитів, впровадження енергозберігаючих заходів, здійснення моніторингу, а також інформування, стимулювання та навчання персоналу та студентів у сфері енергозбереження.

Прикладами організації СЕМ у навчальних закладах є: США – Техаський університет, Мічиганський університет, Каліфорнійський університет, Принстонський університет, Канада – Вінніпегський університет, РФ – Московський енергетичний інститут, ЄС – Копенгагенський університет та ін. У ВНЗ України розпочато процес запровадження СЕМ, зокрема, в НТУУ «КПІ», Сумському державному університеті (СумДУ), Національному авіаційному університеті (НАУ), Полтавському національному

технічному університеті (ПНТУ ім. Ю.Кондратюка), Київському національному університеті технологій та дизайну (КНУТД), Національному гірничому університеті, Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ) та ін.

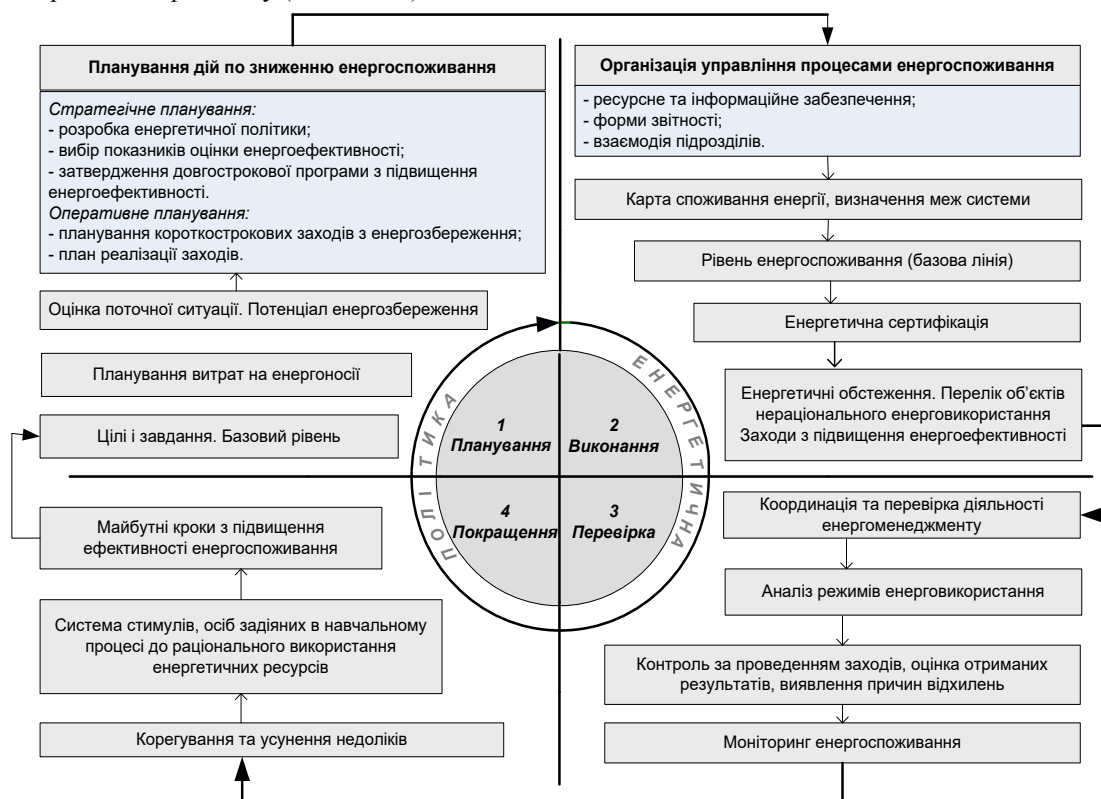


Рисунок 3 – Цикл PDCA: «Плануй – Виконуй – Перевірай – Покращуй» [1]

Проведене дослідження у пілотних ВНЗ України показало, що для створення та організації діяльності СЕМ необхідним є розробка комплексу методичних та супровідних документів, що включає:

- Положення про службу енергоменеджменту;
- посадові інструкції головного енергоменеджера, фахівців служби та відповідальних осіб;
- типову програму енергоефективності;
- методики розрахунку планового тепло-, електро-, паливо-, водоспоживання;
- Положення про порядок моніторингу енерго- та ресурсоспоживання;
- Положення про запровадження системи ощадливого енерговикористання;
- методика оцінювання енергоефективності ВНЗ;
- форми для інвентаризації електроспоживального обладнання;
- форми для збору інформації про енергетичні та експлуатаційні показники;
- Положення про проведення інформаційних заходів (наприклад, конкурсу плакатів на тему енергозбереження).

Надзвичайно актуальним питанням є розробка та створення автоматизованого програмного комплексу для впровадження системи збору та аналізу інформації з енерговикористання. Впровадження СЕМ об'єктів МОН з використанням процесів автоматизації забезпечить виконання таких функцій:

- аналіз дотримання санітарно-гігієнічних норм в будівлях;
- автоматизований збір, обробку та централізоване зберігання енергетичних сертифікатів та енергопаспортів будівель, отриманих в результаті проведених енергетичних обстежень;
- автоматизований збір і обробку даних про фактичне споживання енергоресурсів, інформаційну взаємодію з експлуатованими системами комерційного і технічного обліку;
- можливість роботи з програмами з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності (моніторинг і контроль ходу реалізації програм, оцінка ефективності реалізованих заходів на основі фактичних даних), як на рівні установи, так і на рівні галузі в цілому;
- забезпечення оперативності вирішення задач розподілу енергоресурсів, якості рішень в системі управління, та зниження економічних ризиків від несвочасних та помилкових рішень.

Завдання, які покладені на СЕМ ВНЗ, полягають в управлінні енергоспоживанням, що має на меті скорочення витрат на ПЕР та інші ресурси; умовно їх можна розділити на [8]:

- *розрахунково-аналітичні* (розробка методик розрахунку лімітів енергоспоживання, моніторинг енергоспоживання, розробка програми з енергоефективності, ведення бази даних енергоспоживання, розробка системи мотивації ощадливого енерговикористання);
- *організаційні* (робота з енергопостачальними організаціями, взаємодія профільних факультетів, енергоменеджерів підрозділів, служб експлуатації в питаннях ефективного енерговикористання);
- *облік та обстеження* (енергоаудит, енергетична сертифікація будівель, потенціал енергозбереження);
- *просвітницькі* (організація навчання та обміну досвідом співробітників служб експлуатації, енергоменеджерів будівель, роз'яснювальна робота з питань ощадливого енерговикористання).

Далі зупинимося більш детально на досягненнях окремих ВНЗ в сфері організації СЕМ.

Так, зокрема фахівцями НАУ розробляється програмно-методичний комплекс збору та аналізу інформації об'єктами освіти. Управляючі форми базою даних розроблені для створення автоматизованої системи управління ефективністю енерговикористання об'єктами галузі освіти, аналізу використання ними енергетичних ресурсів, зберігання даних, розробки пропозицій щодо енергозбереження, формування звітності. Технічне забезпечення даної системи передбачає наявність таких засобів: температурних датчиків і витратомірів енергоресурсів, що по бездротовій мережі передають інформацію на промислові засоби збору даних, міні-ЕОМ, які збирають дану інформацію, телефонних дротових модемів, які передають інформацію на сервер, де відбувається зберігання і аналіз отриманих результатів. Як результат ведення цієї бази даних є звіт, який для зручності користування формується у середовищі Excel, що містить дані по абсолютному та питомому енергоспоживанню, а також нормативні вимоги. Розроблено ряд енергозберігаючих заходів, а саме: на трансформаторній підстанції університету проведено заміну трансформаторів, встановлено силові вимикачі сучасного зразка та впроваджено система мікропроцесорного релейного захисту, автоматики та контролю; для якісного створення системи диспетчеризації та моніторингу споживання ПЕР на кафедрі автоматизації та енергоменеджменту механіко-енергетичного факультету створена спеціалізована лабораторія енергозбереження; впроваджено систему контролю та обліку електричної енергії університету; проведено заміну ламп розжарювання на енергозберігаючі, поступова заміна люмінесцентних ламп в аудиторіях на світлодіодні, заміна світильників зовнішнього освітлення типу ДРЛ на бездросельні енергозберігаючі; проводиться робота по можливості встановлення вітрогенераторів та сонячних батарей; розроблено режимне регулювання теплового навантаження, планується оновлення теплоізоляції трубопроводів, реконструкція тепломереж та систем опалення будівель; щорічно проводяться науково-технічні семінари та науково-практичні конференції (на базі кафедри автоматизації та енергоменеджменту Всеукраїнська конференція «Енергетична безпека та енергоефективність», на базі Навчально-наукового інституту екологічної безпеки Міжнародна конференція «Зелена енергетика») з метою обміну досвідом з питань реалізації проектів з енергозбереження та підвищення енергоефективності.

У СумДУ розроблено методологічні основи визначення базового рівня енергоспоживання будівель при визначенні економічної ефективності заходів з енергозбереження. Розроблено методику проведення енергетичних обстежень для об'єктів бюджетної сфери. Спеціалізованою групою з енергетичних обстежень за участю студентів спеціальності «Енергетичний менеджмент» проведені енергетичні обстеження будівель бюджетних закладів м. Суми з визначенням базового рівня енергоспоживання. Також фахівцями СумДУ створено автоматизовану систему моніторингу теплоспоживання будівлями СумДУ, будівлями закладів бюджетної сфери м. Суми. Показники цієї системи слугують вихідними контрольними цифрами щодо лімітування теплоспоживання будівлями за короткочасними прогнозами температури навколишнього повітря та контрольними показниками систем регулювання теплоспоживанням. Розрахункові показники системи є визначальними та основними щодо оцінювання ефективності майбутнього впровадження енергозберігаючих заходів у таких будівлях та оцінювання фактичної економії від впровадження заходів. Основні принципи розробленої автоматизованої системи моніторингу покладені в основу створеної УЖКГ ОДА Сумської області системи моніторингу споживання газу об'єктами комунальної інфраструктури. У СумДУ виконується Комплексна цільова програма «Енергоефективний університет», у рамках якої було проведено тепло- та гідроізоляцію покрівель корпусів і лекційних аудиторій, збудовано котельню на твердому паливі для спортивно-оздоровчого центру СОЦ «Універ», проводилася заміна вікон та приладів опалення, виконано утеплення фасадів, встановлені насоси підмішування у теплопунктах корпусів.

В КНУТД створено службу енергоменеджменту та навчально-наукову лабораторію енергоаудиту з необхідною приладовою базою; встановлено індивідуальні теплопункти з автоматичним регулюванням в

будівлях; впроваджено автоматизовану систему контролю та обліку електроспоживання; впроваджені експериментальні системи автоматизованого управління освітленням навчальних аудиторій; введено в експлуатацію цех з виробництва металопластикових вікон тощо. Також на базі КНУТД щорічно проводиться міжнародна науково-практична конференція «Енергоефективний університет», метою якої є обмін досвідом з питань реалізації проектів з енергозбереження та підвищення енергоефективності у ВНЗ. Одночасно проводиться виставка сучасних енергоефективних розробок у комунальній сфері, низка заходів за участю студентів, зокрема: конкурс плакатів, конкурс студентських наукових робіт та інноваційних проектів, пізнавальний конкурс на тему енергоефективності у форматі брейн-рингу, тощо.

В ПНТУ ім. Ю.Кондратюка створено службу енергоменеджменту та введено систему моніторингу енергоспоживання. Реалізовані наступні енергозберігаючі заходи: режимне регулювання теплового навантаження, теплові насоси для потреби опалення окремих приміщень, використання теплоти витяжного повітря на потреби опалення, використання сонячних колекторів для забезпечення потреби у гарячому водопостачанні споживачів, заміна ламп розжарювання на енергозберігаючі. Триває розробка та впровадження проекту «Влаштування системи опалення навчального корпусу на базі енергозберігаючої системи інфрачервоного випромінювання».

В Національному гірничому університеті реалізовані наступні заходи: термомодернізація будівель університету (заміна вікон, утеплення дахів), впровадження теплових насосів для потреби опалення окремих приміщень, оновлення теплоізоляції трубопроводів, використання електробойлерів у гуртожитках в нічні години для нагріву води (оплата за нічним тарифом), заміна трансформаторів підстанції університету, встановлення датчиків руху для ввімкнення світильників зовнішнього освітлення, заміна світильників зовнішнього освітлення типу ДРЛ на бездросьельні енергозберігаючі, поступова заміна люмінесцентних ламп в аудиторіях на світлодіодні. Серед пріоритетних напрямків роботи університету - впровадження системи АСКОЕ.

В НТУ «ХП» заплановано та частково впроваджено наступні заходи: термомодернізація будівель університету, облаштування тамбурів, реконструкція теплопунктів у будівлях з встановлення приладів обліку теплоти та автоматики регулювання, реконструкція тепломереж та систем опалення будівель, утилізація теплоти каналізаційних стоків та переливу ванни басейну спорткомплексу, реконструкція систем освітлення. Важливими напрямками для університету є створення системи диспетчеризації та моніторингу споживання ПЕР та створення спеціалізованої лабораторії енергозбереження.

В ІФНТУНГ реалізовані наступні заходи: заміна старих вікон і дверей на сучасні, термомодернізація покрівель; кардинальна модернізація схеми теплопостачання і поступове введення в дію комплексу невеликих котелень безпосередньо поряд або на дахах учбових корпусів; впровадження відновлюваних джерел енергії для опалення та освітлення споруд університету, електротеплоакумуляційної системи опалення в головному корпусі та ін. Сьогодні за рахунок планомірного впровадження заходів з енергоефективності університет економить близько 6 мільйонів гривень в рік, на даний час ведеться підготовка до формування системи енергетичного менеджменту.

Модель організації управління ПЕЕ на прикладі НТУУ «КП»

Сьогодні в НТУУ «КП», на балансі якого більше 50 будівель різного призначення (навчальні корпуси, гуртожитки, житлові будівлі, виробничі корпуси, спорткомплекс, бібліотека, їдальня), створено дворівневу систему енергоменеджменту, що координується СЕМ та має свої осередки в кожній будівлі університету (призначено відповідальних осіб за ефективне енерговикористання). Кількість працівників СЕМ: головний енергоменеджер, три інженери за напрямками (тепло-, електро-, водоспоживання), адміністратор АСКОЕ НТУУ «КП». Служба енергоменеджменту у своїй діяльності керується затвердженим «Положенням про СЕМ», підпорядковується безпосередньо ректору та знаходиться в оперативному управлінні проректора з адміністративно-господарської роботи (рис.4). Діє Рада з енергозбереження, до складу якої увійшли провідні науковці підрозділів університету.

Розроблено Програму з енергоефективності НТУУ «КП», завдяки чому вдалося реалізувати велику кількість заходів, починаючи від налагодження організаційної структури СЕМ та взаємодії підрозділів в питаннях енерговикористання до реалізації більш масштабних проектів на зразок «Модернізація системи освітлення з використанням світлодіодних джерел світла», «Встановлення автоматики погодного регулювання витрати теплоносія», «Встановлення відокремленого технічного обліку електричної енергії та холодної води в буфетах університету», «Заміна електроконфорок у Центрі студентського харчування та гуртожитках студмістечка» тощо. За результатами діяльності СЕМ середньорічна економія ПЕР становить близько 6 млн. грн. за рахунок як технічних, так організаційних та інформаційних заходів.

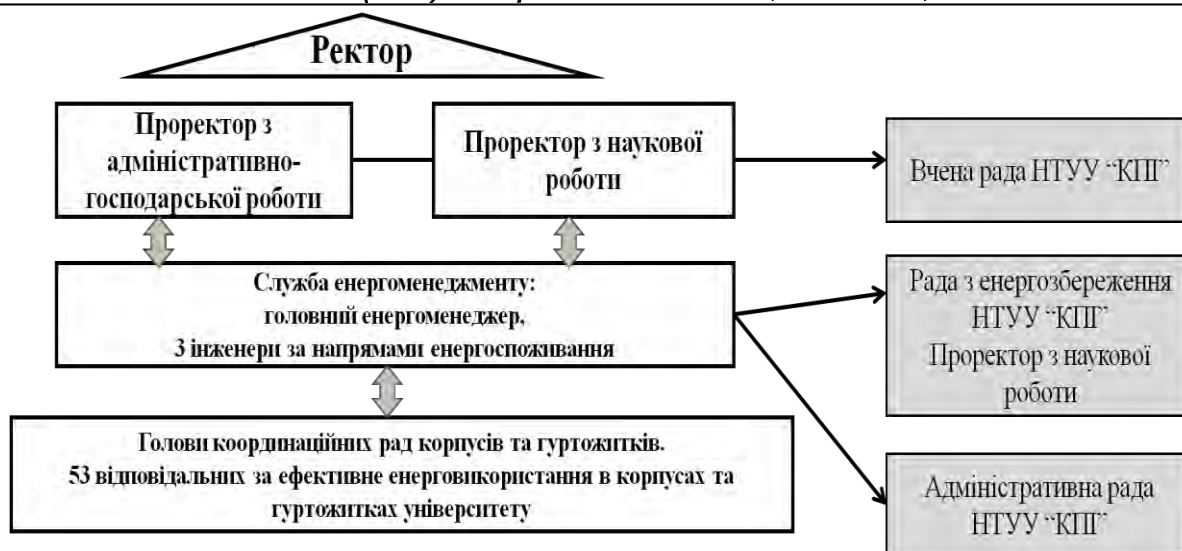


Рисунок 4 – Організаційна структура СЕМ НТУУ «КІП»

Сьогодні кожна будівля університету обладнана приладами обліку теплової енергії, електроенергії та води; має особу, відповідальну за ефективне енерговикористання, проведено навчання цих людей за основними напрямками роботи; основна частина корпусів обладнана стендами з актуальною інформацією про енерговикористання; налагоджено щоденний моніторинг витрат теплоти; планово замінюються вікна та двері в будівлях, проводиться роз'яснювальна робота з громадою університету, впроваджуються інші енергоощадні заходи, в тому числі за рахунок залучених інвестиційних коштів. Проведено енергообстеження будівель з розробкою рекомендацій щодо найбільш доцільних заходів з енергозбереження (як швидкокоупних, так і довгострокових реноваційних) з урахуванням дотримання нормативних комфортних умов і сучасних вимог щодо теплового захисту огорожень та енергоефективності інженерних систем. Під час проведення енергоаудиту будівель активно залучаються студенти для збору первинної інформації та проведення вимірювань в рамках виконання курсових та дипломних проектів під керівництвом фахівців. В подальших планах – пошук можливостей участі університету у державних програмах з енергозбереження, в тому числі стосовно проведення масштабної термомодернізації будівель, продовження переоснащення систем освітлення, оновлення систем енергопостачання з застосуванням поновлюваних джерел енергії, створення системи автоматизованого знімання показів приладів обліку тепло-, електроенергії та води, пошук фінансових ресурсів для реалізації проектів «Використання енергії сонця для виробництва електричної енергії для часткового покриття потреби навчальних корпусів, задіяних у роботі приймальної комісії», «Модернізація системи вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря у басейні», «Забезпечення автономного тепlopостачання студентського кампусу «Власне тепло», «Використання надлишків теплоти від роботи суперкомп'ютера для локального обігріву експозиційної зали»тощо.

Окремо слід зупинитися на організації системи мотивації ощадливого енерговикористання в університеті, для чого Службою енергоменеджменту КІП розроблене відповідне «Положення про систему ощадливого енерговикористання» [21]. Концепція системи мотивації полягає у визначенні рейтингу підрозділу НТУУ «КІП» за показниками: динаміка зменшення енергоспоживання, виконання лімітів енергоспоживання, індекс реалізації технічних заходів з енергозбереження, індекс реалізації організаційних заходів з енергозбереження (ефективність роботи енергоменеджера будівлі; участь у розробці, реалізації, пошуку фінансування для проектів з підвищення енергоефективності, організація та проведення інформаційних заходів, виконання курсових та дипломних проектів на тему енергозбереження; проведення роз'яснювальної роботи). Рейтинг підрозділу визначається двічі в рік та оприлюднюється в інформаційних ресурсах НТУУ «КІП» (рис. 5). Розподіл зекономлених коштів для підрозділів, що отримали найвищі рейтинги (п'ять найкращих), здійснюється у наступній пропорції: Фонд енергозбереження НТУУ «КІП» - 40%, Фонд енергозбереження підрозділу - 60% (в тому числі до 10% на стимулювання персоналу).

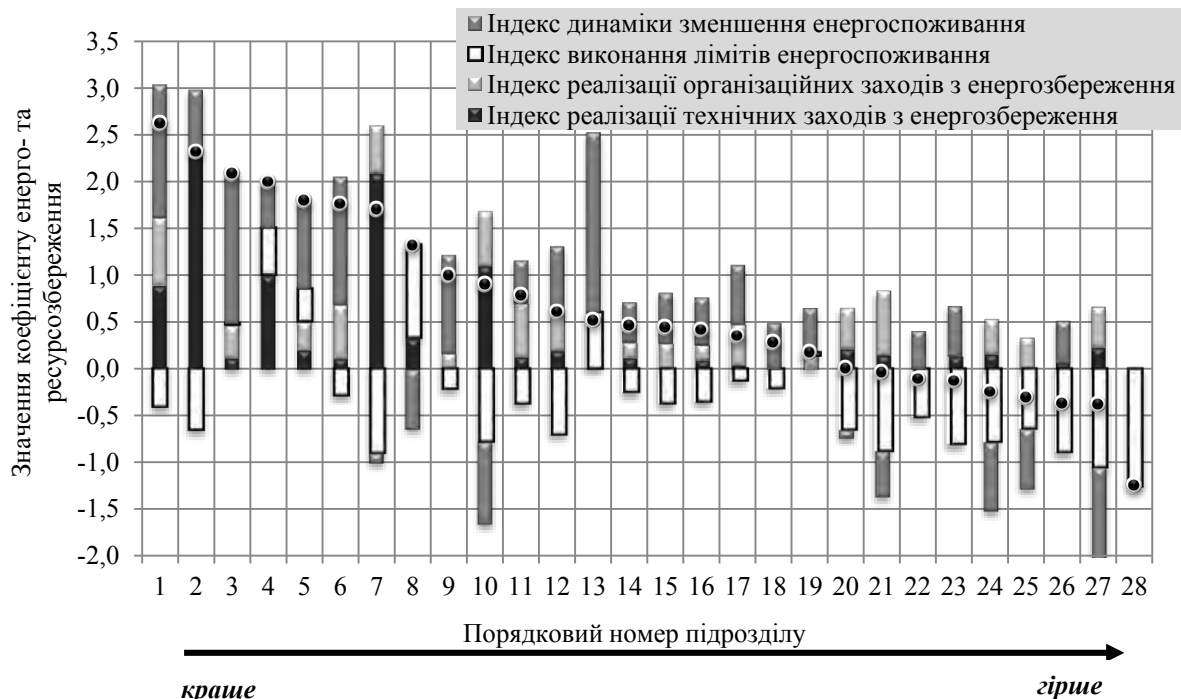


Рисунок 5 – Рейтинг підрозділів НТУУ «КПІ» з енерго- та ресурсозбереження

Освітні програми, в яких приймає участь НТУУ «КПІ», направлені на розповсюдження ідей енергозбереження, покращення підготовки фахівців з енергоменеджменту, підвищення кваліфікації спеціалістів, стимулювання молоді до творчої праці. НТУУ «КПІ» приймає активну участь у міжнародних проектах за програмами ЄС: 7 РП (Сьома рамкова програма), Tacis, Intas, Inco-Sopernicus, в тому числі українсько-норвезькому співробітництві з вищої освіти в інтересах сталого енергетичного розвитку. НТУУ «КПІ» є учасником Програми ЄС ТЕМПУС, спрямованої на модернізацію вищої освіти та створення єдиного освітнього простору країн Євросоюзу. Вже багато років НТУУ «КПІ» є організатором Всеукраїнського творчого конкурсу «Молодь-енергетиці України», Всеукраїнської студентської олімпіади з енергоменеджменту та багатьох інших заходів, що стосуються енергозбереження. Зокрема, у 2011 році НТУУ «КПІ» долучився до впровадження програми «Енергоефективні університетські містечка», що є складовою Проекту «Реформа міського теплозабезпечення в Україні», який реалізується в рамках проекту Агентства США з міжнародного розвитку (USAID). Вже протягом багатьох років в Центрі підготовки енергоменеджерів при Інституті енергозбереження та енергоменеджменту постійно проводяться курси підвищення кваліфікації з енергоаудиту. За останні роки група фахівців НТУУ «КПІ» пройшла програму підвищення кваліфікації за програмою ЮНІДО з використанням методології більш чистого виробництва, що включає оцінку й аналіз енергетичних, матеріальних балансів з метою підвищення якості продукції і послуг, зниження ресурсоспоживання та впливу на довкілля. Серед інших об'єктів дослідження були задіяні будівлі НТУУ «КПІ» (спорткомплекс, учбовий корпус та гуртожиток), результати обстежень використані при виконанні бакалаврських та магістерських робіт, в яких для більш ґрунтовного аналізу виконувалося деталізоване енергетичне обстеження з використанням комп'ютерного моделювання.

Маючи за мету приєднання до мережі університетів, що підтвердили свою прихильність до сталого розвитку в сфері вищої освіти, НТУУ «КПІ» об'єднує зусилля свідомих представників громади над розробкою проекту «Зелений кампус», мета якого - створення on-line платформи для взаємодії та обміну досвідом; створення спеціального фонду для підтримки ініціатив студентів. Основні сфери впливу: управління відходами; енергозбереження; транспорт; еко-освіта; громадське харчування; охорона навколишнього середовища; охорона праці; загальне управління університетом.

Таким чином, університет працює над вихованням енергоощадливої поведінки споживачів і формуванням у студентів, викладачів, співробітників нового типу мислення, заснованого на розумінні цінності ресурсів.

Висновки

Показано підходи до побудови системи енергоменеджменту ВНЗ, розглянуто методи і механізми управління процесами енергоспоживання. На конкретних прикладах розглянуто реалізацію пілотних проектів стосовно організації роботи служби енергоменеджменту та впровадження енергозберігаючих заходів; підтверджено економічну доцільність розповсюдження результатів в інших ВНЗ України.

Список використаної літератури

1. Система енергетичного оцінювання об'єктів галузі освіти [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук за спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси» / О.М. Шевченко – Київ, НТУУ «КПІ», 2012. – 25 с.
2. Розробка багатокритерійних моделей та засобів управління енерговикористанням у навчальних закладах [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук за спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси» / Є.А. Ячник – Київ, НТУУ «КПІ», 2011. – 20 с.
3. Моніторинг споживання електроенергії інфраструктурою вищого навчального закладу (на прикладі Черкаського державного технологічного університету) [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук за спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси» / В.Ф. Ткаченко – Київ, ІТТФ НАН України, 2014. – 23 с.
4. Бурдо О.Г. Формування енергетичної програми вищого навчального закладу / Бурдо О.Г., Мординський В.П., Светлічний П.І. // Збірник наук. праць II міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку -2015". [Київ, 20.05.15], - с.31.
5. Соловій І.П. Управління навчальним закладом на засадах сталого розвитку / Соловій І.П., Генік Я.В., Соловій В.І. // Метод. посібник для проф.-техн. начальних закладів. – Київ, 2013. – 146 с.
6. Шовкалюк М.М., Войналович Н.О. Аналіз ефективності енергоспоживання та оцінка впливу експлуатаційних факторів навчальних корпусів / Енергетика: економіка, технології, екологія, №4/2015 – 100-105 с.
7. Білоус І.Ю. Моніторинг температурного стану навчального корпусу / В.І. Дешко, І.Ю. Білоус // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2015. – №2 – с. 24-32.
8. Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах / Білоус І.Ю., Дешко В.І., Суходуб І.О., Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. [під заг. ред. В.І. Дешка]. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 188 с.
9. Суходуб І.О. Енергетичне обстеження будівлі учбового призначення [Текст] / Суходуб І.О., Яценко О.І. // Молодий вчений, 2015. - №6(21), Ч.І. - с. 31-35.
10. Верховтуров О.М. Використання апарату множинної регресії в задачах аналізу, обліку і планування електроспоживання організацій, розосереджених в групі будівель / О.М.Верхотуров, В.І. Дешко, О.М. Шевченко // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Вип. 87: праці міжнар. наук.-практ. конф. (8-9.10.2009р). – Харків: ХНТУСГ, 2009.– с.162.
11. Праховник А. В. Аналіз енергетичних показників навчального корпусу / А.В. Праховник, В.І. Дешко, О.М. Шевченко // Енергетика та електрифікація. – 2011. – № 4. – с. 58-67.
12. Дешко В.І. Структурний аналіз енергоспоживання й енергозбереження в галузі освіти / В.І. Дешко, О.М. Шевченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2011. – № 6. – с.139-147.
13. Сафуліна К.Р., А.Г. Колієнко, Р.Ю. Тормосов. Енергозбереження в університетських містечках: посібник для студ. вищих закл. освіти – К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2010. – 328 с.
14. В.І. Дешко. Розвиток енергетичної освіти в середній школі / В.І. Дешко, А.В. Праховник, О.І.Соловей, І.Л. Шилович // Метод. посібник для вчителів - К:Київ. нот. ф-ка, 1999.
15. Мельникова О.В. Енергозбереження / Мельникова О.В. Праховник А.В. Даг Арне Хойстад, В.І.Дешко, Іншеков Є.М., Конеченков А.Є. // Посібник з раціонального використання ресурсів та енергії для учнів загальноосвітньої школи. - К.: Видавництво «КВІЦ», 2004.
16. Праховник А.В. Енергозбереження та пом'якшення змін клімату. Посібник для учнів загальноосвітніх навчальних закладів / Праховник А.В., Фрісов Л.Ф., Іншеков Є.М., Дешко В.І., Стрелкова Г.Г., Мельникова О.В. – Київ, 2010.–128с.
17. Програма щодо зменшення споживання енергоресурсів навчальними закладами та установами освіти на 2010—2014 рр. [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Міністерства освіти і науки. – Режим доступу: <http://www.mon.gov.ua>
18. Методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти. Загальні положення. Порядок проведення. – К.: НТУУ «КПІ» ІЕЕ, 2009 – 74 с.
19. Типове положення про запровадження енергетичного менеджменту в навчальних закладах та установах Міністерства освіти і науки України. – К.: НТУУ «КПІ» ІЕЕ, 2009 – 14 с.

20. ISO 50001:2011. Energy management systems—Requirements with guidance for use. – CEN/CENELEC. – European Committee for Standardization. – 2011. – 22p.

21. Науковий твір "Положення про систему мотивації ощадливого енерговикористання підрозділами вищого навчального закладу" (Свідоцтво авторського права на твір №55959 від 06.08.2014 р.)

V.I. Deshko¹, O.M. Shevchenko¹, M.M. Shovkaliuk¹, I.O. Sukhodub¹, M.I. Sotnyk², N.P. Sokolova³

¹ – National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

² – Sumy State University

³ – National Aviation University

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM ESTABLISHING AND FUNCTIONING EXPERIENCE IN UNIVERSITIES

Education facilities have a material base and are consumers of energy resources. Two aspects of sustainable development (energy and economic) play an important role in ensuring educational services quality and specialists training, whose decisions and actions will affect the development of individual organizations, companies, industries and countries in general. Optimal control of energy consumption processes and energy efficiency of individual educational institutions and the industry in general requires the development and improvement of science and technical and administrative methods. Education facilities, as well as other budget financing structures, require a systematic approach to the management and analysis of energy efficiency. Model for energy consumption processes management, organizational structure, mechanisms for energy management system and system of interaction between departments were shown on the examples of the pilot universities. Paper will be interesting for scientific, educational, technical workers and professionals involved in the development and implementation of energy management systems and energy saving measures in educational institutions.

Keywords: energy management, energy efficiency, higher educational institution, energy saving

References

1. The system of education facilities energy assessment: abstract of dissertation for the degree of Ph.D. on specialty 05.14.01 "Energy systems and complexes" / O.M. Shevchenko. – Kyiv, NTUU "KPI", 2012 – 21 p.

2. Development of multicriterion models and methods of management the power use is in educational establishments: abstract of dissertation for the degree of Ph.D. on specialty 05.14.01 "Energy systems and complexes" / I.A. Iachnyk – Kyiv, NTUU "KPI", 2011. – 20 p.

3. Monitoring of electricity consumption infrastructure of higher educational institution (on the example of Cherkasy State Technological University): abstract of dissertation for the degree of Ph.D. on specialty 05.14.01 "Energy systems and complexes" / V.F. Tkachenko – Kyiv, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, 2014. –23 p.

4. Burdo O.H. Energy program formation for higher education institution / O.H. Burdo, V.P. Mordynskiy, P.I. Svetlichnyi // Collection of abstracts of II International scientific and educational conference "Problems of energy management system – PEMS'15. [Kyiv, 20.05.15], - p.31.

5. Solovii I.P. Management of the institution on the basis of sustainable development / Solovii I.P., Henyk Ia.V., Solovii V.I. // Methodological manual for technical-vocational education facilities. – Kyiv, 2013. – 146 p.

6. Shovkaliuk M.M. Voinalovych N.O. Analysis of energy efficiency and operational factors impact assessment of the educational buildings / Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia, №4/2015 – p. 100-105.

7. Bilous I.Iu. Temperature state monitoring for academic building / V.I. Deshko, I.Iu. Bilous // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia, 2015. – №2– p. 24-32.

8. Management of energy use effectiveness in higher educational institutions / Bilous I.Iu., Deshko V.I., Sukhodub I.O., Shevchenko O.M., Shovkaliuk M.M. [edited by Deshko V.I.]. – K.: NTUU "KPI", 2015. – 188 c.

9. Sukhodub I.O. Educational building energy survey / Sukhodub I.O., Yatsenko O.I. // Molodyi vchenyi, 2015. - №6(21), Part I. - p. 31-35.

10. Verkhoturov O.M. Using multiple regression analysis for analysis, accounting and planning of power consumption problems of organizations, dispersed in a group of buildings / O.M.Verkhoturov, V.I. Deshko, O.M. Shevchenko // Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Vol. 87: Proceedings of International scientific-practical conference (8-9.10.2009). – Kharkiv: KhNTUSH, 2009.– p.162.

11. Prakhovnyk A. V. Analysis of the academic building energy performance / A.V. Prakhovnyk, V.I. Deshko, O.M. Shevchenko // Enerhetyka ta elektryfikatsiia. – 2011. – № 4. – p. 58-67.

12. Deshko V.I. Structural analysis of energy consumption and energy saving in educational sector / V.I. Deshko, O.M. Shevchenko // Naukovi visti NTUU «KPI», 2011. – № 6. – p.139-147.

13. Safulina K.R., Koliienko A.H., Tormosov. R.Iu. Energy efficiency in campuses: a guide for students of higher educational institutions – K.: TOV «Polihraf plus», 2010. – 328 p.

14. Deshko V.I. The development of energy education in secondary schools / V.I. Deshko, A.V. Prakhovnyk, O.I.Solovei, I.L. Shylovykh - K: Kyiv. not. f-ka, 1999.
15. Melnykova O.V. Energy saving / Melnykova O.V. Prakhovnyk A.V. Dah Arne Khoistad, V.I. Deshko, Inshekov Ie.M., Konechenkov A.Ie. // Guide to the rational use of resources and energy for secondary school students. - K.: Vydavnytstvo «KVITs», 2004. – 104 p.
16. Prakhovnyk A.V. Energy efficiency and climate change mitigation. Guide for secondary schools / Prakhovnyk A.V., Frisov L.F., Inshekov Ie.M., Deshko V.I., Strelkova H.H., Melnykova O.V. – Kyiv, 2010.–128 p.
17. The program for energy consumption reducing of universities and educational institutions in 2010—2014. / The official website of the Ministry of Education and Science. – Access mode: <http://www.mon.gov.ua>
18. Energy audit methodology of educational institutions. General terms. Procedure. – K.: NTUU «KPI» IEE, 2009 – 74 p.
19. Typical regulations on the introduction of energy management in schools and institutions of the Ministry of Education and Science of Ukraine. – K.: NTUU «KPI» IEE, 2009 – 14 c.
20. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use. – CEN/CENELEC. – European Committee for Standardization. – 2011. – 22 p.
21. Scientific work "Provisions of energy saving incentive system for university units" (certificate of copyright №55959 from 06.08.2014).

УДК 620.91:697.1

В.И. Дешко¹, д-р техн. наук, проф.; **Е.Н. Шевченко**¹, канд. техн. наук, асс.,
М.М. Шовкалюк¹, канд. техн. наук, доц., **И.О. Суходуб**¹, канд. техн. наук, ст. преп.,
Н.И. Сотник², д-р техн. наук, доц., **Соколова Н.П.**³, доц.

¹ – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

² – Сумской государственной университет

³ – Национальный авиационный университет

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА В ВУЗах

Учебные заведения имеют материальную базу и являются потребителями энергетических ресурсов, и эти два аспекта устойчивого развития (энергетический и экономический) играют важную роль в обеспечении качества образовательных услуг и подготовке специалистов, которые будут влиять своими решениями и действиями на развитие отдельных организаций, предприятий, отраслей и страны в целом. Оптимальное управление процессами энергопотребления и энергосбережения отдельных образовательных учреждений и отрасли в целом требует развития и совершенствования научно-технических и управленческих методов. Объекты сферы образования, как и другие структуры бюджетного финансирования, требуют системного подхода к управлению и анализу эффективности энергопотребления. На примере пилотных вузов показано модели управления процессами энергопотребления, организационная структура, механизмы системы энергоменеджмента и система взаимодействия между подразделениями. Данная статья будет интересна для научных, педагогических, инженерно-технических работников и специалистов, занимающихся разработкой и внедрением систем энергетического менеджмента и мер по энергосбережению в учебных заведениях.

Ключевые слова: энергетический менеджмент, эффективность энергопотребления, высшее учебное заведение, энергосбережение.

Надійшла 18.03.2016

Received 18.03.2016

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

УДК 536.24:533.6.011

М.М. Вознюк, В.А. Рогачов, канд. техн. наук, доц.,
О.М. Терех, канд. техн. наук, старш. наук. співроб; О.В. Баранюк, канд. техн. наук
Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

ТЕПЛООБМІН ПАКЕТІВ ПЛОСКООВАЛЬНИХ ОРЕБРЕНИХ ТРУБ В УМОВАХ ВІЛЬНОЇ КОНВЕКЦІЇ І ПРИРОДНОЇ ТЯГИ

Проведені експериментальні дослідження теплообміну дворядних шахового та коридорного пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням в умовах вільної конвекції і природної тяги в діапазоні чисел Релея $3000 < Ra < 30000$. Показана відмінність теплообміну в умовах вільної конвекції та природної тяги, яка свідчить, що інтенсивність теплообміну шахового та коридорного пакетів труб в умовах природної тяги у 1,8...2 рази більша ніж в умовах вільної конвекції. Проведено порівняння отриманих даних з теплообміну для шахового і коридорного пакетів. Результати порівняльного аналізу показали, що інтенсивність теплообміну шахового та коридорного пакетів в умовах вільної конвекції та природної тяги при числах Релея $Ra < 7000$ є практично однаковою. При числах Релея $7000 < Ra < 20000$ в режимі природної тяги інтенсивність теплообміну шахового пакету на 10...13% вища, ніж у коридорному.

Ключові слова: теплообмін, плоскоовальна труба, поперечні ребра, шаховий, коридорний, пакет, вільна конвекція, природна тяга.

Вступ

В хімічному та нафтохімічному виробництвах, на ТЕС та АЕС України, як правило, застосовують системи випарувального контактного охолодження у вигляді градирень. Зазначені системи охолодження мають ряд суттєвих недоліків, один з них полягає у тому, що втрати води на випаровування та в результаті винесення у атмосферу в літній період доходять до 7% від загального об'єму охолоджуючої зворотної води, яку необхідно підживлювати додатковою водою. Через великий викид водяної пари посилюється „парниковий ефект”, виникає теплове забруднення навколишнього середовища, що у підсумку підвищує екологічну небезпеку. У зв'язку з цим, набувають важливого народногосподарського значення, особливо в посушливих районах України з напруженим водним балансом, питання дослідження систем повітряного охолодження технологічних продуктів в пристроях енергетичного або промислового призначення („сухі” градирні, апарати повітряного охолодження, повітряні конденсатори і т.п.) на основі нових ефективних теплообмінних поверхонь з оребрених труб. Крім того, на сьогоднішній день існує велика потреба у створенні перспективних зручнообтічних поверхонь теплообмінних апаратів, які можна надійно експлуатувати в умовах вільної конвекції або природної тяги з меншими енерговитратами, порівняно з умовами примусової конвекції, де на прокачування повітря застосовуються великі електроприводні вентилятори.

Такі поверхні, розроблені на новій елементній базі в НТУУ „КПІ” у вигляді плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням [1-4], що забезпечують зниження металоемності та габаритів на (20-25)% порівняно з поверхнями з традиційних круглоребристих труб, які широко застосовуються у теперішній час в різних теплообмінних пристроях [5-8].

Постановка проблеми, мета та завдання

Відомо, що за допомогою систем „сухого” повітряного охолодження технічної води економиться більше ніж 90% підживлюваної води, яка споживається випарувальними градирнями. Підвищення ефективності можна забезпечити шляхом запровадження в „сухих” градирнях теплообмінних поверхонь у вигляді пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням. Поверхні мають високі теплоаеродинамічні характеристики, а саме поєднують в собі високий ступінь розвинення поверхні, ідеальний термічний контакт між ребрами і основною трубою, низький аеродинамічний опір та високу

технологічність. Але на цьому шляху є ряд невирішених проблем, одна з них – відсутність методик для розрахунку теплообміну поверхонь з плоскоовальних оребрених труб, що працюють в режимах вільної конвекції та природної тяги і відповідають низьким швидкостям омиваючого повітряного потоку.

Метою роботи є отримання нових даних з теплообміну малорядних пакетів з плоскоовальних оребрених труб шахового та коридорного компонувань для умов вільної конвекції і природної тяги, виявлення впливу на інтенсивність теплообміну при переході від вільної конвекції до природної тяги.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

– виконати дослідження теплообміну шахового та коридорного дворядних пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням в умовах вільної конвекції і природної тяги в діапазоні $3000 < Ra < 30000$;

– виявити вплив на інтенсивність теплообміну компонувань пакетів труб при переході від вільної конвекції до природної тяги;

– провести порівняльний аналіз отриманих даних з теплообміну для шахового та коридорного пакетів плоскоовальних оребрених труб.

Методика та об'єкт дослідження

Експериментальні дослідження теплообміну шахового та коридорного пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням (рис.1, 2) з однаковими поперечним та поздовжнім кроками між трубами, відповідно $S_1 = 60$ мм, $S_2 = 60$ мм, виконані на експериментальній установці за методиками, які детально викладені в [4].

Установка складалася з опорної рами, робочої секції прямокутного перерізу, в трубних дошках якої розташовувалися горизонтальні дворядний шаховий чи коридорний пакети оребрених труб та витяжного коробу [4]. Для дослідження умов природної тяги на теплообмінну секцію зверху встановлювався витяжний короб прямокутного перерізу вистою 1м, а при вивченні вільної конвекції він був відсутній. Досліджувався один типорозмір оребреної труби, геометричні характеристики якої наведені у табл.1.

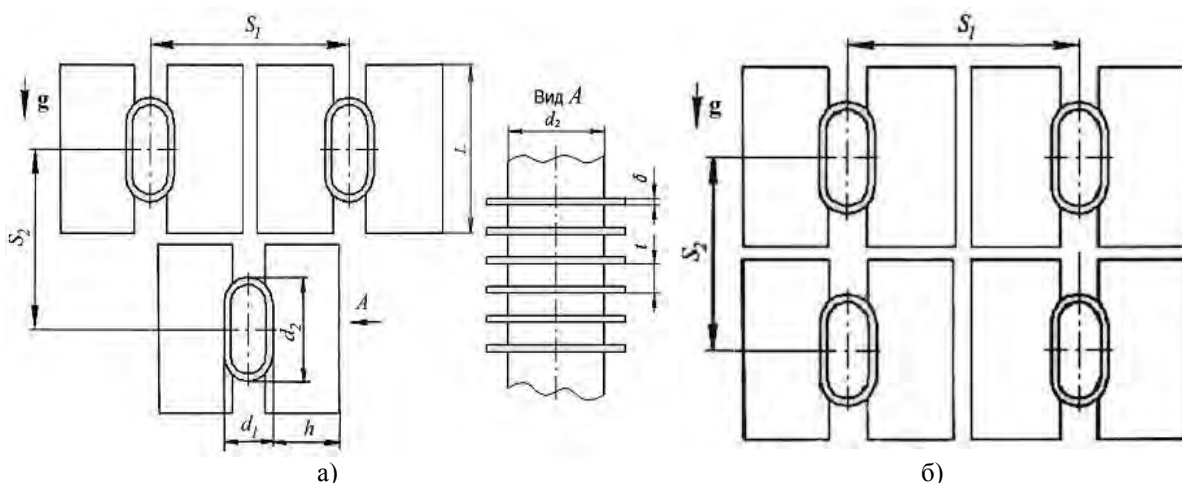


Рисунок 1 – Пакети плоскоовальних труб з неповним оребренням: а – шаховий; б – коридорний

Таблиця 1 – Геометричні характеристики оребреної труби

Найменування величини	Позначення	Значення
Поперечний розмір труби	d_1 , мм	15,0
Поздовжній розмір труби	d_2 , мм	30,0
Висота ребер	h , мм	19,0
Крок ребер	t , мм	4,0
Відносне видовження профілю	d_2 / d_1	2,0
Коефіцієнт оребрення	ψ	14,24

В процесі проведення експериментів визначалися середній α_{cp} (сума конвективного і променистого коефіцієнтів тепловіддачі) і середній приведений $\alpha_{cp}^{прив}$ коефіцієнти тепловіддачі, безпосередньо за результатами виміру температурного поля ребра і стінки труби біля кореня ребра. Променева складова в експериментах не перевищувала 5% і тому в подальшій обробці даних з тепловіддачі не враховувалася [4].

Результати досліджень

Дослідження теплообміну пакетів плоскоовальних труб з неповним оребренням, проводились в області змінення чисел Релея $Ra = Gr_{d_1} \cdot Pr$ від 3000 до 30000. Дослідні дані достатньо добре узагальнюються степеневу залежністю виду

$$Nu = C_q (Gr_{d_1} \cdot Pr)^m. \quad (1)$$

Значення показника степеня m і коефіцієнту C_q у формулі (1) для дворядного коридорного пакету труб наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Дослідні значення величин m , C_q в формулі (1) для дворядного коридорного пакету

Варіант		m	C_q
Перший ряд пакету			
Вільна конвекція	середній	0,5415	0,0161
	приведений	0,5200	0,0183
Природна тяга	середній	0,3480	0,2450
	приведений	0,2927	0,3520
Другий ряд пакету			
Вільна конвекція	середній	0,4280	0,0191
	приведений	0,4082	0,0221
Природна тяга	середній	0,4530	0,0346
	приведений	0,4271	0,0406
Середній для пакету			
Вільна конвекція	середній	0,4906	0,0152
	приведений	0,4647	0,0184
Природна тяга	середній	0,4196	0,0724
	приведений	0,3877	0,0877

Результати дослідження теплообміну дворядного коридорного пакету в умовах вільної конвекції та в умовах природної тяги та їх порівняння представлені на рис. 2 та рис. 3.

З аналізу даних рис. 2 випливає, що для другого за ходом потоку ряду дворядного коридорного пакету, як в умовах вільної конвекції, так і в умовах природної тяги, інтенсивність теплообміну нижча на 95-98% ніж для першого ряду пакету. Таке зниження інтенсивності тепловіддачі пов'язане з тим, що при розташуванні труб одна над одною, локальні швидкості потоку у міжтрубному просторі ряду більші. В той же час локальні швидкості потоку після першого ряду над плоскоовальними трубами при вході в другий ряд будуть значно меншими. Це призводить до того, що потік на вході до труб другого ряду буде мати значно більшу температуру, ніж на вході до першого, відповідно температурний напір збільшиться, тому інтенсивність теплообміну оребрених труб другого ряду значно зменшиться. Аналогічні результати були отримані в роботі [7].

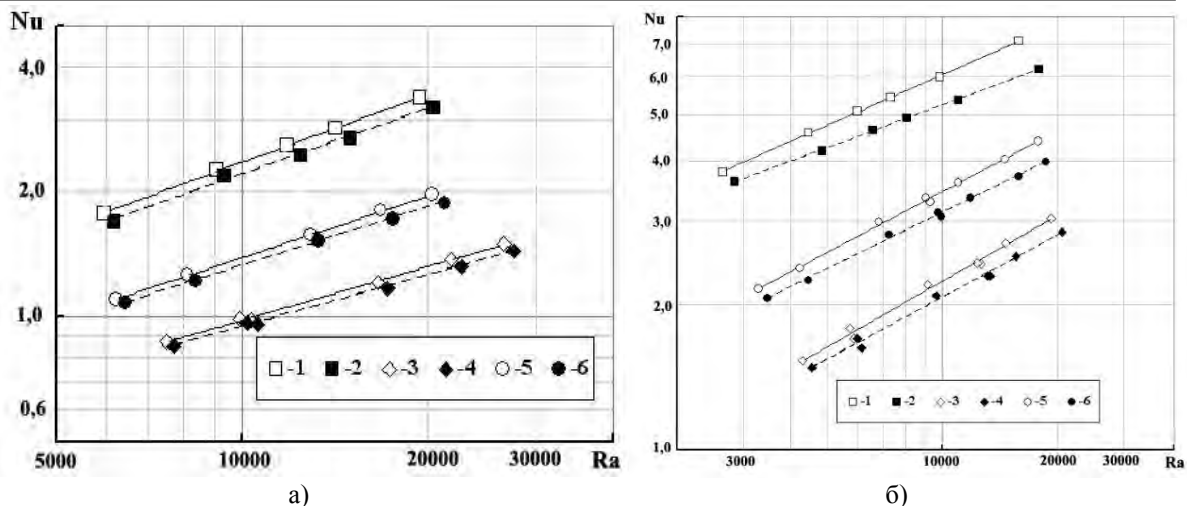


Рисунок 2 – Результати дослідження теплообміну коридорного пакету:
 а) – умови вільної конвекції; б) – умови природної тяги
 1 – перший ряд, середній; 2 – перший ряд, приведений; 3 – другий ряд, середній;
 4 – другий ряд, приведений; 5 – середній по пакету; 6 – приведений по пакету.

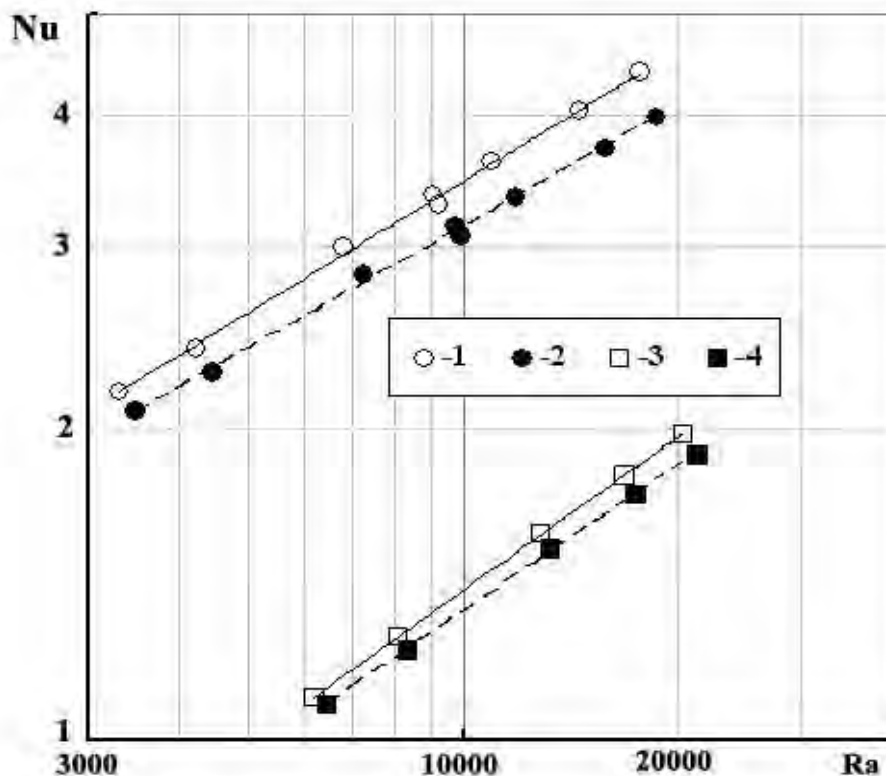


Рисунок 3 – Порівняння теплообміну коридорного пакету в умовах природної тяги та вільної конвекції
 1 – природна тяга, середній; 2 – природна тяга, приведений;
 3 – вільна конвекція, середній; 4 – вільна конвекція, приведений.

При порівнянні середнього теплообміну дворядного коридорного пакету в умовах природної тяги та в умовах вільної конвекції (рис. 3) виявлено, що середня тепловіддача даного пакету в умовах природної тяги є на 100-105% більшою ніж в умовах вільної конвекції.

Результати дослідження тепловіддачі дворядного шахового пакету в умовах вільної конвекції і в умовах природної тяги, та їх порівняння представлено на рис. 4, 5. Значення показника степені m і коефіцієнту C_q у формулі (1) для дворядного шахового пакету наведено в таблиці 3.

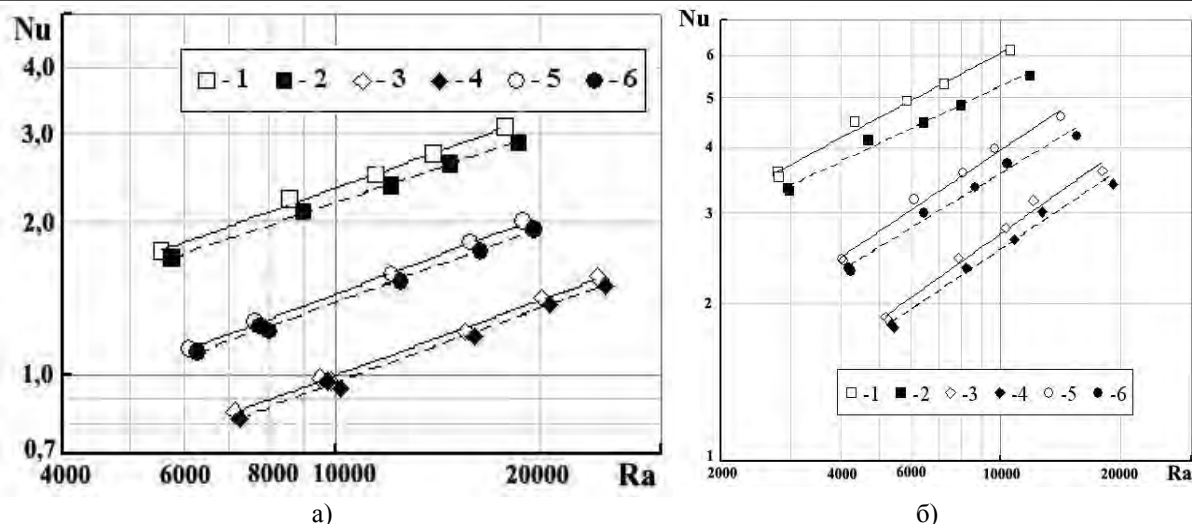


Рисунок 4 – Результати дослідження теплообміну дворядного шахового пакету:
 а – умови вільної конвекції; б – умови природної тяги
 1 – перший ряд, середній; 2 – перший ряд, приведений; 3 – другий ряд, середній;
 4 – другий ряд, приведений; 5 – середній по пакету; 6 – приведений по пакету.

Для дворядного шахового пакету різниця тепловіддачі між першим та другим рядом є меншою ніж для коридорного та складає 65-70%, так як вплив нижнього ряду на температуру потоку, що омиває другий ряд, за шахової компоновки є меншим.

При порівнянні середнього теплообміну дворядного шахового пакету в умовах природної тяги та в умовах вільної конвекції (рис. 5) виявлено, що середня тепловіддача даного пакету в умовах природної тяги є на 80-85% більшою ніж в умовах вільної конвекції.

Підсумовуючи вище сказане, можна констатувати, що різниця між середніми та приведеними коефіцієнтами теплообміну є незначною і складає 2-7%. Згадана обставина вказує на високі коефіцієнти ефективності прямокутного пластинчастого ребра плоско овальної труби.

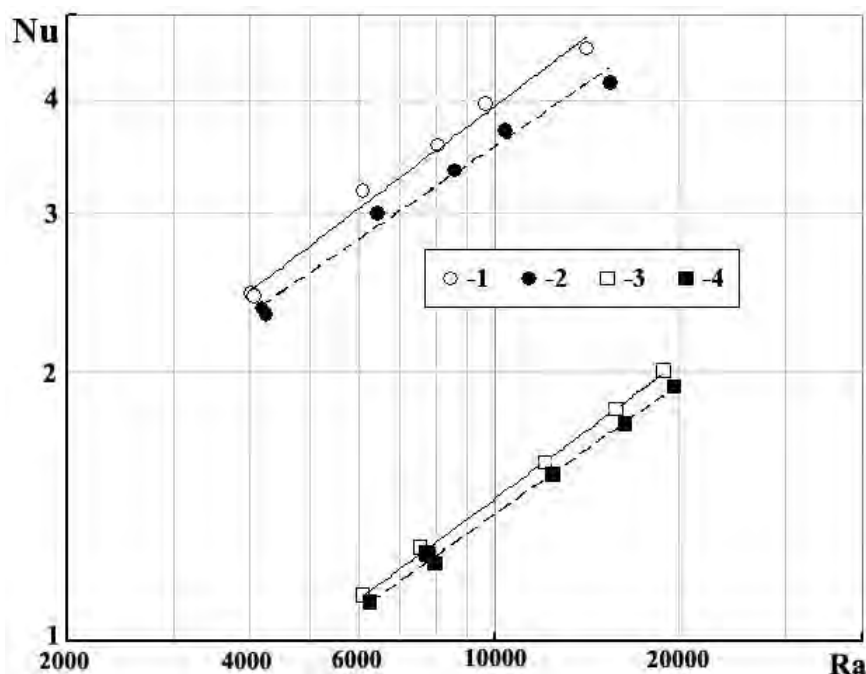


Рисунок 5 – Порівняння теплообміну шахового пакету в умовах природної тяги та вільної конвекції
 1 – природна тяга, середній; 2 – природна тяга, приведений; 3 – вільна конвекція, середній;
 4 – вільна конвекція, приведений

Таблиця 3 – Дослідні значення величин m , C_q в формулі (1) для дворядного шахового пакету

Варіант		m	C_q
Перший ряд пакету			
Вільна конвекція	середній	0,4796	0,0281
	приведений	0,4472	0,0352
Природна тяга	середній	0,4085	0,1408
	приведений	0,3615	0,1868
Другий ряд пакету			
Вільна конвекція	середній	0,4910	0,0108
	приведений	0,4870	0,0108
Природна тяга	середній	0,5463	0,0178
	приведений	0,5131	0,0225
Середній для пакету			
Вільна конвекція	середній	0,5060	0,0136
	приведений	0,4810	0,0164
Природна тяга	середній	0,5154	0,0343
	приведений	0,4656	0,0487

Для виявлення впливу компонування пакету на інтенсивність теплообміну було проведено порівняння середнього теплообміну дворядного шахового і дворядного коридорного пакетів. Результати порівняння середнього теплообміну дворядного коридорного пакету та дворядного шахового пакету в умовах вільної конвекції та в умовах природної тяги представлені на рис. 6.

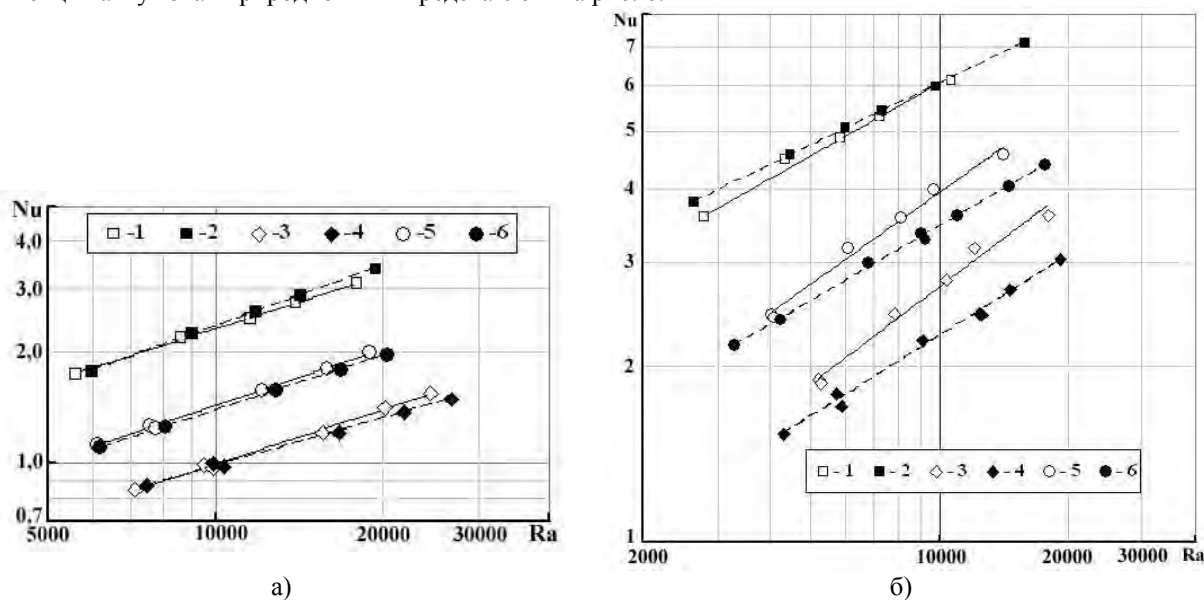


Рисунок 6 – Порівняння середнього теплообміну дворядного коридорного пакету та дворядного шахового пакету:

а – умови вільної конвекції; б – умови природної тяги

- 1 – перший ряд шахового пакету; 2 – перший ряд коридорного пакету; 3 – другий ряд шахового пакету;
 4 – другий ряд коридорного пакету; 5 – середній по шаховому пакету;
 6 – середній по коридорному пакету.

Збіг кривих на рис. 6,а вказує на те, що інтенсивність тепловіддачі шахового та коридорного пучків в умовах вільної конвекції є практично однаковою. При природній тязі (рис. 6,б) в області низьких значень чисел Релея $Ra = (4000-7000)$ спостерігається збіжність значень інтенсивності тепловіддачі шахового та коридорного пакетів, але в інтервалі зміни значень чисел Релея від 7000 до 20000 інтенсивність тепловіддачі шахового пакету на 8-13% вища, ніж коридорного.

Висновки

За результатами досліджень теплообміну дворядних пакетів плоскоовальних труб з неповним поперечним оребренням в області змінення чисел Релея Ra від 3000 до 30000 можна зробити такі висновки.

1. Створення умов природної тяги є дієвим засобом суттєвого збільшення інтенсивності теплообміну розвиненої поверхні.
2. Інтенсивність теплообміну дворядного шахового та коридорного пакетів труб в умовах природної тяги у 1,8...2 рази більша ніж в умовах вільної конвекції.
3. Інтенсивність тепловіддачі шахового та коридорного пакетів в умовах вільної конвекції та природної тяги при числах Релея $Ra < 7000$ є практично однаковою. При числах Релея $7000 < Ra < 20000$ в режимі природної тяги інтенсивність тепловіддачі шахового пакету на 8...13% вища порівняно з коридорним.
4. Різниця між середніми та приведеними коефіцієнтами теплообміну виявилась незначною і склала (2 – 7)%, що вказує на високі коефіцієнти ефективності прямокутного пластинчастого ребра плоско овальної труби.
5. Для отримання повної картини впливу на теплообмін переходу від умов вільної конвекції до природної тяги в подальшому необхідно провести комплексні дослідження для багаторядних пакетів труб та розширити область варіювання висоти витяжного короба.

Список використаної літератури

1. Pis'mennyi E. N. Efficient heat-transfer surfaces assembled from partially finned flat-oval tubes / E. N. Pis'mennyi // Thermal Engineering. – 2011. – Vol. 58. – No 4. – P. 277-282.
2. Pis'mennyi E. N. Ways for Improving the Tubular Heaters Used in Gas Turbine Units // Thermal Engineering. – 2012. – Vol. 59. – No. 6. – P. 485-490.
3. Письменный Е. Н. Экономайзер-утилизатор из плоско-овальных труб с неполным оребрением / Е. Н. Письменный, В. Г. Демченко, А. М. Терех, А. В. Семеняко, К. В. Кулик // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 3/1(45). – С. 15-19.
4. Вознюк М. М. Теплообмін плоскоовальних труб з неповним оребренням в умовах вільної конвекції та природної тяги / М. М. Вознюк, О. М. Терех, О. І. Руденко, С. А. Рева, О. В. Баранюк // Науковий журнал „ScienceRise”. – 2016. – № 2/2(19) – С. 10-14.
5. Кунтыш В. Б. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения / В. Б. Кунтыш, Н. М. Кузнецов. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1992. – 280 с.
6. Самородов А. В. Влияние компоновочных параметров труб со спиральными ребрами в шахматном пучке на свободноконвективный теплообмен. Вторая российская национальная конференция по теплообмену / А. В. Самородов // Труды II Российской национальной конференции по теплообмену. 26-30 октября 1998 г., г. Москва, Россия. – С. 143 -146.
7. Кунтыш В. Б. Исследование свободно-конвективного теплообмена различно ориентированных в пространстве малорядных пучков из труб со спиральными ребрами / В. Б. Кунтыш, А. В. Позднякова, А. В. Самородов // Известия вузов. Энергетика. – 2001. №2. – С.91-97.
8. Самородов А. В. Методика теплового расчета аппарата воздушного охлаждения в режиме свободной конвекции воздуха / А. В. Самородов // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2002. – №3. – С. 54-59.

М.М. Vozniuk, V.A. Rogachov, A.M. Terekh, A.V. Baranyuk

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

HEAT TRANSFER OF FLAT-OVAL FINNED TUBE BUNDLES UNDER CONDITIONS OF FREE CONVECTION AND NATURAL DRAFT

Experimental investigations of heat transfer of two-row staggered and in-line bundles of flat-oval tubes with incomplete transversal finning in conditions of free convection and natural draft in the range of Rayleigh numbers $3000 < Ra < 30000$ are performed. The difference in heat transfer in conditions of free convection and natural draft is shown, which indicates that the intensity of heat transfer of staggered and in-line bundles in natural draft conditions is 1,8 ... 2 times more than in free convection conditions. Comparison of the received data of heat transfer for staggered and in-line bundles is made. The results of the comparative analysis showed that the

intensity of the heat transfer of staggered and in-line bundles under conditions of free convection and natural draft at the Rayleigh number $Ra < 7000$ are almost identical. At the Rayleigh number $7000 < Ra < 20000$ heat transfer of the staggered bundle in conditions of natural draft is 10 ... 13% higher than of the in-line bundle.

Key words: heat transfer, flat-oval tube, transversal fins, staggered, in-line, bundle, free convection, natural draft.

References

1. Pis'mennyi E. N. Efficient heat-transfer surfaces assembled from partially finned flat-oval tubes. Thermal Engineering. – 2011. – Vol. 58. – № 4. P. 277-282.
2. Pis'mennyi E. N. Ways for Improving the Tubular Heaters Used in Gas Turbine Units// Thermal Engineering. – 2012. – Vol. 59. – № 6. – P. 485–490.
3. Pis'mennyi E. N. Economizer-utilizer from flat-oval tubes with incomplete finning / E. N. Pis'mennyi, V. G. Demchenko, A. M. Terekh, A. V. Semenyako, K. V. Kulik // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2010. – № 3/1(45). – С. 15-19.
4. Vozniuk M. M. Heat transfer of flat-oval tubes with incomplete fining under conditions of free convection and natural draft / M. M. Vozniuk, A. M. Terekh, A. I. Rudenko, S. A. Reva, A. V. Baranyuk // Scientific Journal „ScienceRise”. – 2016. – №2/2(19). – С. 10-14.
5. Kuntyshev V. B. Thermal and aerodynamics calculations of finned air-cooled exchanger / V. B. Kuntyshev, N. M. Kuznetsov. – S-Petersburg, Russia: Energoatomizdat. – 280 p.
6. Samorodov A. V. Influence of layout of tubes with spiral fins in staggered bundle on free convection heat transfer / A. V. Samorodov // Proceedings of the II Russian national conference of heat transfer. October 26-30, 1998, Moscow, Russia. - P. 143 -146)
7. Kuntyshev V. B. Investigation of free convection heat transfer for different space-stabilized few rows banks of tubes with spiral fins / V. B. Kuntyshev, A. V. Pozdniakova, A. V. Samorodov // News of higher educational establishments. Energy. – 2001. №2. – С.91-97.
8. Samorodov A. V. A method of thermal calculation of air-cooled exchanger in the mode of free convection of air / A. V. Samorodov // News of higher educational establishments. Problems of Energy. – 2002. – №3. – С. 54-59.

УДК 536.24:533.6.011

М.М. Вознюк, В.А. Рогачев, канд. техн. наук, доц.,

А.М. Терех, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., **А.В. Баранюк**, канд. техн. наук

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ТЕПЛООБМЕН ПАКЕТОВ ПЛОСКООВАЛЬНЫХ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ В УСЛОВИЯХ
СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ И ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ**

Проведены экспериментальные исследования теплообмена двухрядного шахматного и двухрядного коридорного пакетов плоскоовальных труб с неполным поперечным оребрением в условиях свободной конвекции и естественной тяги в диапазоне чисел Рейля $3000 < Ra < 30000$. Показано влияние на теплообмен перехода от условий свободной конвекции к условиям естественной тяги, который свидетельствует, что интенсивность теплообмена шахматного и коридорного двухрядных пакетов труб в условиях естественной тяги в 1,8...2 раза больше, чем в условиях свободной конвекции. Проведено сравнение полученных данных по теплообмену шахматной и коридорной компоновки труб. Результаты сравнения показали, что интенсивность теплообмена шахматного и коридорного пакетов в условиях свободной конвекции и естественной тяги при числах Рейля $Ra < 7000$ практически одинакова. При числах Рейля $7000 < Ra < 20000$ в режиме естественной тяги интенсивность теплообмена шахматного пакета на 10...13% выше чем коридорного.

Ключевые слова: теплообмен, плоскоовальная труба, поперечные ребра, шахматный, коридорный, пакет, свободная конвекция, природная тяга.

Надійшла 05.04.2016

Received 05.04.2016

Т.В. Бібік, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
 Є.В. Новаківський, канд. техн. наук, старш. наук. доц., І.В. Копчинська, студентка
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКІВ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

В даній статті проаналізовано вітчизняні та міжнародні нормативні документи що до перевезення радіоактивних матеріалів. Висунуто основні вимоги до приладів контролю радіоактивного випромінювання що, можуть застосовуватися під час перевезення в автономних системах з постійним моніторингом. Запропоновано кілька варіантів обладнання, що задовольняють висунутим вимогам.

Ключові слова: перевезення радіоактивних матеріалів, дозиметри, радіаційне випромінювання, сертифікація.

Вступ: На сьогоднішній день світова спільнота докладає максимум зусиль для забезпечення контролю та нерозповсюдження радіоактивних матеріалів та джерел іонізуючого випромінювання. Радіоактивні матеріали найбільш вразливі до пошкоджень, втрат або викрадень під час перевезення, але в Україні станом на сьогодні контроль відбувається лише при відвантаженні та отриманні радіоактивних матеріалів [1]. Зважаючи на це, контроль за радіоактивними матеріалами повинен відбуватися цілодобово. Для постійного моніторингу стану та місця знаходження контейнера при транспортування сьогодні в світі застосовуються системи навігації з GPS (GLANAS, GALELEI) або GSM позиціонування. Основною проблемою таких систем є енергозабезпечення при автономній роботі з мінімальним впливом людського чинника при експлуатації та обслуговуванні для підвищення безпеки. Основними вимогами до обладнання систем вимірювання є низьке енергоспоживання, швидкий вихід на режим, достатня точність та компактність.

В рамках проекту «Ukraine 1» Horizon 2020 [2] теплоенергетичний факультет НТУУ «КПІ» провів роботи по дослідженню датчиків поточного контролю радіаційного випромінювання, що можуть використовуватися під час перевезення радіоактивних матеріалів територією України та за її межами [3,4].

Мета та завдання: Визначення основних характеристик, що потребують контролю під час безпечного транспортування радіоактивних матеріалів та встановлення вимог до датчиків радіаційного контролю, які можуть використовуватися під час контролю безпечного транспортування радіоактивних матеріалів.

Матеріал та результати досліджень. Для визначення основних характеристик радіаційних матеріалів було проаналізовано вітчизняний ПБРМ-2006 [4] та міжнародний SSSNoTS-R-1 [5] нормативні документи.

Згідно проведеного аналізу основні значення активності невідомих радіонуклідів представлені у табл. 1

Таблиця 1 – Основні значення для невідомих радіонуклідів або сумішей

Радіоактивний вміст	A ₁	A ₂	Питома активність для матеріалу на який поширюється повне звільнення	Межа активності для вантажу, на який поширюється повне звільнення
	ТБк	ТБк	Бк/г	Бк
Відомо, що присутні тільки бета- або гамма-випромінюючі радіонукліди	0,1	0,02	1X10 ¹	1X10 ⁴
Відомо, що присутні тільки альфа - випромінюючі радіонукліди, але не випромінювачі нейтронів	0,2	9X10 ⁻⁵	1X10 ⁻¹	1X10 ³

Радіоактивний вміст	A ₁	A ₂	Питома активність для матеріалу на який поширюється повне звільнення	Межа активності для вантажу, на який поширюється повне звільнення
Відомо, що присутні радіонукліди, що випромінюють нейтрони або відповідні дані відсутні	0,001	9X10 ⁻⁵	1X10 ⁻¹	1X10 ³

де A₁ - значення активності радіоактивного матеріалу особливої форми [5,6];

A₂ - значення активності іншого радіоактивного матеріалу (радіоактивні матеріали іншої форми) [5,6];

Для відомих радіонуклідів значення активності радіонуклідів представлено в Табл. 2.

Таблиця 2 – Основні значення активності для відомих радіонуклідів*

Радіоактивний вміст матеріалу (Радіонуклід, атомний номер)	Питома активність для матеріалу, A ₁	Питома активність для вантажу, A ₂	Значення активності радіоактивного матеріалу особливої форми (на яке поширюється повне звільнення)	Значення активності іншого радіоактивного матеріалу (невідомої форми), вантажу на яке поширюється повне звільнення
	ТБк	ТБк	Бк/г	Бк
Actinium (89)				
Ac-225 (a)	8 x 10 ⁻¹	6 x 10 ⁻³	1x10 ¹	1 x 10 ⁴
Ac-227 (a)	9 x 10 ⁻¹	9 x 10 ⁻⁵	1x10 ⁻¹	1x10 ³
Ac-228	6 x 10 ⁻¹	5 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1 x 10 ⁶
Silver (47)				
Ag-105	2x10 ⁰	2x10 ⁰	1x10 ²	1x10 ⁶
Ag-108m (a)	7 x 10 ⁻¹	7 x 10 ⁻¹	1x 10 ¹ (b)	1 x 10 ⁶ (b)
Ag-110m (a)	4 x 10 ⁻¹	4 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1x10 ⁶
Ag-111	2x10 ⁰	6 x 10 ⁻¹	1x10 ³	1 x 10 ⁶
Aluminium (13)				
Al-26	1 x 10 ⁻¹	1 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1x10 ⁵
Americium (95)				
Am-241	1x10 ¹	1 x 10	1x10 ⁰	1 x 10 ⁴
Am-242m (a)	1x10 ¹	1 x 10	1x 10 ⁰ (b)	1 x 10 ⁴ (b)
Am-243 (a)	5x10 ⁰	1 x 10	1x 10 ⁰ (b)	1 x 10 ³ (b)
Argon (18)				
Ar-37	4x10 ¹	4x10 ¹	1x10 ⁶	1 x 10 ⁴
Ar-39	4x10 ¹	2x10 ¹	1x10 ⁷	1 x 10 ⁴
Ar-41	3 x 10 ⁻¹	3 x 10 ⁻¹	1x10 ²	1x10 ⁹
Arsenic (33)				
As-72	3 x 10 ⁻¹	3 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1x10 ⁵
As-73	4x10 ¹	4x10 ¹	1x10 ³	1x10 ⁷
As-74	1 x 10 ⁰	9 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1 x 10 ⁶
As-76	3 x 10 ⁻¹	3 x 10 ⁻¹	1x10 ²	1 x 10 ⁵

Радіоактивний вміст матеріалу (Радіонуклід, атомний номер)	Питома активність для матеріалу, A ₁	Питома активність для вантажу, A ₂	Значення активності радіоактивного матеріалу особливої форми (на яке поширюється повне звільнення)	Значення активності іншого радіоактивного матеріалу (невідомої форми), вантажу на яке поширюється повне звільнення
As-77	2x10 ¹	7 x10 ⁻¹	1x10 ³	1x10 ⁶
Astatine (85)				
At-211 (a)	2x10 ¹	5 x10 ⁻¹	1x10 ³	1x10 ⁷

* Таблиця 2 представлена фрагментом (загальний обсяг таблиці складає 12 сторінок), повний текст наведено в [4,5].

У разі сумішей радіонуклідів, основні значення активності визначаються за формулою:

$$X_m = \frac{1}{\sum \frac{f(i)}{x(i)}}$$

Де: f(i) - частка активності або концентрація активності i-го радіонукліда суміші;

x(i) - відповідне значення A1 або A2 або відповідно концентрація активності для матеріалу, на який поширюється повне звільнення, або межа активності для вантажу, на який поширюється повне звільнення, стосовно значення i-го радіонукліда;

X - похідне значення A1 або A2 або концентрація активності m для матеріалу, на який поширюється повне звільнення, або межа активності для вантажу, на який поширюється звільнення, стосовно суміші.

Радіоактивні матеріали повинні транспортуватися лише у пакувальних комплектах. Пакувальний комплект (Packaging) - сукупність елементів, необхідних для повного розміщення й утримання радіоактивного вмісту. Зокрема, він може включати одну або декілька приймальних ємностей, матеріали-поглиначі, конструкції, що забезпечують дистанцію, засоби захисту від випромінювання й сервісне обладнання для заповнення, спорожнення, вентилявання та скиду тиску, пристрої для охолодження, амортизації механічних ударів, обробки вантажу і кріплення, теплової ізоляції, а також сервісні пристрої, що становлять одне ціле з пакувальним комплектом. Пакувальний комплект може бути у формі ящика, коробки, бочки чи аналогічної приймальної ємності, але може бути й вантажним контейнером, резервуаром або контейнером середньої вантажопідйомності для масових вантажів.

Упаковка (Package) - пакувальний комплект з його радіоактивним вмістом у наданому для перевезення вигляді. Тип упаковки визначається типом пакувального комплекту та його радіоактивним вмістом.

Наскільки це практично можливо, пакувальний комплект повинен бути сконструйований і оброблений так, щоб зовнішні поверхні не мали частин, що виступають, і могли бути легко дезактивовані. Наскільки це практично можливо, зовнішнє покриття пакувального комплекту має бути виконане так, щоб на ньому не накопичувалася й не утримувалася вода. Будь-які пристрої, що додаються до пакувального комплекту під час транспортування, що не є частиною пакувального комплекту, не повинні робити його менш безпечним.

Згідно вимог документів [5,6] пакувальний комплект повинен бути сконструйований таким чином, щоб максимальний рівень випромінювання не перевищував:

- **2 мЗв/год** в будь-якій точці зовнішньої поверхні упаковки (крім звільненої упаковки) або транспортного пакета, крім упаковок або транспортних пакетів, що перевозяться в умовах виняткового використання залізницею або автомобільними шляхами;

- **10 мЗв/год** в будь-якій точці зовнішньої поверхні упаковки або транспортного пакета в умовах виняткового використання;

- **5 мкЗв/год** в будь-якій точці зовнішньої поверхні звільненої упаковки.

Для того щоб цілодобово перевіряти рівень випромінювання упаковки чи транспортного пакету з радіоактивними матеріалами необхідно обладнати упаковки засобами контролю. При цьому такий контроль потрібно проводити постійно в автономному режимі без присутності персоналу та з передачею інформації від пристрою в on-line режимі за допомогою супутникового зв'язку на відповідні пункти моніторингу протягом всього часу виконання операції по транспортуванню партії радіоактивних матеріалів.

У звіті, створеному Теплоенергетичним факультетом НТУУ «КПІ», представлені результати аналізу основних значень активності для відомих радіонуклідів та основні значення активності для невідомих радіонуклідів, межа активності для матеріалів і межа активності для предметів.

На підставі вимог нормативно-технічних документів, аналізу різних типів радіонуклідів і меж активності матеріалів та предметів, визначено головні вимоги для дозиметрів, що можуть використовуватися під час перевезень в автономному режимі:


1. Потужність еквівалентної дози гама-випромінювання у межах від 0,1 до 10 мЗв/год;
2. Діапазон робочих температур у межах від -20 до +50 °С;
3. Можливість роботи від батареї або акумуляторів, а також максимальна кількість годин роботи в автономному режимі на одній зарядці;
4. Тип (кількість) батареї;
5. Мінімальна вага;
6. Мінімальні габарити;
7. Наявність зв'язку з ПК;
8. Міжнародні та/або Українські дозвільні документи на використання приладу (сертифікати, ліцензія тощо).

У процесі аналізу доступних на ринку України приладів розглянуто 31 тип дозиметрів. Характеристики всіх прийнятих до розгляду документів наведено в додатку 2 до документів [3,4].

Результати досліджень. Результати виконаного аналізу представлено в Табл. 3.

Таблиця 3 – Рекомендовані типи дозиметрів:

Назва приладу	Українська сертифікація	Європейська сертифікація*	Європейська сертифікація*
1. Дозиметр рентгенівського і гамма-випромінювання RM1610;	+	-	
2. Дозиметр індивідуальний ДКС-АТ3509С;	+	-	
3. Дозиметр індивідуальний ДКГ-RM1621 // М / МА;	+	-	
4. Дозиметр індивідуальний МКС-03Д "Стриж";	+	-	
5. Дозиметр індивідуальний МКС-05;	+	-	

Назва приладу	Українська сертифікація	Європейська сертифікація*	Європейська сертифікація*
6. Дозиметр індивідуальний МКС-АТ6130.	+	-	

*Обладнання поставляється малими партіями на український та європейський ринки.

Наведені дозиметри мають малі габарити, низьке енергоспоживання, швидкий вихід на режим зі сплячого режиму, інтерфейс зв'язку з комп'ютером для передачі даних. Всі індивідуальні дозиметри відповідають вимогам ГОСТу 12997-84 [7] стосовно ударо та вібростійкості, що дозволяє їх використовуватися під час перевезення.

Повні технічні характеристики дозиметрів, рекомендованих до використання для моніторингу радіоактивного випромінювання при транспортуванні радіоактивних матеріалів наведені у звіті [3,4].

Висновки. Всі зазначені типи дозиметрів мають сертифікацію в Україні. Обладнання постачається малими партіями на український та європейський та світові ринки. Європейської сертифікацію не мають. Для всіх типів дозиметрів виробники рекомендують їх щорічну перевірку. Роботи виконувалися за фінансовою підтримкою проекту «Ukraine 1» Horizon 2020 [2].

Список використаної літератури

1. Обнаружение радиоактивных материалов на границах. МАГАТЭ, ВЕНА, 2003 IAEA-TECDOC-1312/R © МАГАТЭ, 2003 Издано МАГАТЭ в Австрии Август 2003.
2. <http://www.project-ukraine.eu/>
3. ТЕФ НТУУ «КПІ». Звіт з проведення робіт по дослідженню датчиків поточного контролю радіаційного випромінювання, що використовуються під час перевезення радіоактивних матеріалів, 2015.
4. Heat-and-Power Engineering Department of NTUU «KPI». The report of work for the study sensors of current control of radiation used during the transport of radioactive materials, 2015.
5. Державний комітет ядерного регулювання України. Про затвердження Правил ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні матеріалів (ПБПРМ-2006).
6. «Regulations for the safe transport of radioactive material» (Safety Standards Sepies № TS-R-1).
7. ГОСТ 12997-84 Изделия ГСП. Общие технические условия

T.V. Bibik, Y.V. Novakivskyy, I.V. Kopchinskay

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

RESEARCH USE SENSORS CURRENT CONTROL RADIATION DURING TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS

In this article analyzed national and international regulations that the transport of radioactive materials. Existing basic requirements for radiation control devices that can be used during transportation in the autonomous system of continuous monitoring. A few options that meet the hardware requirements.

References

1. Detection of radioactive materials at the borders. IAEA, VIENNA, 2003 IAEA-TECDOC-1312 / R © IAEA, 2003 Printed by the IAEA in Austria August 2003.
2. <http://www.project-ukraine.eu/>
3. Heat-and-Power Engineering Department of NTUU «KPI». The report of work for the study sensors of current control of radiation used during the transport of radioactive materials (Ukrainian version), 2015.
4. Heat-and-Power Engineering Department of NTUU «KPI». The report of work for the study sensors of current control of radiation used during the transport of radioactive materials, 2015.
5. State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine. On approval of rules of nuclear and radiation safety in the transportation of materials (PBPRM 2006).
6. «Regulations for the safe transport of radioactive material» (Safety Standards Sepies № TS-R-1).
7. GOST 12997-84 SSI products. General specifications.

Надійшла 26.11.2015

Received 26.11.2015

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ГРАНИЧНОЇ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ПРИ КВАЛІФІКАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ АЕС НА СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ

Розглянута актуальність проблеми проведення кваліфікації обладнання АЕС на сейсмостійкість. У статті коротко описані діючі методи, за якими відбувається розрахунок на підтвердження сейсмостійкості. Виявлений ряд недоліків при експериментальній оцінці сейсмічного впливу. Приведена послідовність проведення кваліфікації за допомогою методу граничної сейсмостійкості. Проаналізовані переваги даного методу. По результатам проведеного аналізу зроблено висновок, що оптимальним вибором по витратам і за оперативністю на сьогоднішній день представляється метод граничної сейсмостійкості.

Ключові слова: кваліфікація обладнання АЕС, метод граничної сейсмостійкості, власна частота, ВВЕР-1000.

Вступ

Особливістю проведення кваліфікації обладнання для АЕС є те, що потрібно забезпечити не тільки міцність конструкції, а й підтвердити гарантоване виконання функцій всіх систем важливих для безпеки.

Особливий інтерес представляють методи оцінки кваліфікації обладнання на сейсмостійкість діючих АЕС, оскільки багато з них були спроектовані або без урахування можливих сейсмічних впливів, або за застарілими нормативними вимогами до сейсмостійкості. Ще до аварії на японській АЕС «Фукусіма-1» у світі спостерігалось поступове підвищення жорсткості норм сейсмостійкості атомних станцій. На сьогоднішній день потрібно забезпечувати стійкість до землетрусів будь якої АЕС, навіть якщо в районі її розміщення не буває помітних сейсмічних проявів.

Кваліфікація обладнання - це підтвердження того, що конструкція, система (елемент) в межах всього терміну служби буде виконувати покладені функції як при нормальній експлуатації, так і при проектних аваріях з урахуванням характеристик середовища, в якому функціонує система (елемент) [1].

Цілі і задачі. На сьогоднішній день методи для оцінки сейсмостійкості, обладнання встановленого на АЕС, не дозволяють врахувати особливості їх розташування після монтажу. Таким чином дана стаття присвячена обґрунтуванню використання методу граничної сейсмостійкості, який дає можливість уникнути вищенаведених недоліків.

Матеріали і результати досліджень. Оцінка сейсмостійкості (кваліфікація на сейсмостійкість) обладнання, може проводитися різними способами:

- розрахунковими;
- розрахунково-експериментальними;
- непрямыми методами на основі отриманих раніше результатів.

Всі перераховані способи включають процедури збору та аналізу проектної документації: креслеників, паспортів обладнання, на якому раніше проводилися розрахунки на сейсмостійкість, протоколів випробувань на сейсмостійкість в лабораторних умовах і т. д..

Для обладнання, що має зовнішні механічні зв'язки, трубопровідну обв'язку, встановлену на проміжних металоконструкціях, необхідно робити додаткову розрахунково-експериментальну оцінку сейсмостійкості, оскільки достовірно врахувати вплив взаємозв'язків на його динамічні характеристики тільки розрахунковим шляхом практично неможливо.

Розрахунковим шляхом неможливо встановити резонансні частоти (а тим більше характеристики згасання резонансних коливань) обладнання в реальних умовах його монтажу, розкріплення та обв'язки.

Важливим моментом є те, що сейсмічні навантаження носять резонансний характер, чим обумовлена їх виняткова потенційна небезпека, тому відносний рівень деформацій при резонансних коливаннях призводить або до руйнування елементів конструкцій та обладнання, або викликає прояв ефектів втомного пошкодження матеріалів, які важко виявити без використання спеціальних методів. У атомному машинобудуванні накопичений величезний досвід забезпечення сейсмостійкості конструкцій і устаткування АЕС різного призначення та розроблено відповідні методи обстеження та атестації [2].

Основні методи визначення власних частот коливань і їх декрементів згасання традиційно діляться на дві категорії: розрахункові та експериментальні. Перші можуть застосовуватись тільки на стадії проектування, тому не можуть врахувати всі особливості реального стану елементів устаткування і конструкцій після їх монтажу. Експериментальні методи можна розділити на кілька категорій.

Лабораторні методи з використанням вібростендів. При модельних випробуваннях на зменшених копіях обладнання технологічних систем, присутні суттєві недоліки:

- складність проблем вибору та обґрунтування надійних критеріїв масштабного і динамічного моделювання;
- виникають об'єктивні похибки і відхилення від реальних умов, викликані неможливістю чітко відтворити і змодельовати всі елементи, вузли і динамічні зв'язки складних багатокомпонентних систем;
- неможливість врахувати всі технологічні допуски, якими супроводжується монтаж реального обладнання та технологічних систем.

Динамічні дослідження при імітації сейсмічних впливів за допомогою ґрунтових вибухів. До недоліків даного моделювання можна віднести:

- такі дослідження, як за технічними можливостями, так і з умови непошкодження випробуваного обладнання проводяться при слабких силових впливах, на порядок менших, ніж реальні сейсмічні впливи при землетрусах на рівні проектних землетрусів;
- повномасштабні випробування технологічних збірок на реальні сейсмічні впливи на спеціальних сейсмозривних полігонах є тривалими, трудомісткими і дорогими. Тому, зважаючи на витрати, їх не можуть розглядати як метод натурної перевірки сейсмостійкості обладнання.

У якості альтернативи таким складним і дорогим способам визначення сейсмостійкості, у США була розроблена методика граничної сейсмостійкості (МГС).

Відповідно до вимог розділів 5 і 8 СТП 0.03.082-2009 «Кваліфікація обладнання, важливого для безпеки, на сейсмічні впливи. Загальні вимоги» сейсмічна оцінка елементів АЕС виконується на основі вимог вітчизняних нормативних документів, з урахуванням сучасних міжнародних підходів, а також рекомендацій документів МАГАТЕ[4]. Одним з таких підходів є метод граничної сейсмостійкості, що використовується у світовій практиці для сейсмічної переоцінки блоків АЕС, у тому числі з реакторами ВВЕР

Розрахунковий аналіз сейсмостійкості елементів діючих АЕС в рамках МГС проводиться з метою визначення інтегрального параметра сейсмостійкості HCLPF, що характеризує рівень сейсмічної стійкості цього елемента. Параметр HCLPF, який виражається в одиницях прискорення вільного падіння g, порівнюється з величиною максимального прискорення на ґрунті (ZPGARLE), яка визначається для майданчика АЕС і характеризує інтенсивність землетрусу [3].

У практичних розрахунках для обчислення величини HCLPF використовують так званий коефіцієнт сейсмічного запасу FS, який показує у скільки разів потрібно збільшити інтенсивність сейсмічного впливу на ґрунті, щоб досягти допустимої величини оцінюваного параметра:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{(D_S^2 + D_{SAM}^2)^{1/2} + \delta C_S} \quad (1)$$

де C - значення допустимого параметра (наприклад, допустимі напруження, МПа);

D_{NS} - внесок в оцінюваний параметр всіх несейсмічних навантажень, що входять у комбінацію навантажень;

D_S - внесок в оцінюваний параметр сейсмічних інерційних навантажень;

D_{SAM} - внесок в оцінюваний параметр навантажень від сейсмічного зсуву опор;

δC_S - зниження величини допустимого параметра через дії сейсмічного навантаження (наприклад, міцність стіни по відношенню до зсувних навантажень може бути зменшена вертикальним розтягуючим навантаженням на цю стіну, викликаним сейсмічною подією).

Формула (1) справедлива, якщо величини, що знаходяться в знаменнику формули (1.1), визначаються на основі лінійно-пружного розрахунку. У цьому випадку величина параметра HCLPF в розмірності максимального прискорення землетрусу на майданчику АЕС g, яке може витримати розглянутий елемент, визначається співвідношенням:

$$HCLPF = FS \cdot F_\mu \cdot PGA_{RLE}, \quad (2)$$

де F_μ - безрозмірний коефіцієнт непружного поглинання енергії, який визначається відповідно до таблиці 1;

PGA_{RLE} - прискорення нульового періоду (пікове прискорення), g.

Таблиця 1. Рекомендовані значення безрозмірного коефіцієнта непружного поглинання енергії F_{μ} для оцінки сейсмостійкості існуючих АЕС

Тип конструкції, системи чи компонента	F_{μ}
Бетонні колони з переважанням деформації вигину	1,25
Бетонні балки з переважанням деформації вигину	1,5
Сталеві колони з переважанням деформації вигину	1,25
Сталеві колони з переважанням деформації зсуву	1,00
Сталеві балки з переважанням деформації вигину	1,50
Сталеві вузли (з'єднання)	1,00
Зварні сталеві трубопроводи,	1,50
Опори трубопроводів	1,25

Методи, які застосовуються в рамках МГС для визначення сейсмічної реакції конструкцій, систем і устаткування вибираються залежно від динамічних характеристик об'єкта і особливостей його системи опор. У розрахункових моделях, в основному, використовують два методи для визначення динамічної реакції при землетрусі.

Статичний метод розрахунку на сейсмостійкість - спрощений метод, згідно з яким розподіл сейсмічних навантажень, що діють на конструкцію, приймається подібним розподілу маси, а величини цих навантажень визначаються за допомогою нормативних коефіцієнтів. Обмежується обладнанням та компонентами, які мають першу власну частоту коливань вище 20 Гц [5].

Лінійно-спектральний метод передбачає проведення модального аналізу конструкції. На цьому етапі визначаються форми і частоти власних коливань, включаючи характерну частоту F_{\max} , яка відповідає прискоренню нульового періоду. Оптимальним вибором за витратами і оперативністю на сьогоднішній день являються динамічні неруйнівні дослідження конструкцій та обладнання безпосередньо на діючих об'єктах в реальних умовах монтажу, розкріплення та обв'язки. У ході таких випробувань здійснюється запис акселерограм коливань елементів у трьох напрямках, що відповідають можливим модам власних коливань з наступною цифровою обробкою. По резонансним пікам спектрів потужності визначаються власні частоти коливань і їх декременти.

Далі, система завантажується інерційним навантаженням по кожній з обчислених форм коливань і для кожного просторового напрямку сейсмічного впливу. При цьому для кожної з форм коливань і напрямків сейсмічного впливу визначається повний відгук системи: розподіл внутрішніх зусиль, переміщення і реакції опор і т.д..

При використанні лінійно-спектрального методу в якості вихідної сейсмічної події приймаються поверхові спектри, обчислені на основі динамічного аналізу основних будівель і споруд. Для розрахунків трубопроводів, як правило, використовуються розширені огинаючі спектри [6].

При побудові розрахункової моделі особлива увага приділяється особливостям розкріплення та трасування трубопроводів. Спочатку для побудованої розрахункової моделі проводиться порівняння вагових характеристик з масою реальної конструкції. Після уточнення вагових характеристик проводиться розрахункове визначення характеристик власних коливань (частот і форм), результати якого порівнювалися з експериментально отриманими (в розгляд приймаються частоти з $v < 33$ Гц). При розбіжності розрахункових і експериментальних даних у розрахункову модель вносяться зміни з метою "підгонки" її властивостей під властивості реальної конструкції (припустима різниця значень нижчих власних частот - 1 Гц) [2]. Після цього розрахункова модель вважається готовою для проведення динамічного аналізу.

Побудова моделі за методологією граничної сейсмостійкості, має ряд суттєвих переваг у порівнянні з звичайними методами:

- виконується повноцінний спільний аналіз сейсмостійкості технологічної системи в цілому, з урахуванням взаємного впливу її елементів один на одного;
- враховується вплив приєднаних трубопроводів на характеристики власних коливань обладнання. Для масивного обладнання ступінь цього впливу може бути і несуттєвою, а для порівняно невеликого обладнання (вагою до однієї тони) зміна жорсткості може бути досить значною. Отже, фактична завантаженість обладнання при сейсмічних впливах може бути збільшена в порівнянні з розрахунком, проведеним на стадії проектування обладнання.

Висновки

Забезпечення безпеки АЕС має бути пріоритетним напрямом діяльності при проектуванні, будівництві і експлуатації енергоблоків. Оцінка кваліфікації обладнання на сейсмостійкість за допомогою МГС, який

рекомендований МАГАТЄ, є одним з найбільш достовірних методів підтвердження працездатності обладнання. До того ж він дозволяє значно скоротити витрати на обґрунтування сейсмостійкості АЕС, у порівнянні зі звичайними методами, такими як, повне перерахування за нормами проектування або проведення масових експериментальних досліджень на блоках.

Список використаної літератури

1. СТП 0.03.082-2009. Стандарт підприємства. Кваліфікація обладнання, важного для безпеки, на сейсмічні впливи. Общие требования.
2. Кравец С. Б. Оценка сейсмостойкости технологических систем атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 2005.-170 с.
3. МТ-Т.0.03.326.13. Методика расчетного анализа сейсмостойкости элементов действующих АЭС в рамках метода граничной сейсмостойкости.
4. Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installation // Safety Standards Series № NSG2.13, IAEA, Vienna, 2009
5. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
6. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб: Наука, 1998 – 350 с.

V. Konshyn, T. Piankov

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

JUSTIFICATION FOR THE USE THE METHODOLOGY OF SEISMIC MARGIN ASSESSMENT AT QUALIFICATION OF NPP EQUIPMENT SEISMIC RESISTANCE

Relevance problems of nuclear equipment qualification for seismic resistance are presented in this article. The article shortly describes the current methods, which are used to confirm the seismic resistance. Identified a number of shortcomings in the experimental evaluation of seismic resistance. The sequence of the qualification by the method of seismic margin assessment is shown. The advantages of this method. According to the analysis the optimal choice between cost and efficiency is the method of seismic stability boundary.

Keywords: qualification of nuclear power plant equipment, pipelines, method of seismic margin assessment, free frequency, PWR.

References

1. STP 0.03.082-2009. enterprise standard. Qualifications of equipment important to safety, seismic effects. General requirements.
2. Kravets S. Estimation of seismic stability of technological systems of nuclear power plants. M.: Energoatomisdat, 2005.-170p.
3. МТ Т.0.03.326.13. Method of calculation of seismic stability analysis of elements of existing nuclear power plants by the method of boundary seismic resistance.
4. Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installation // Safety Standards Series № NS-G-2.13, IAEA, Vienna, 2009
5. PNAE G-7-002-86. Standards based on the strength of the equipment and pipelines of nuclear power plants.
6. Birbayer A. Computation of seismic stability of constructions. SPb: Nauka, 1998 – 350p.

В.И. Коньшин, канд. техн. наук, доц., **Т.А. Пьянков**, магистрант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ГРАНИЧНОЙ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПРИ КВАЛИФИКАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

Рассмотрена актуальность проблемы проведения квалификации оборудования АЭС на сейсмостойкость. В статье кратко описаны действующие методы, по которым происходит расчет на подтверждение сейсмостойкости. Выявлен ряд недостатков при экспериментальной оценке сейсмостойкости. Показана последовательность проведения квалификации с помощью метода граничной сейсмостойкости. Проанализированы преимущества данного метода. По результатам проведенного анализа, сделан вывод, что оптимальным выбором по затратам и оперативности на сегодняшний день представляется метод граничной сейсмостойкости.

Ключевые слова: квалификация оборудования АЭС, трубопроводы, метод предельной сейсмостойкости, собственная частота, ВВЭР 1000.

Надійшла 22.02.2016

Received 22.02.2016

СНИЖЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Рассмотрены погрешности измерений рабочих гидравлических характеристик энергетического оборудования электростанций, связанные с нестабильностью изменения (колебания) параметров и выбором дискретности измерений. Приведен анализ математических методов определения интегрального значения параметров при проведении энергетических испытаний оборудования и текущего контроля в системах САУ.

Ключевые слова: погрешности измерений, точность измерений, несинфазность измерений, дискретность сигнала, среднеинтегральное значение.

Введение

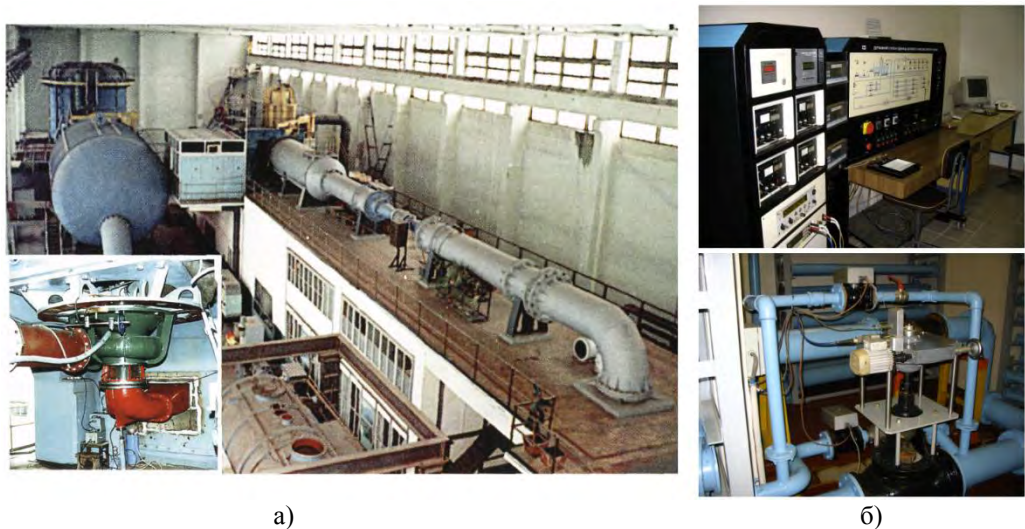
Повышение точности измерения при определении энергетических, технических, экономических и других характеристик технологических объектов является актуальной научно-технической задачей. Решение этого вопроса осуществляется путем комплексного подхода, заключающего в себе применение и усовершенствование методов и методик измерения, перевооружение технического парка измерительной аппаратуры, использование современного математического аппарата и т.д.

С проблемой погрешности (неопределенности) измерений сталкиваются практически все отрасли народного хозяйства и, прежде всего, энергетика, где с одной стороны, требуется высокая точность измерений с целью выявления резервов энергосбережения и оценки энергоэффективных режимов работы энергооборудования, а с другой – невозможность в целом ряде случаев обеспечить приемлемую точность по причине особенностей технологических процессов и характеристик используемых методов и средств измерений. Вышесказанное усложняется ещё и большим количеством измеряемых и контролируемых величин (на ТЭС их количество доходит до 2000, а на АЭС – до 15000) и разнообразием физических процессов, лежащих в основе измеряемого параметра (механика, гидравлика, аэродинамика, термодинамические процессы, электричество, время и др.).

В работах [1, 2] показаны методы снижения погрешности измерения гидравлических параметров гидромашин, обусловленные несовпадением фаз пульсаций параметра и интервала осреднения, конечной частотой опроса датчиков, временным интервалом измерения и выбором математического метода осреднения. Предложенные методы реализованы на гидравлических испытательных стендах (рис. 1.а) гидротурбинной лаборатории ОАО «Турбоатом» (г.Харьков) при проведении испытаний гидравлических машин и в эталонной расходомерной установке РОУ-180 (рис. 1.б) ННЦ «Институт метрологии» (г.Харьков) при градуировки расходомерных устройств [3].

Установки, показанные на рис.1, характеризуются высочайшей степенью точности, совершенными методами и средствами стабилизации потока, современным точным оборудованием. Но даже для таких условий погрешности, описанные в [1] и ниже по тексту, составляют значительную величину. Так, например, погрешность несинфазности может составлять 0,1-0,2% и выше.

Анализ энергетических характеристик [4] и режимов работы гидравлического оборудования электростанций [5], показал, что насосные агрегаты оказывают значительное влияние на эффективность работы энергоблока. Режимы их работы существенно тяжелей, классы точности измерительной аппаратуры на порядок ниже, чем в гидротурбинных лабораториях, амплитуды пульсации напора и расхода – выше. Все это увеличивает величину погрешностей и повышает актуальность их учета и минимизации. В связи с этим, решения, полученные для условий гидротурбинных лабораторий и эталонных расходомерных установок, необходимо использовать на электростанциях при измерении гидравлических параметров насосов, а, при необходимой доработке – и аэродинамических параметров вентиляторов.



а) б)

Рисунок 1

- а) – Гидравлический испытательный стенд ЭКС-100 ОАО «Турбоатом»
- б) – Эталонная расходомерная установка РОУ-180 ННЦ «Институт метрологии»

Изложение основного материала

Погрешность несинфазности

Измеряемый параметр $X(t)$, проходящий через измерительный механизм, обладает нестабильностью даже при неизменной настройке регулирующих органов. В гидравлических и аэродинамических системах это вызвано наличием в проточных трактах продольных пульсаций скорости, обусловленных турбулентностью, перемежаемостью и т.п. эффектами.

Наличие этой нестабильности вызывает погрешности измерений параметра, т.к. при несовпадении фаз моментов начала и конца интервала осреднения с периодами пульсаций параметра его осредненная величина X_0 , измеренная с любой точностью, будет отличаться от средней по времени X_{cp} , т.е. $X_{cp} - X_0 = \Delta_{нф}$.

Иллюстрация природы этого явления показана на рис. 2.

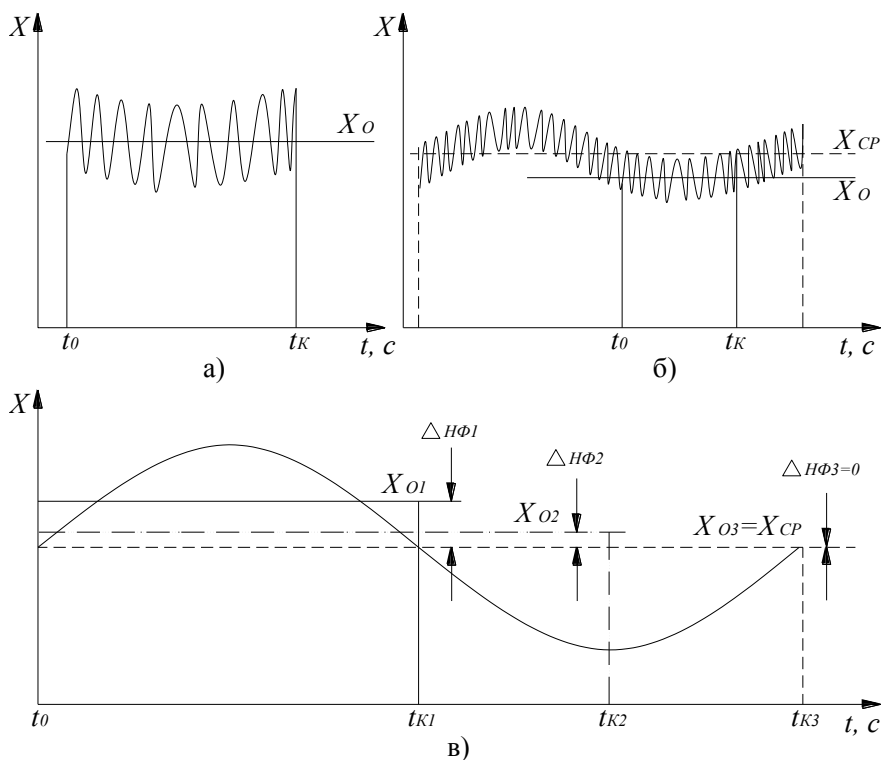


Рисунок 2 – Иллюстрация природы возникновения погрешности несинфазности (а, б) и её зависимость от выбора интервала времени осреднения (измерения) $T = t_k - t_0$ (в)

Поскольку фаза колебаний параметра, соответствующая началу интервала осреднения, обычно случайна, а интервал осреднения и дискретность измерений не коррелированы со структурой колебаний параметра, эти погрешности также будут случайными величинами.

Для исследования характера и оценки погрешности несинфазности $\Delta_{нф}$ пользовались следующей моделью измеряемого параметра:

$$X_{(t)} = X_0 + X_{\sim} \quad (1)$$

где X_0 и X_{\sim} – постоянная и периодическая переменная составляющие параметра, соответственно. Периодический процесс может рассматриваться как суперпозиция гармонических составляющих, т.е.:

$$X_{\sim} = X_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

где X_m , ω и φ – амплитуда, круговая частота и начальная фаза колебаний параметра, соответственно. Среднее за время интегрирования T значение с учетом (1) и (2) представимо в виде:

$$X_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt = X_0 - \frac{X_m}{\omega T} [\cos(\omega t + \varphi) - \cos \varphi]$$

При этом относительная погрешность несинфазности $\delta_{нф}$ измерения определяется:

$$\delta_{нф} = \frac{\Delta_{нф}}{X_{\text{ср}}} = \frac{X_{\text{ср}} - X_0}{X_{\text{ср}}} = \frac{X_m}{X_{\text{ср}}} \cdot \frac{\cos \varphi - \cos(\omega t + \varphi)}{\omega T} = A \cdot K, \quad (3)$$

где $A = \frac{X_m}{X_{\text{ср}}}$ – относительная амплитуда колебаний параметра;

$K = \frac{\cos \varphi - \cos(\omega t + \varphi)}{\omega T}$ – фазовый коэффициент.

ω – круговая частота колебаний параметра, рад/с; φ – начальная фаза колебаний.

Из (3) также следует, что погрешность несинфазности зависит не только от начальной фазы колебаний параметра, но и от относительной амплитуды периодической составляющей $X_m/X_{\text{ср}}$, круговой частоты ω и времени интегрирования T .

Характер изменения фазового коэффициента K от фазы колебаний ωT при $0 < \varphi < \pi/2$ показан на рис. 3 а). Начальная фаза колебаний φ является случайной величиной, поэтому для упрощения расчетов можно положить $\varphi=0$, при этом семейство кривых $K=f(\omega T, \varphi)$ вырождаются в график, представленный на рис. 3 б).

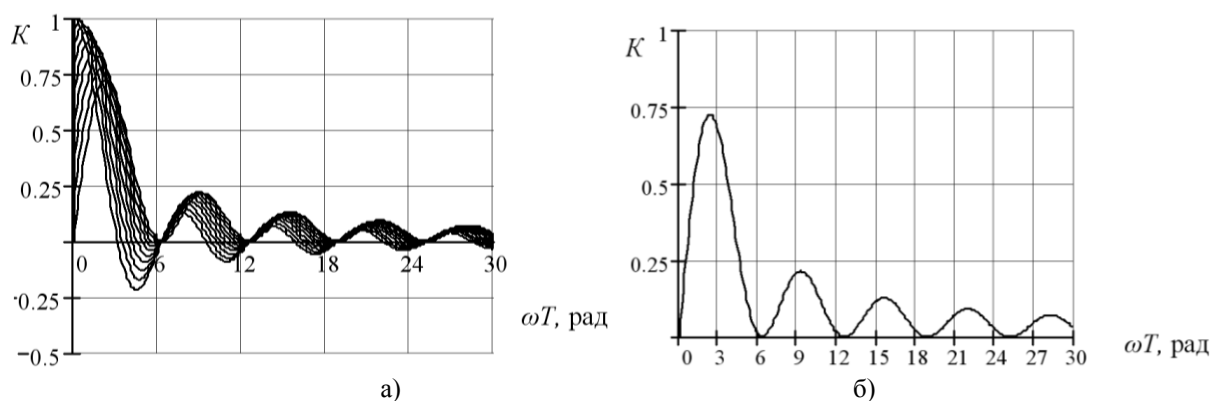


Рисунок 3 – Зависимость K от ωT при $\varphi = \text{var}$ (а) $\varphi = 0^\circ$ (б)

На рис. 4 а) представлена погрешность несинфазности $\delta_{нф}$, соответствующая различным значениям относительной амплитуды колебаний A и фазы колебаний ωT параметра. Зная частоту низкочастотных колебаний параметра, к примеру, из показаний измерительных приборов, можно определить искомое минимальное время осреднения с целью обеспечения требуемой погрешности измерения (рис. 4.б).

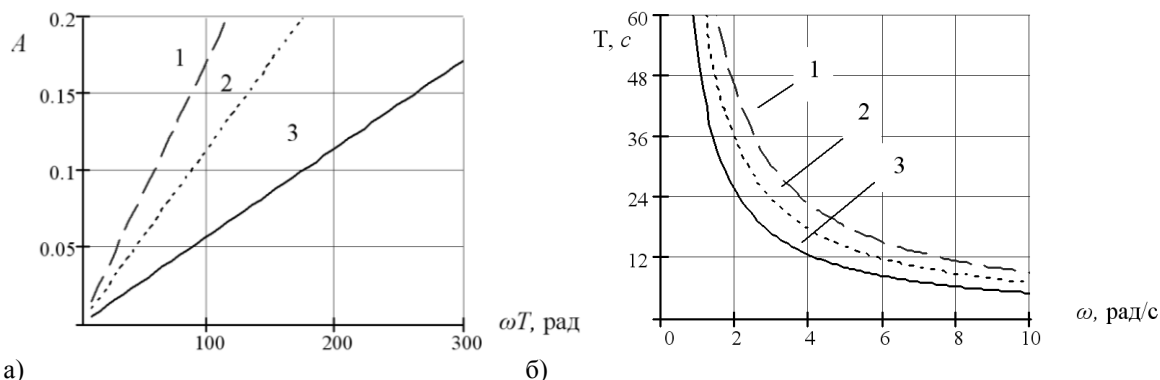


Рисунок 4 – а) Погрешность несинфазности $\delta_{нф}$, соответствующая различным значениям относительной амплитуды колебаний параметра A и фазы колебаний ωT (1 – соответствует $\delta_{нф}=0,3\%$, 2 – соответствует $\delta_{нф}=0,2\%$, 3 – соответствует $\delta_{нф}=0,1\%$) б) Зависимость времени интегрирования от частоты колебаний параметра (1 – соответствует $\omega T=90$; 2 – соответствует $\omega T=70$; 3 – соответствует $\omega T=50$)

Погрешность измерения среднего значения параметра, связанная с несинфазностью осреднения, как функция времени t может быть определена в соответствии с выражением:

$$\delta_{нф}(t) = \left| \frac{\frac{1}{t} \sum_{k=1}^n X_k - X_0}{X_0} \right| \cdot 100\%, \quad (4)$$

Здесь $X_k = X_{k(t)}$ – текущее значение параметра; $t=n \cdot h$ – переменная величина времени осреднения параметра, меняющаяся от h до T ; n – переменная, меняющаяся от 1 до M , где M – количество измерений параметра в эксперименте; h – дискретность измерений; T – продолжительность измерений; X_0 – осредненное значение параметра при $t=T$ и $n=M$.

На рис. 5 а) представлена экспериментально полученная зависимость погрешности $\delta_{нф}$, обусловленная несинфазностью осреднения расхода, от времени измерения t , на эталонной расходомерной установке РОУ-180 ННЦ «Институт метрологии». На рис. 5 б) показана та же зависимость, что и на рис. 5 а), но построенная по формуле (1). Кривая 1 соответствует погрешности при колебаниях расхода с частотой, равной максимальной из разложения Фурье ($\omega_{max} = 0,8616$ рад/с). Кривая 2 учитывает самые низкочастотные пульсации расхода в установке ($\omega = 0,033$ рад/с), она же, по-видимому, и объясняет всплески погрешности на экспериментальной зависимости.

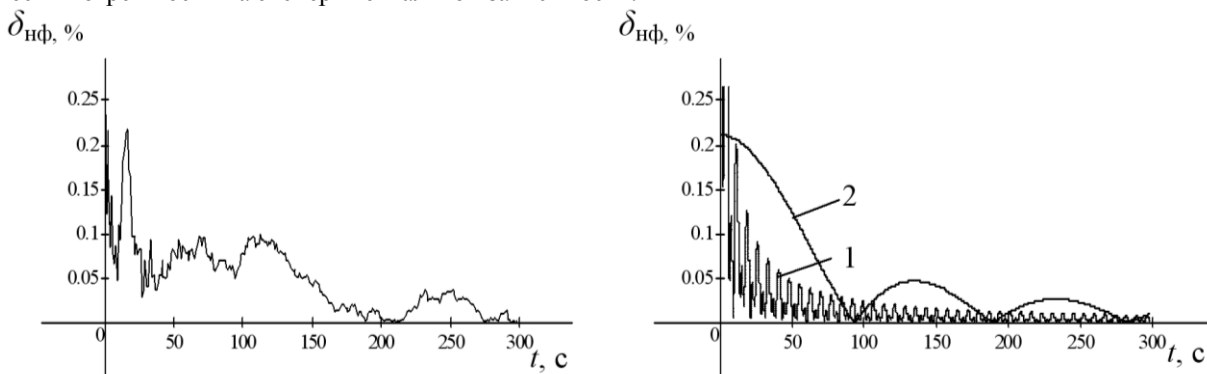


Рисунок 5 – Экспериментальные (а) и теоретические (б) исследования погрешности несинфазности в эталонной расходомерной установке РОУ-180

Погрешность дискретизации

Восстановление характера изменения параметра во времени происходит по дискретным показаниям измерительных устройств, что вызывает дополнительную погрешность измерений.

В [1] показано, что максимальная относительная погрешность аппроксимации определяется:

$$\delta_{max} = \frac{1}{6} \frac{y''(t_0) \tau^2}{y(t_0)} \quad (5)$$

Откуда интервал измерения:

$$\tau = \sqrt{\frac{6\Delta_{\max}}{X''(t_0)}} = \sqrt{\frac{6\delta_{\max} X(t_0)}{X''(t_0)}}$$

Величина погрешности дискретизации определяется как характером колебаний параметра (вторая производная по времени), так и частотой опроса датчиков (величина, обратно пропорциональная интервалу времени между измерениями).

Тогда для гармонически изменяющегося параметра необходимая частота опроса датчика составит:

$$f_D = \frac{1}{\tau} = \omega \sqrt{\frac{X_m}{6\delta_{\max} X_{cp}}} = \omega \sqrt{\frac{A}{6\delta_{\max}}}, \quad (6)$$

Погрешность математического аппарата расчета среднего значения параметра

На сегодняшний день на многих измерительных установках интегральное значение параметра определяется среднеарифметическим методом:

$$X_{cp} = \frac{1}{M+1} \sum_{i=0}^M X_i \quad (7)$$

При сравнительной оценке погрешностей алгоритмов осреднения, целесообразно остановиться на обобщенном методе Симпсона, предложенным профессором Литвиным О.Н. [6], и на параболическом сплайне.

Интегральное значение измеряемой величины по классической формуле Симпсона может быть выражено в виде:

$$X_{Симп} = \left(\frac{\tau}{3T}\right) \cdot \left[X_0 + X_M + 4 \sum_v X_v + 2 \sum_k X_k \right],$$

где v – нечетные значения X ; k – четные значения X ;

X_M – конечное значение параметра при $t=T$.

Интегральное значение расхода, определяемое по обобщенной формуле Симпсона, может быть выражено в виде:

$$X_{об.Симп} = \left(\frac{\tau}{T}\right) \left[X_0 \left[\frac{1}{2} - \frac{\tau}{12}(M-1) \right] + X_1 \left[\frac{5}{6} + \frac{\tau}{12}[3(M+1)-7] \right] + \right. \\ \left. + \sum_{p=1}^{q-1} X_{2p} \cdot \left[\frac{4}{3} - \frac{\tau}{3}(M-2p) \right] + \sum_{p=2}^{q-1} X_{2p-1} \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{\tau}{3}(M+1-2p) \right] + X_M \left(\frac{1}{3} + \frac{\tau}{12} \right) \right] \quad (8)$$

где p – переменная, меняющаяся от 0 до $\frac{M}{2}-1$; $q = \frac{M+1}{2}$.

Линейный сплайн:

$$X_{ЛС} = \frac{1}{T} \left[\sum_{k=0}^M \int_{t_k}^{t_{k+1}} \left[X_k \frac{t-(k+1)\tau}{-\tau} + X_{k+1} \frac{t-k\tau}{\tau} \right] dt \right] \quad (9)$$

Параболический сплайн:

$$X_{ПС} = \frac{\tau}{T} \left[\frac{X_1}{2} + \sum_{k=2}^{M-1} X_k + \frac{X_M}{2} - \sum_{u=1}^{M-1} V_{u,u+1} \cdot \frac{\tau^2}{12} \right] \quad (10)$$

где $V_{u,u+1} = \frac{2(-1)^u}{\tau^2} \sum_{k=2}^{u-1} [(-1)^k (X_{k+1} - 2X_k + X_{k-1})] + (-1)^{u-1} V_{12}$;

$$V_{12} = \frac{1}{\tau} \sum_{k=1}^{M-2} [(-1)^{k-1} \cdot (X_{k+2} - 2X_{k+1} + X_k)(M-k-1)].$$

Зависимость погрешности измерений параметра в случае, когда его интегральное значение определено по обобщенной формуле Симпсона от относительной частоты опроса датчиков $f' = 2 \pi \omega / f_D$ представлена на рис. 6 а), а на рис. 6 б) показана подобная зависимость, но при использовании параболического сплайна.

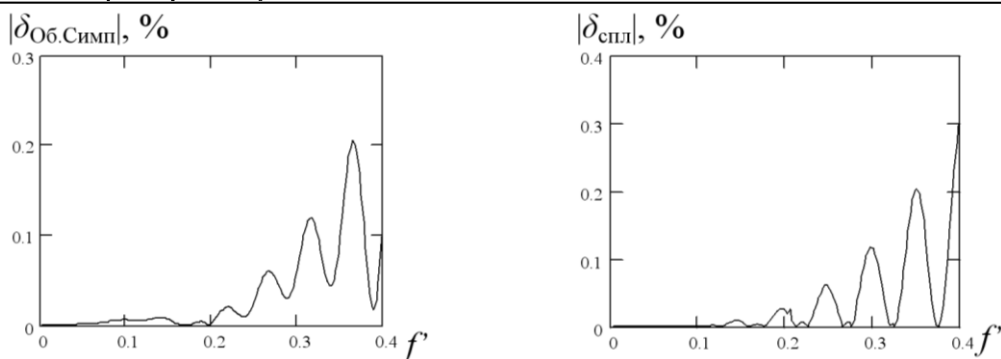


Рисунок 6 – Сравнение точности определения средних значений параметра

Анализ показывает, что при относительной частоте колебаний параметра $f' \leq 0,2$ погрешность определение среднеинтегрального значения, обусловленная дискретностью измерений, имеет минимальное значение при использовании обобщенного метода Симпсона и метода сплайна, в то время как при $f' \geq 0,2$ точность метода линейной аппроксимации удовлетворительна [1].

Измерения гидравлические параметры (расход, напор, давление) лежат в основе определения энергетических характеристик всех насосов, являющимися основными потребителями собственных нужд электростанций. Периодические тепловые процессы, протекающие в теплоэнергетическом оборудовании станции характеризуются большой инерционностью, что увеличивает погрешность несинфазности. Электромагнитные процессы протекают быстро, что повышает необходимость учета дискретизации и выбора метода осреднения.

С целью определения условий получения экспериментальных данных и их объема, гарантирующих достижение результатов с приемлемым минимумом погрешности, разработан программный модуль, интерфейс которого приведен на рис. 7. Модуль встраивается в общую программу САУ и/или АСУ ТП электростанций.

Модуль определяет: 1. необходимое время проведения испытаний (измерений), при котором погрешность несинфазности будет равна заданной; 2. необходимую частоту опроса датчика, при которой погрешность дискретизации будет равна заданной; 3. среднее значение параметра по методу линейной аппроксимации и обобщенному методу Симпсона.

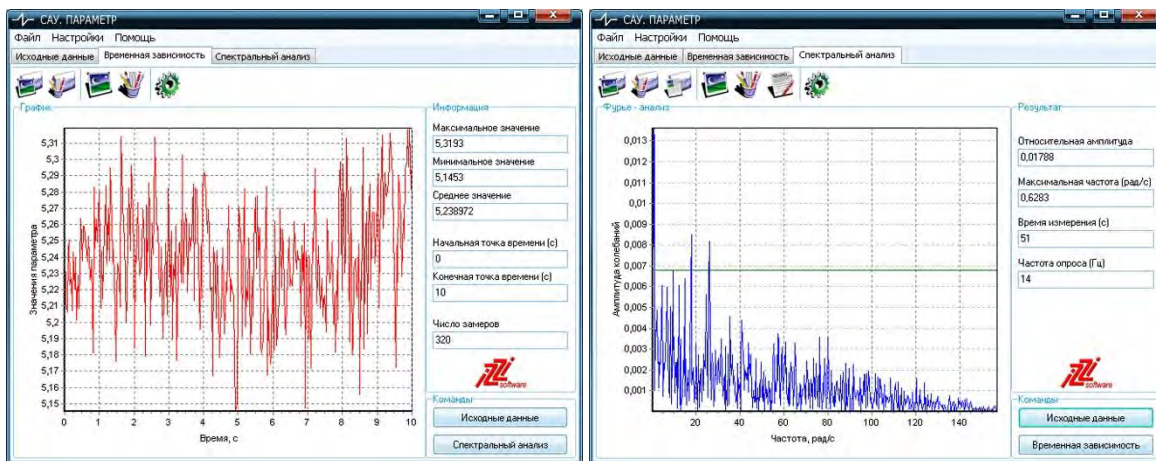


Рисунок 7 – Интерфейс программного модуля САУ по определению характеристик проведения эксперимента и расчету средних значений параметров объекта управления

Выводы. 1. Показана методика определения погрешности несинфазности, погрешности дискретизации и погрешности определения среднего значения гидравлических параметров, которая может быть использована при измерениях гидравлических характеристик технологических объектов электростанций. 2. Представлен программный модуль, позволяющий гарантировать достижение результатов с приемлемым минимумом погрешности и который может входить в общее программное обеспечение САУ объектов электростанций.

Список использованной литературы:

1. Мезеря А.Ю. Удосконалення методів та підвищення точності засобів контролю параметрів моделей гідравлічних машин: [дисертація] / дисертація на здобуття наукового ступеня к-та техн. наук: спец. 05.11.03 / А.Ю. Мезеря. –Харків. –2005. –181с.

2. Артюх С.Ф. Совершенствование методов повышения точности средств контроля параметров моделей гидравлических машин [Текст]: [монография] / С.Ф. Артюх, А.Ю. Мезеря // Украинская инженерно-педагогическая академия. –Х.: НТМТ. –2009. –158с.

3. Большаков В.Б. Снижение погрешностей измерения характеристик моделей гидравлических машин / В.Б. Большаков, А.Ю. Мезеря // Праці IV Міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка” (Метрологія-2004). –Харків: –2004. –Т.2. –С. 226-230.

4. Мезеря А.Ю. Экспериментальные исследования эффективности автоматизированного энергосберегающего управления циркуляционными насосами электростанций / Канюк Г.И., Мезеря А.Ю., Лаптинов И.П., Бабенко И.А., Князева В.Н. // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. –№9(140). –2015. –С.36-42. ISSN 2218-1849.

5. Канюк Г.И. Научные принципы энергосбережения в тепловой и атомной энергетике [Текст] / Канюк Г.И, Артюх С.Ф., Мезеря А.Ю., Лаптинова Е.В., Мельников В.Е. –Харьков: Изд-во «Точка». –2013. –140 с. Русс. яз. ISBN 978-617-669-065-8

6. Литвин О.Н. Про один метод обчислення енергетичних характеристик моделей гідромашин / Артюх С.Ф., Литвин О.Н., Мезеря А.Ю., Бабенко К.Е. // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. –Харків: НТУ “ХПИ”. –2004. –Т.1. –С. 126-130.

A. Mezerya

Ukrainian engineer-pedagogical academy

REDUCTION TO INACCURACY OF THE MEASUREMENTS OF THE HYDRAULIC FEATURES OF THE ENERGY EQUIPMENT OF POWER PLANT STATION

Considered inaccuracy of the measurements worker hydraulic features of the energy equipment power plant station, connected with instability of the change (the fluctuations) parameter and choice discrete measurements. The brought analysis of the mathematical methods of the determination of integral importance parameter when undertaking the energy test the equipment and current checking in system SAU.

Keywords: inaccuracy of the measurements, accuracy of the measurements, unphase measurements, дискретность signal, averageintegral importance.

References

1. Mezerya A.Y. The improvement of the methods and increasing to accuracy of the facilities of the checking parameter models of the hydraulic machines: [thesis] / thesis on competition scientific degree candidate of the technical sciences: profession 05.11.03 / A.Y. Mezerya. -Kharkov. -2005. -181p.

2. Artyukh S.F. The improvement of the methods of increasing to accuracy of the facilities of the checking parameter models of the hydraulic machines [Text]: [monograph] / S.F. Artyuh, A.Y. Mezerya // Ukrainian engineering-pedagogical academy. -Kharkov: NTMT. -2009. -158p.

3. Bolshakov V.B. The reduction of inaccuracy of the measurement of the features of the models of the hydraulic machines / V.B. Bolshakov, A.Y. Mezerya // IV international science conference "Metrology and measuring technology" (Metrology -2004 - Kharkov: -2004. -Т.2. -P. 226-230.

4. Kanyuk G.I. The experimental studies to efficiency automated energy-save management циркуляционными pump of power plant station / Kanyuk G.I., Mezerya A.Y., Laptinov I.P., Babenko I.A., Knyazeva V.N. // Energy-save, energy, energy-audit. # 9(140) -2015. -P.36-42. ISSN 2218-1849.

5. Kanyuk G.I. The scientific principles energy-save in heat and atomic energy [Text] / Kanyuk G.I., Artyuh S.F., Mezerya A.Y., Laptinova E.V., Melnikov V.E. - Kharkov: “Point” -2013. -140 p. ISBN 978-617-669-065-8

6. Artyuh S.F. About one method of the calculation of the energy features of the models hydraulic machines / Artyuh S.F., Litvin O.N., Mezerya A.Y., Babenko K.E. // Vesnik Nacionalnogo tehchnogo universitetu “Kharkivskiy politehnicniy institut” - Kharkov: NTU “HPI” -2004. -Т.1. -P. 126-130.

УДК 621.22.018.8

А. Ю. Мезеря, канд. техн. наук, доц.

Українська інженерно-педагогічна академія

ЗНИЖЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРУ ГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Розглянуто похибки виміру робочих гідравлічних характеристик енергетичного обладнання електростанцій, пов'язані з нестабільністю зміни (коливання) параметрів і вибором дискретності виміру. Наведено аналіз математичних методів визначення інтегрального значення параметрів при проведенні енергетичних випробувань обладнання й поточного контролю в системах САК.

Ключові слова: похибки виміру, точність виміру, несінфазність виміру, дискретність сигналу, середніінтегральне значення.

Надійшла 23.03.2016

Received 23.03.2016

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ MONITORING, DIAGNOSTIC AND MANAGEMENT OF POWER PROCESSES AND EQUIPMENT

УДК 622.673.1

С.П. Шевчук, д-р техн. наук, проф., С.В. Зайченко, д-р техн. наук, доц., проф., В.О. Поліщук, ст. викл.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
В.М. Гарнець, канд. техн. наук, проф.
Національний університет будівництва і архітектури

КІНЕМАТИКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ПІДЙОМНОГО КОМПЛЕКСУ З МЕХАТРОННОЮ СИСТЕМОЮ МІНІМІЗАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИВОДА

У статті представлено новий підхід до управління рухом робочих органів підйомної установки шляхом механічного керування. З метою встановлення закономірностей руху, які забезпечують мінімальні динамічні навантаження при початку руху обрано режим з постійним значенням ривка.

Отримані залежності закономірностей руху дозволяють встановити геометричні системи механічної системи керування, якою є намотуючий робочий орган з біциліндро-параболічним профілем.

Запропонований профіль барабана дозволяє отримати рух з максимально наближеними до теоретичних паркетів.

Ключові слова: підйомна машина, барабан, прискорення, швидкість, висота підйому.

1. Вступ

В даний час у розвитку шахтного підйому України спостерігається тенденція збільшення глибини підйому, швидкості руху посудин і їх вантажопідйомності. Зростання в останні роки глибини підйому до 1200-1500 м і обумовлена цим економічна доцільність концентрації вантажопотоків привели до створення сучасних підйомних комплексів, здатних переміщати в клітях одночасно до 100 чоловік і піднімати скіпи вантажопідйомністю до 50 тонн [1]. При цьому для збереження продуктивності підйомні установки повинні мати все більшу швидкість руху підйомних посудин і велику їх вантажопідйомність. Відомі шахтні підйомні установки, висота підйому яких досягає 2000 м, вантажопідйомність посудин до - 75 т, а максимальна швидкість руху до 20 м/с [2]. У зарубіжній практиці максимальна швидкість підйому досягає 30 м/с. Є підйомні установки, кліті яких одночасно перевозять 150 чоловік. Потужність електроприводів складає до 5-10 тис. кВт. Маса підйомних канатів може досягати 30 т. При цьому значно збільшуються динамічні навантаження при розгоні і гальмуванні [3].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Більша частина підйомних установок працюють автоматично зі зміною руху швидкості підйомних посудин завдяки автоматичним пристроям, які складають систему керування двигуном, що в відповідності з попередньо розрахованою тахограмою, повторюється кожний підйом. Одним із способів підвищення ефективності і надійної роботи підйомної установки є оптимальна настройка системи управління електроприводу з метою зменшення динамічних навантажень, які виникають при пуску, що дозволяє збільшити термін служби всіх складових елементів підйомного встаткування й гірничо-технічних споруджень. Зменшення динамічних навантажень при шахтному підйомі можливо досягти двома відомими способами: застосування автоматизованої системи керування двигуна [4, 5] і барабанів з змінним радіусом (наприклад, біциліндро-конічним) [2, 6]. Застосування першого способу потребує складної багатокопунктної схеми керування електродвигуном, що може призвести до зменшення надійності роботи машини, суттєвого збільшення капітальних (до 50%) і енергетичних витрат (більше 5%). Так втрати потужності тільки в частотному перетворювачі (втрати провідності і переключення) більше 10% [7].

Застосування барабанів з змінним радіусом, наприклад, біциліндро-конічним, вирішує проблему частково, оскільки конічна форма передбачає миттєве виникнення прискорення [2]. Оптимальними умовами пуску підйомної машини є ривок повного значення, який створить розгін машини з постійно зростаючим прискоренням, що мінімізує динамічні явища з мінімальними витратами енергії.

Тому підвищення експлуатаційних властивостей підйомної установки на основі обґрунтування і вибору форми барабана машин підйомних установок за критерієм мінімального прискорення на початку пуску є актуальною науковою задачею.

3. Формулювання мети роботи

Проведені дослідження ставили за мету встановлення закономірностей режимів руху підйомної установки за умови мінімальних динамічних навантажень, які виникають, що дозволить встановити геометрію намотуючого органу зі змінним радіусом.

4. Виклад основного матеріалу.

Необхідність застосування багатоперіодних тахограм при роботі підйомних установок викликана рядом факторів, таких як обмеження швидкості руху в розвантажувальних кривих, нормами ПТЭ, величиною вільного вибігу, тощо. Тому для забезпечення руху за такими вимогами використовують п'ятиперіодну або семиперіодну тахограми з сталими значеннями прискорень на початкових і кінцевих періодах, що призводить до миттєвого виникнення значення динамічних навантажень на всі елементи підйомної установки. Зменшення динамічних навантажень під час пуску можливо при умові:

$$a(t) = 0, \text{ при } t = 0.$$

Дану умову можливо виконати при постійному ривку на початку руху:

$$b = const = \rho, \text{ при } t = 0.$$

Встановимо залежності зміни ривка $b(t)$, прискорення $a(t)$, швидкості $v(t)$ і висоти підйому $h(t)$ від часу шляхом покрокового інтегрування. Для ривка $b(t)$ з рівним значенням тривалості перших і останніх двох періодів залежність набуває наступного вигляду:

$$\begin{aligned} b(t) &= \rho, t \in [0; t_1]; \\ b(t) &= -\rho, t \in [t_1; t_2]; \\ b(t) &= 0, t \in [t_2; t_3]; \\ b(t) &= -\rho, t \in [t_3; t_4]; \\ b(t) &= \rho, t \in [t_4; t_5]. \end{aligned} \quad (1)$$

Залежності для зміни прискорення $a(t)$ отримуємо шляхом інтегрування функцій зміни ривка $b(t)$ за часом (1):

$$\begin{aligned} a(t) &= \rho t, t \in [0; t_1]; \\ a(t) &= -\rho(t - t_1) + \rho t_1 = -\rho t + 2\rho t_1, t \in [t_1; t_2]; \\ a(t) &= 0, t \in [t_2; t_3]; \\ a(t) &= -\rho(t - t_3), t \in [t_3; t_4]; \\ a(t) &= -\rho(t_4 - t_3) + \rho(t - t_4), t \in [t_4; t_5]. \end{aligned} \quad (2)$$

Залежності для зміни швидкості $v(t)$ отримуємо шляхом інтегрування функцій зміни прискорення $a(t)$ за часом(2):

$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{\rho t^2}{2}, t \in [0; t_1]; \\ v(t) &= \frac{\rho t_1(t^2 - 2t_2t + t_1t_2)}{2(t_1 - t_2)}, t \in [t_1; t_2]; \\ v(t) &= \rho t_1^2, t \in [t_2; t_3]; \\ v(t) &= \frac{-\rho((t - t_3)^2 - 2t_1^2)}{2}, t \in [t_3; t_4]; \\ v(t) &= \rho(t_1^2 - \frac{t_3 - t_4}{2} - \frac{t_1(t - t_4)(t + t_4 - 2t_5)}{2(t_4 - t_5)}), t \in [t_4; t_5]. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогічно для висоти підйому $h(t)$ з прискорення $a(t)$ (3):

$$\begin{aligned}
 h(t) &= \frac{\rho t^3}{6}, t \in [0; t_1]; \\
 h(t) &= \frac{-\rho t_1(3t_2 t^2 - t^3 - 3t_1 t_2 t + t_1^2 t_2)}{6(t_1 - t_2)}, t \in [t_1; t_2]; \\
 h(t) &= \frac{\rho t_1(2t_2^2 - 7t_1 t_2 + 6t_1 t)}{6}, t \in [t_2; t_3) \\
 h(t) &= \frac{\rho(3t^2 t_3 - t^3 + 6t t_1^2 - 3t t_3^2 - 7t_1^2 t_2 + 2t_1 t_2^2 + t_3^3)}{6}, t \in [t_3; t_4) \\
 h(t) &= \rho \left(\left(t - \frac{7t_2}{6} \right) t_1^2 + \left(\frac{t_2^2}{3} - \frac{(t-t_4)^3}{6(t_4-t_5)} - \frac{(t-t_4)^2}{2} \right) t_1 + \frac{(t_3-t_4)^3}{6} - \frac{(t-t_4)(t_3-t_4)^2}{2} \right), t \in [t_4; t_5).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

За таких умов графік зміни ривка $b(t)$, прискорення $a(t)$, швидкості $v(t)$ і висоти підйому $h(t)$ (4) під час руху підйомної посудини має наступний вигляд (рис. 1, а) при:

$$t_1 = 2.5\tilde{n}, t_2 = 5\tilde{n}, t_3 = 45\tilde{n}, t_4 = 47.5\tilde{n}, t_5 = 50\tilde{n}, \rho = 1 \frac{i}{\tilde{n}^3}.$$

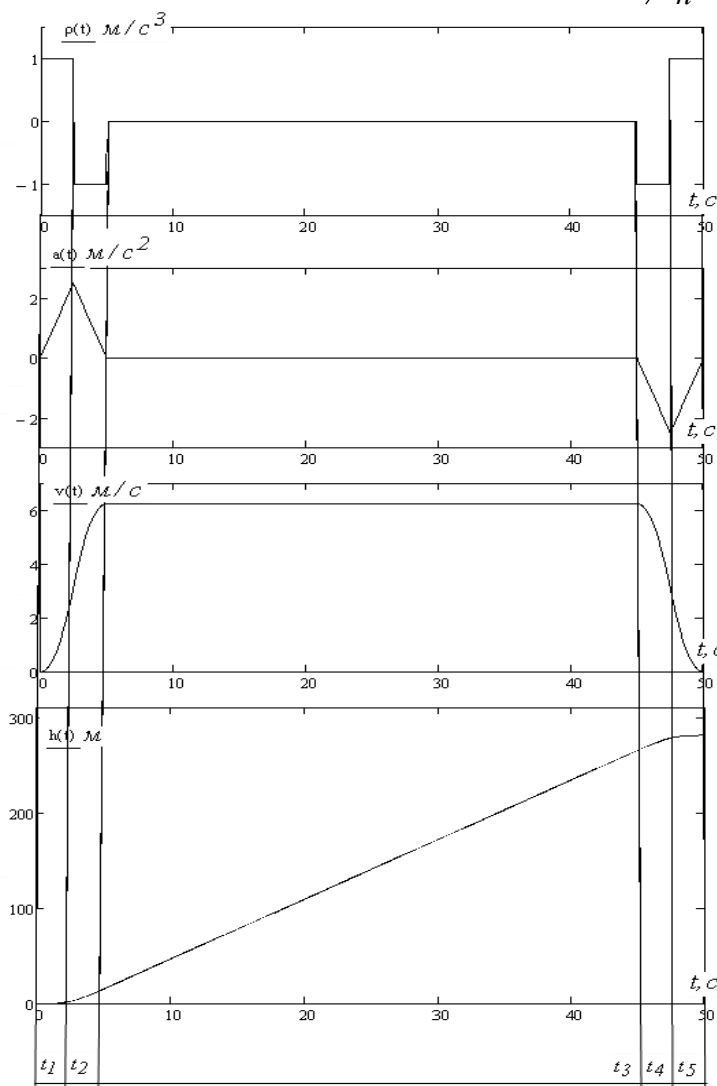


Рисунок 1 – Графіки зміни ривка $b(t)$, прискорення $a(t)$, швидкості $v(t)$ і висоти підйому $h(t)$

Основними вихідними параметрами для розрахунку намотуючих органів є діаметр каната d , проміжок між сусідніми витками e (для барабанів зі змінним радіусом 0.015-0.02м). Середній діаметр n -го витка D_i :

$$D_i = \frac{h(t_n + \Delta t) - h(t_n)}{\pi} - d = \frac{h(\Delta t i) - h(\Delta t(i-1))}{\pi} - d,$$

де Δt – час за який барабан робить один оберт:

$$\Delta t = \frac{2\pi}{\omega},$$

де ω – кутова швидкість барабана.

Профіль барабана, який відповідає умовам мінімального початкового прискорення ($a(0) = 0$) зображено на рис. 2, при:

$$t_1 = 4\text{с}, t_2 = 8\text{с}, t_3 = 42\text{с}, t_4 = 46\text{с}, t_5 = 50\text{с}, \rho = 1 \frac{i}{\tilde{n}^3}, \omega = 4.5\tilde{n}^{-1}.$$

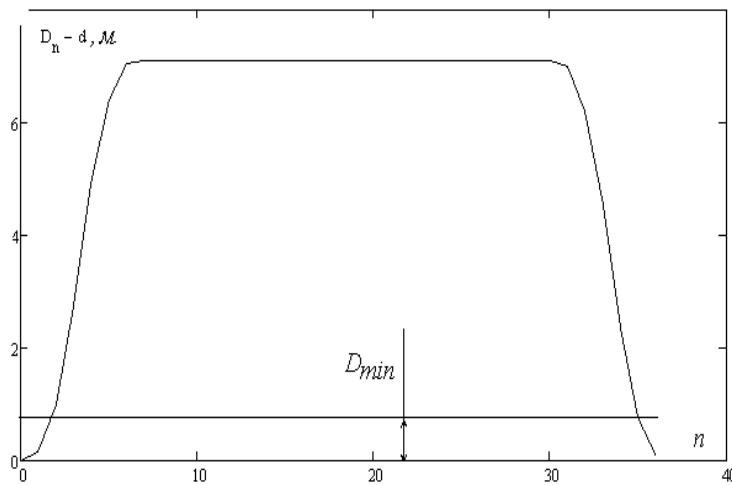


Рисунок 2 – Профіль біциліндро-параболічного барабана

Очевидним недоліком запропонованої залежності є недопустимі розміри на початку і кінці барабану за умов мінімального діаметру D_{min} (рис. 2), які регламентуються правилами безпеки, що потребує корекції профілю барабана на початкових і кінцевих ділянках. Зміна початкового профілю потребує корекції довжини центральної циліндричної частини у сторону її зменшення. Номер витка, до якого барабан на початку має циліндричну форму n_{min} , можливо визначити з умови:

$$D_{min} \leq D_{n_{min}},$$

Час необхідний для проходження початкової циліндричної зони $t_{\ddot{o}}$:

$$t_{\ddot{o}} = \frac{2\pi n_{min}}{\omega} = n_{min} \Delta t,$$

Збільшення шляху Δh за рахунок збільшення діаметру барабана:

$$\Delta h = \int_0^{t_{\ddot{o}}} \left(\frac{D_{min}\omega}{2} - \frac{\rho t^2}{2} \right) dt = \frac{D_{min}\omega}{2} t_{\ddot{o}} - \frac{\rho t_{\ddot{o}}^3}{6}.$$

Кількість витків Δn на які слід скоротити центральну циліндричну частину барабану, становить:

$$\Delta n = \frac{\Delta h}{D_{max}},$$

де D_{max} - діаметр центральної циліндричної частини барабана.

Зовнішній вигляд біциліндро-параболічного барабана з корекцією профілю барабана на початкових, кінцевих і центральних ділянках представлено на рис. 3.

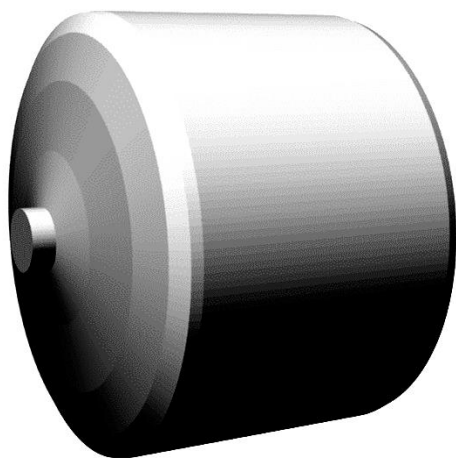


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд біциліндро-параболічного барабана

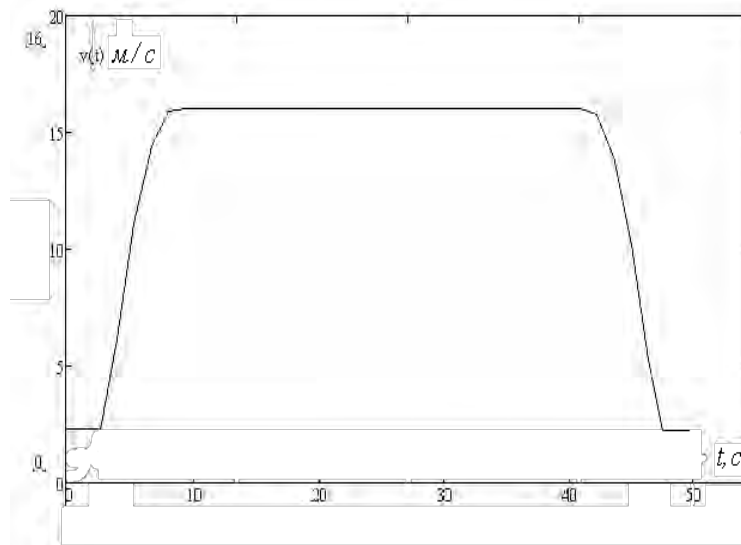


Рисунок 4 – Тахограма біциліндро-параболічного барабана

Аналіз тахограми, яку забезпечує відкоригована форма барабана (рис. 4.) свідчить про переважну (більше 80%) відтворюваність тахограми представленої на рис. 1, що дозволяє досягти поставлену мету шляхом встановлення режимів руху підйомної установки за умови виникнення мінімальних динамічних навантажень. Також, слід відзначити, що виникаючи миттєво швидкості і прискорення з наведеної теоретичної тахограми на практиці будуть мати повільний характер за рахунок пружних і в'язких властивостей елементів приводу,

Висновки і перспективи розвитку напрямлення.

Запропонований підхід аналізу руху з метою мінімізації динамічних навантажень, які діють на привід підйомної установки, дозволяє створити методику розрахунку головних параметрів приводу. Застосування запропонованого теоретичного режиму руху підйомної посудини дозволить зменшити прискорення на початку руху підйомної посудини і як наслідок зменшити динамічні навантаження на привід підйомної установки.

Встановлено умови мінімізації динамічних навантажень на привід підйомної машини, що забезпечують поступове (лінійне) збільшення прискорення під час пуску.

Запропоновані авторами принципи і залежності руху підйомної посудини з мінімізацією динамічних навантажень привода при пуску дозволять створити методику розрахунку головних кінематичних характеристик і параметрів намотуючих органів інших підйомних машин, які потребують оптимізації процесу пуску.

Список використаної літератури

1. Динамика канатных и гидротранспортных подъемных комплексов горных предприятий: монография / В.И. Самуся, С.Р. Ильин, В.Е. Кириченко, И.С. Ильина ; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 302 с.
2. Федорова, З. М. Подъемники / З. М. Федорова, И. Ф. Лукин, А. П. Нестеров ; под ред. З. М. Федоровой. - Киев : Вища шк., 1976. - 296 с.
3. Корняков, М. В., Защита шахтных подъемных установок от динамических нагрузок при зависании подъемных сосудов в стволе : автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.05.06 / М. В. Корняков. - Иркутск, 2000. – 24с.
4. Босак А. В. Позиционное управление шахтной подъемной установкой с нечеткой коррекцией положения перемещаемого груза / А. В. Босак, В. М. Чермалых // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – 2013. - №36 (1009) - С. 485-487.
5. Босак А. В. Оптимизация управления скоростью и положением многосвязной электромеханической системы с нечеткой коррекцией управляющих воздействий / А. В. Босак, А. В. Чермалых, Е. И. Алтухов, А. В. Данилин // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. - 2014. – № 2 (26). - С. 31-38.

6. Основы металлургии [Текст]. Т. 7: Технологическое оборудование предприятий цветной металлургии / отв. ред. А. И. Басов [и др.]. - М.: Металлургия, 1975. - 1008 с.

7. Борисевич А. В. Энергосберегающее векторное управление асинхронными электродвигателями: обзор состояния и новые результаты / Борисевич А. В. // - М.: ИНФРА-М, 2015. - 104 с.

S.P. Shevchuk, S.V. Zaychenko, V.O. Polishchuk
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

V.M. Garnets

Kyiv National University of Construction and Architecture

KINEMATICS RESOURCE SAVING LIFTING COMPLEX MECHATRONIC SYSTEMS

MINIMIZE DYNAMIC LOADS DRIVE

The paper presents a new approach to managing the movement of the lift installation work by mechanical control. In order to establish movement patterns that provide the minimum dynamic load at the beginning of the movement mode is selected with a constant value leap.

Depending on traffic patterns resulting pressure can establish geometric system of mechanical control system, which is reeling from a working body bitsylindro-parabolic profile.

The new profile allows the drum to get moving on it as close theoretical flooring.

Key words: lifting machine drum, acceleration, speed, lift height.

References

1. Dynamics kanatih hydrotransportnih and hoisting complexes hornih enterprises: monograph / V.I. Samus, S.R. Ylyn, V.E. Kirichenko, Y.S. Ylyna; N-of Education and Science, Nat. horn. Univ. - D.: NSU, 2015. - 302 p.

2. Fedorov S.N. Podemnyky SN / SN Fedorov, I. F. Lukin, AP Nesterov; ed. ZM Fedorovoy. - Kiev: Higher HQ., 1976. - 296 p.

3. Korniyakova M.V. Zashchita shahtnih hoisting installations from Dynamic nahruzok at zavysanyy elevating vessels in the stem: Abstract IA to soyskanye uchenoy degree candidate. Sc. Sciences: 05.05.06 / MV Korniyakova. - Irkutsk, 2000. - 24s.

4. Bosak A.V. Pozytsonnoe Management shahtnoy pod'emnoy ustanovkoy with nechetkoy correction POSITION peremeschaemoho of cargo / AV Bosak, VN Chermalih // Proceedings of the National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute' Series: Problems of automated electric. Theory and Practice. - 2013. - №36 (1009) - P. 485-487.

5. Bosak A.V. Optimization and Control skorostyu position elektromehanycheskoy multiply connected systems with nechetkoy correction upravlyayuschyh vozdeystvyi / A.V. Bosak, A. Chermalih, E.I. Altukhov, A.V. Danilin // Electromechanical and saving system. - 2014. - № 2 (26). - P. 31-38.

6. Fundamentals of Metallurgy [text]. Т. 7: Technological equipment enterprises tsvetnoy Metallurgy / Otv. Ed. AI Basov [et al.]. - Moscow: Metallurgy, 1975. - 1008 p.

7. Borisevich A.V. Enerhosberehayuschee vektornoe Management asynhronnimy electric motors / Borisevich A.V. // - М.: INFRA-М, 2015. - 104

УДК 622.673.1

С.П. Шевчук, С.В. Зайченко, В.Е. Полищук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Гарнец В.Н.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

КИНЕМАТИКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА С МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМОЙ МИНИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИВОДА

В статье представлен новый подход к управлению движением рабочих органов подъемной установки путем механического управления. С целью установления закономерностей движения, которые обеспечивают минимальные динамические нагрузки при начале движения выбран режим с постоянным значением рывка.

Полученные зависимости закономерностей движения давлений позволяют установить геометрические системы механической системы управления с рабочим орган бицилиндро-параболическим профилем.

Предложенный профиль барабана позволяет получить движение с максимально приближенными то теоретических паркетов.

Ключевые слова: подъемная машина, барабан, ускорение, скорость, высота подъема.

Надійшла 19.02.2016

Received 19.02.2016

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Складність широкого застосування спектральних методів функціонального діагностування полягає в тому, що недостатньо досліджено окремі несправності електромеханічних систем на предмет отримання діагностичної інформації і не стандартизовано діагностичні параметри, які характеризують електромагнітні, вібраційні й акустичні процеси. Тому, останнім часом як альтернативу спектральним методам розглядають енергетичні методи діагностування електромеханічних систем. У статті обґрунтовано можливість визначення технічного стану на основі діагностичних параметрів – втрат потужності в елементах електромеханічної системи та відносного зношування ізоляції. Математичне моделювання та експериментальна перевірка підтвердила адекватність енергетичного підходу до визначення несправностей.

Ключові слова: електромеханічна система, технічний стан, діагностування, відносне зношення, втрати потужності, якість напруги живлення, режим навантаження.

Вступ. Більшість аварій електромеханічних систем (ЕМС) має прихований характер і виявляється лише після відповідних випробувань або розбирань. Складність діагностування ЕМС зумовило появу значної кількості різних методів та підходів, кожний з яких має свої переваги, недоліки й сферу використання. Найбільш розповсюджені методи функціонального діагностування – спектральні (вібродіагностика, спектрально-струмовий аналіз, спектральний аналіз магнітного поля), енергетичні методи (електричні, теплові) та методи розпізнавання станів.

Основною причиною виникнення аварій та низької енергоефективності ЕМС є неврахування впливу якості напруги живлення та режиму навантаження, недостатній обсяг інформації про технічний стан, відсутність ефективного безперервного захисту двигунів, несвоєчасне виявлення і усунення дефектів, недостатній рівень експлуатації, неякісний ремонт.

Метою роботи є: обґрунтування можливості визначення технічного стану ЕМС на основі діагностичних параметрів – втрат потужності в її елементах та відносного зношування ізоляції.

Аналіз попередніх досліджень. Спектральні методи діагностування базуються на виділенні з вимірюваного сигналу частотних складових з подальшим їх аналізуванням. Найпоширенішим з них є вібродіагностика [1, 2]. Комплекс параметрів вібрації практично повністю характеризує технічний стан ЕМС і дозволяє прогнозувати виникнення пошкоджень і аварій [3]. Основними недоліками цього методу є відсутність можливості контролювання енергетичного й теплового стану та необхідність зупинки устаткування і доступу до елементів ЕМС. Основним недоліком діагностування за спектральним аналізом магнітного поля є складне вимірювання сигналу – необхідність встановлення датчиків у повітряний зазор асинхронного двигуна (АД).

Останнім часом отримали розвиток методи діагностування стану ЕМС, засновані на моніторингу споживаного струму з виконанням спеціального спектрального аналізу отриманого сигналу [4-6]. Принцип методу полягає в тому, що будь-які збурення в роботі механічної і електричної частин двигуна та пов'язаного з ним механізму призводять до змін магнітного потоку в зазорі електричної машини, а отже – до слабкої модуляції споживаного струму. Поява у спектрі спожитого струму характерних частот певної величини свідчить про наявність пошкоджень електричної або механічної частин ЕМС [4, 6].

Складність широкого застосування наведених методів полягає в тому, що недостатньо досліджено окремі несправності ЕМС на предмет отримання діагностичної інформації і не стандартизовано діагностичні параметри, які характеризують електромагнітні, вібраційні й акустичні процеси. Ці методи не завжди можуть запобігти розвитку дефектів на ранній стадії їх виникнення.

Неврахування зв'язків між процесами перетворення енергії та їх наслідками є істотним недоліком існуючих засобів діагностування ЕМС. Це не дозволяє встановити причини, які призводять до виникнення і розвитку несправностей та аварій, погіршення енергоефективності. Існує взаємозв'язок між якістю електроенергії, режимом навантаження, процесами перетворення енергії та технічним станом ЕМС.

Матеріали і результати досліджень.

Перспективними є енергетичні методи діагностування. Як діагностичні параметри використовуються струми (миттєві значення, імпульси надструмів, струми витоків), напруги (миттєві значення, напруга нульової та зворотної послідовності) й температура частин двигуна (обмотки, сталі) [7].

На сьогодні не існує загального критерію визначення технічного стану ЕМС енергетичними методами, який був би придатний для кількісної оцінки. Пропонується визначати технічний стан ЕМС за допомогою показника відносної зношеності ізоляції та аналізу складових втрат, за якими діагностується ушкодження у відповідному вузлі.

Відносна зношеність ізоляції $\bar{\chi}$ АД за період часу T

$$\bar{\chi} = \frac{1}{T} \int_0^T e^{b\Delta\tau_H} dt,$$

де $\Delta\tau_H$ - перевищення температури АД над номінальною температурою, b – сталий коефіцієнт для даного виду ізоляції.

Найчастіше застосовується розрахунок нагрівання за експонентою, тобто представлення моделі АД диференціальним рівнянням теплового стану

$$\frac{d\Delta\tau}{dt} = \frac{1}{C} [\Delta P - A\Delta\tau],$$

де $\Delta\tau$ - перевищення температури АД над температурою довкілля; ΔP – «гріючі» втрати потужності в двигуні; C, A - теплоємність та тепловіддача відповідно.

Таким чином відносна зношеність ізоляції обмотки АД визначається через «гріючі» втрати потужності в двигуні, всі інші параметри є умовно сталими.

Якщо ЕМС з АД працює зі зниженим навантаженням, то відносна зношеність ізоляції, як правило, нижча від номінального значення. Коли робоча температура вища припустимої, відносна зношеність перевищує одиницю. Таким чином, головна умова справного технічного стану – відносна зношеність ізоляції за певний період часу (цикл роботи, зміну тощо) не повинна перевищувати одиницю.

Виконано математичне моделювання роботи АД потужністю 40 кВт відповідно до типового графіка електричного навантаження (ГЕН) насосної установки комунального водопостачання в умовах неякісної напруги живлення і зміни навантаження (рис. 1, 2, 3). Визначення параметрів процесу енерговикористання проводилось відповідно до методики функціонального діагностування енергоефективності ЕМС [8]. Вказана методика за результатами вимірювань експлуатаційних параметрів (струмів і напруг) дозволяє визначити в реальному часі технічний і енергетичний стан ЕМС. Методика урахує якість напруги живлення (відхилення, несиметрію та несинусоїдальність напруги, відхилення частоти), величину і характер навантаження, різницю між моментами на валу й електромагнітним для різних навантажень, гальмівний момент двигуна від струмів зворотної послідовності, додаткові втрати через несинусоїдальність та несиметрію напруги (визначається за моментом двигуна від струмів зворотної послідовності).

На рис. 1 наведено змодельовані параметри АД ЕМС в умовах поступового збільшення завантаження в 1,5 рази, а потім його зменшення до початкового значення.

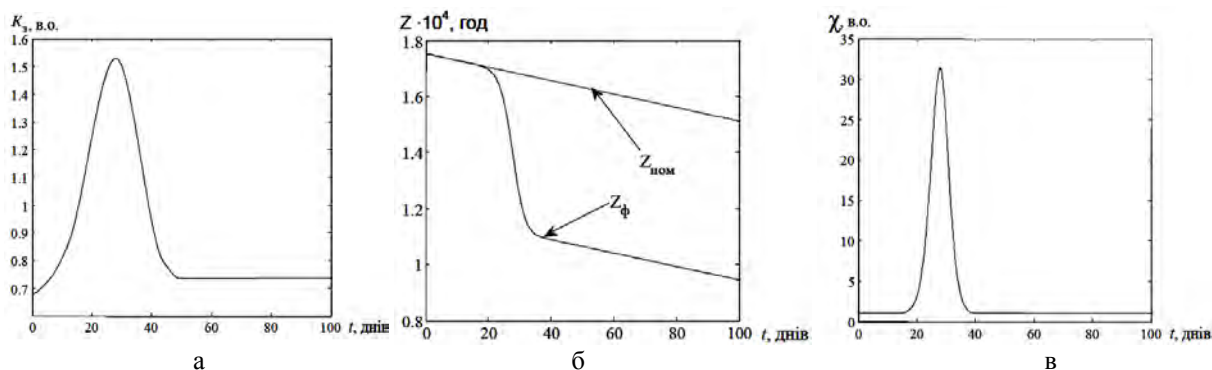


Рисунок 1 – Результати моделювання характеристик насосної установки в умовах збільшення навантаження:

а – ГЕН; б - залишковий ресурс; в - відносна зношування

Як видно з рис. 1, під час роботи в такому режимі зношеність зростає суттєво. В момент досягнення навантаженням максимуму відносна зношеність сягає значення понад 30 відн. од., а залишковий ресурс зменшується з 730 днів до 24.

На рис. 2 наведено змодельовані параметри АД ЕМС в умовах неякісної напруги живлення, що виражається у відхиленні напруги від номінальної.

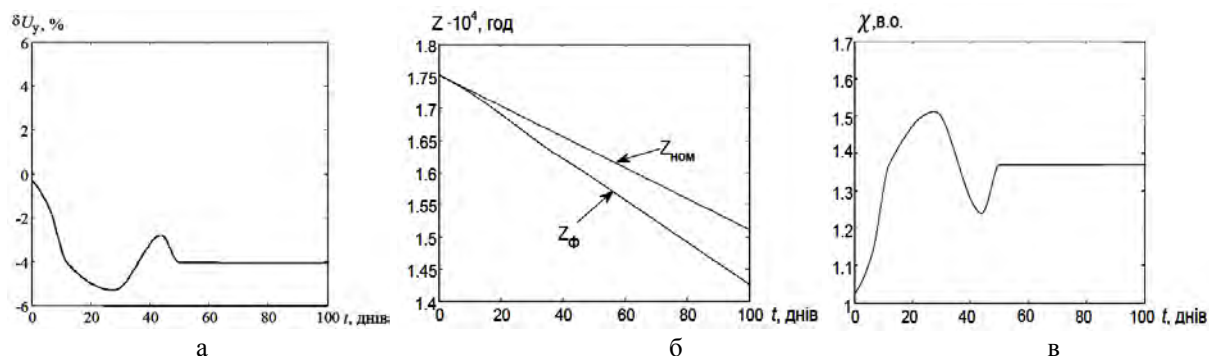


Рисунок 2 – Результати моделювання характеристик насосної установки в умовах відхилення напруги живлення від номінальної: а - відхилення напруги; б - залишковий ресурс; в - відносне зношування

З рис. 2 видно, що робота в такому режимі відхилення напруги призводить до зростання зношеності ізоляції АД ЕМС у 1,5 рази. Таким чином, залишковий ресурс у момент найбільшого значення відхилення напруги зменшується з 730 днів до 485.

На рис. 3 наведено змодельовані параметри АД ЕМС в умовах живлення неякісною напругою, що виражається у несиметрії напруги.

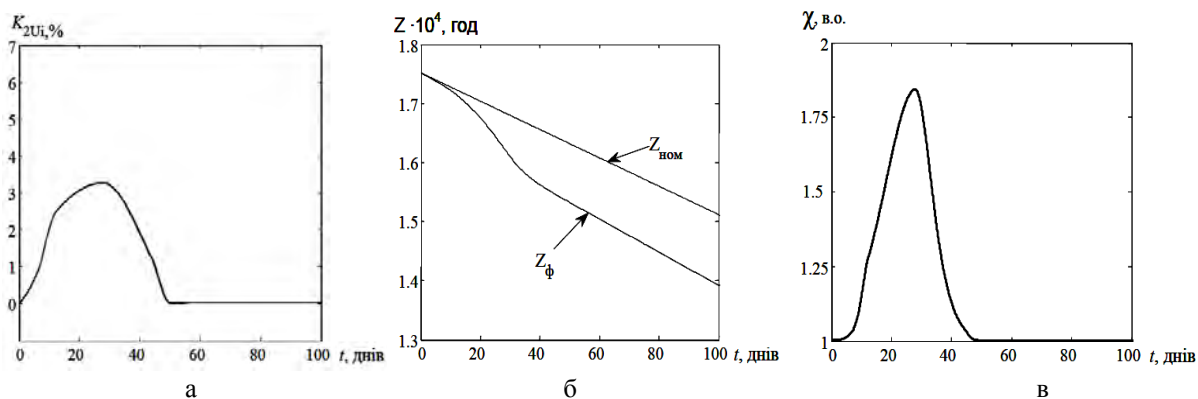


Рисунок 3 – Результати моделювання характеристик насосної установки в умовах несиметрії напруги живлення: а - коефіцієнт несиметрії за оберненою послідовністю; б - залишковий ресурс; в - відносне зношування

Як видно з рис. 3, робота в такому режимі збільшує відносне зношення у 2,8 рази, а залишковий ресурс у момент найбільшої несиметрії зменшується з 730 днів до 260.

Таким чином, математичне моделювання роботи АД насосної установки в умовах неякісної напруги живлення і зміни навантаження підтвердило, що відносне зношення може розглядатись як діагностична ознака, а його значення понад одиницю свідчить про перехід ЕМС до неномінального, передаварійного режиму.

Як другий критерій технічного стану АД пропонується застосовувати величину втрат у його вузлах. Аналіз цих значень здійснюється шляхом порівняння поточних значень складових втрат ΔP_{ϕ} з їх еталонними значеннями ΔP_e . Якщо $\Delta P_{\phi} > \Delta P_e$, ЕМС знаходиться у незадовільному технічному стані. Таким чином, за складовими втрат діагностується несправність у відповідному вузлі ЕМС з АД.

Результати математичного моделювання роботи АД 40 кВт відповідно до типового ГЕН насосної установки комунального водопостачання з несправністю в обмотці статора, яка виражена в суттєвому зниженні її опору внаслідок міжвиткових замикань, наведено на рис. 4.

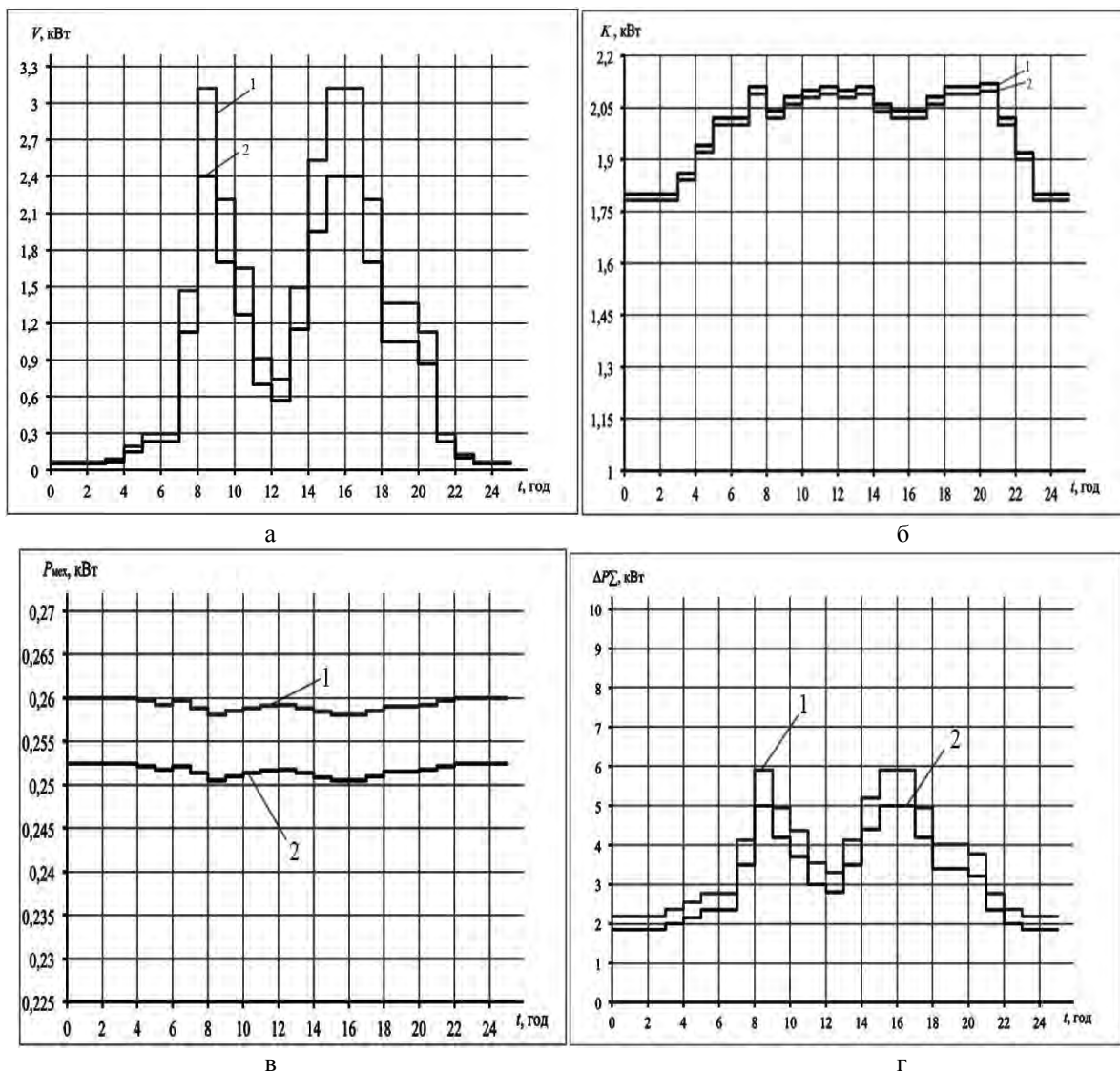


Рисунок 4 – Результати моделювання складових втрат АД насосної установки з несправностями обмотки статора (1 – несправний двигун, 2 - справний):
а - змінні втрати; б - постійні втрати; в - механічні втрати; г - повні втрати

Як видно з рис. 4, суттєво більшими порівняно з еталонними є значення змінних втрат. А саме – зросли на 50% втрати в обмотці статора внаслідок збільшення струму, що споживається. Це свідчить про несправність в обмотці статора. Змінні втрати в роторі лишилися практично сталими. Постійні втрати зменшились на 1% внаслідок спадання напруги в обмотці ротора через збільшення струму АД, що споживається. Механічні втрати збільшились на 3% через виникнення гальмівних моментів під час роботи несправного двигуна. Загальні втрати зросли на 18%. Крім того, ККД знизився на 2%. Таким чином, за методом складових втрат можна зробити висновок про пошкодження в обмотці статора.

Для обґрунтування можливості визначення технічного стану на основі втрат потужності в елементах ЕМС та відносного зношування ізоляції проведено експериментальне дослідження: виявлення несправностей обмоток статора і ротора АД. Несправність у обмотці статора реалізована шляхом припаювання в лобовій частині однієї з фаз обмотки перемички з мідного дроту, яка зашунтувала декілька витків. Додатково введення несправності в ротор здійснювалось заміною справного ротора іншим, з трьома відірваними стрижнями. АД типу 4А80В4У3 ($P_H = 1,5 \text{ кВт}$, $n_H = 1500 \text{ об/хв}$, $U_H = 380 \text{ В}$, $\eta_H = 77\%$, $\cos \phi_H = 0,83$) навантажувався за допомогою навантажувального пристрою «Тормоз ПТ-2,5М» в лабораторних умовах відповідно до ГЕН АД промислового насоса (рис. 5,а).

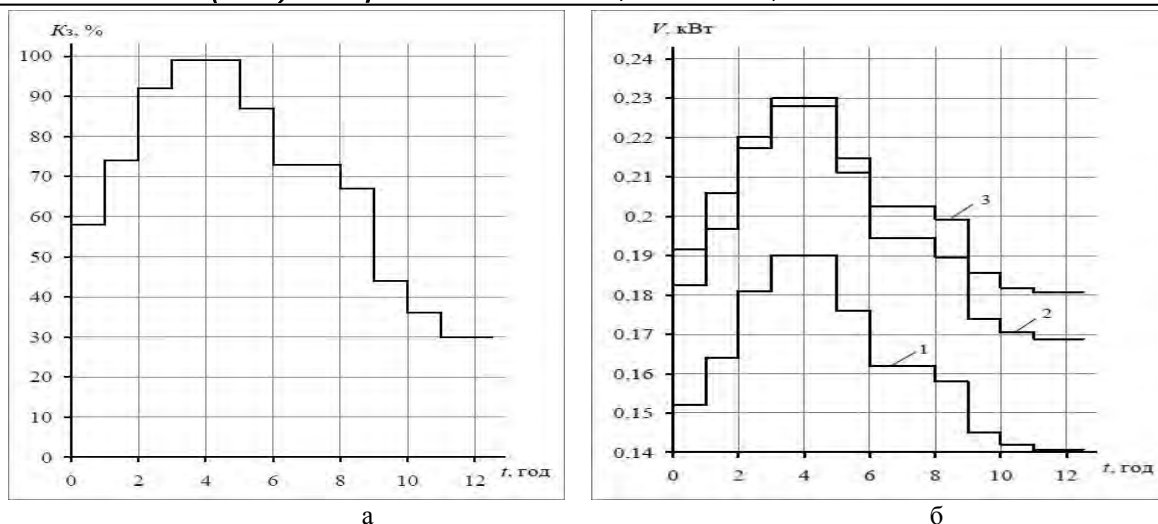


Рисунок 5 – Графіки: а - ГЕН АД промислової насосної установки; б - змінних втрат у часі (1 – неушкодженого двигуна; 2 – ушкодженого двигуна, визначені згідно ГОСТ 25941-83; 3 – ушкодженого двигуна, визначені за допомогою методики [8])

На першому етапі експерименту виявлено зменшення активного опору обмотки статора двигуна на 20% і збільшення втрат в обмотці в середньому на 25% протягом циклу роботи. Після введення додаткової несправності у ротор виявлено зменшення активного опору обмотки ротора на 10% і збільшення втрат у обмотці на 12%. Сумарні змінні втрати зросли на 21% (рис. 5,б). Отримані результати підтвердили наявність несправностей в обмотках статора і ротора двигуна, які діагностовано за методом складових втрат.

Визначення технічного стану ЕМС на основі діагностичних параметрів – втрат потужності в її елементах та відносного зношування ізоляції дозволяє поєднати завдання технічного діагностування з завданнями енергетичного менеджменту (аудиту), основною функцією яких є управління енергоспоживанням і технічним станом. Енергетичний підхід до визначення технічного стану ЕМС може застосовуватися в системах моніторингу та функціонального діагностування, при визначенні показників енергоефективності ЕМС та причин їх зниження, в програмному забезпеченні сучасних інформаційних систем «розумного енергоспоживання».

Висновок. Для визначення технічного стану та виявлення механічних несправностей ЕМС з АД запропоновано використовувати показник відносної зношеності ізоляції та метод складових втрат. Доцільність їх застосування обґрунтована за допомогою математичного моделювання та експериментальних досліджень. Поєднання завдань, енергетичного менеджменту та технічного діагностування ЕМС на основі енергетичного підходу, дозволить на основі контролювання у реальному часі енергетичного і технічного стану забезпечити найефективніше використання фактичного ресурсу з мінімальним споживанням електроенергії та запобігти аварійним режимам.

Список використаної літератури

1. А. Ширман Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Ширман, А. Соловьев – Москва 1996, 252 с.
2. В.Н. Костюков Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия / В.Н. Костюков, А.П. Науменко // Контроль. Диагностика. – №3. – 2007. – С. 50-59.
3. Браташ О.В. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей. / Браташ О.В., Калинов А.П. // Электромеханика и энергозберігаючі системи. 2010. – Вип. 2/2010 (10). – 78 с.
4. Randy R. Schoen, Thomas G. Habetler, Farrukh Kamran, Robert G. Barthel «Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring» IEEE transactions on industry applications, vol.31, no. 6, November/December 1995.
5. Петухов В. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения. Ч.1 / В. Петухов // «Новости электротехники», №1(49), 2008.
6. Петухов В. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / В. Петухов, В. Соколов // «Новости электротехники», №1(31), 2005.
7. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / Овчаров В.В. – Киев: Изд-во УСХА, 1990. -110 с.
8. Закладний О.О. Методика функціонального діагностування енергоефективності асинхронного електропривода // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №1, – С. 79-84.

O.O. Zakladnyi, A. Lutc

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

DEFINITIONS OF TECHNICAL ELECTROMECHANICAL SYSTEM USING ENERGY

METHODS

Difficulty widespread use of spectral methods of functional diagnosis of electromechanical systems is insufficiently explored some fault of asynchronous motors for the purpose of obtaining diagnostic information and is not standardized diagnostic parameters that characterize electromagnetic, vibration and acoustic processes. Therefore, in recent years as an alternative to consider methods of spectral energy diagnosing techniques. In the article the possibility of determining the technical condition on the basis of diagnostic parameters - power losses in the electromechanical system elements and the relative deterioration of insulation. Mathematical modeling and experimental verification confirmed the adequacy of energy approach to determining malfunctions.

Keywords: electromechanical system, technical condition, diagnosis, relative wear loss of power quality supply voltage, load mode.

References

1. A. Shearman. Practical vibration diagnostics and monitoring of mechanical equipment / A. Shearman, A. Soloviev - Moscow 1996, 252 p.
2. V.N. Kostjukov. Control systems of technical condition of machinery control reciprocating / V.N. Kostjukov, A.P. Naumenko // Control. Diagnostics. - No. 3. - 2007. - P. 50-59.
3. O.V. Bratash. Analysis of vibration diagnostics methods of induction motors. / Bratash O.V., Kalinov A.P. // Electromechanical and energy saving systems. – 2010 - №. 2/2010 (10). - 78 p.
4. Randy R. Schoen, Thomas G. Habetler, Farrukh Kamran, Robert G. Barthel «Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring» IEEE transactions on industry applications, vol.31, no. 6, November / December 1995.
5. V. Petukhov. Diagnostics motors. Spectral analysis of the magnitude of the current and voltage of the Park. Part 1 / Electrical Engineering News, – №1 (49), 2008.
6. Petukhov V. Diagnosis of the electric motors. Method of spectral analysis of the current consumption / V. Petukhov, V. Sokolov // Electrical Engineering News, – №1 (31), – 2005.
7. Ovcharov V.V. Operating modes and continuous diagnostics of electrical machines in agricultural production. / Ovcharov V.V. - Kiev: Publishing house USKHA, 1990. – 110 p.
8. Zakladnyi O.O. Methods of functional diagnostics asynchronous electric energy // Power engineering: economics, technique, ecology. - 2013. - №1, - P. 79-84.

УДК 621.311.001.57 (063)

О.А. Закладной, канд. техн. наук, доцент, А.О. Луц, студент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Сложность широкого применения спектральных методов функционального диагностирования заключается в том, что недостаточно исследованы отдельные неисправности электромеханических систем на предмет получения диагностической информации и не стандартизированы диагностические параметры, характеризующие электромагнитные, вибрационные и акустические процессы. Поэтому, в последнее время в качестве альтернативы спектральным методам рассматриваются энергетические методы диагностики электромеханических систем. В статье обоснована возможность определения технического состояния на основе диагностических параметров – потерь мощности в элементах электромеханической системы и относительного износа изоляции. Математическое моделирование и экспериментальная проверка подтвердила адекватность энергетического подхода к определению неисправностей.

Ключевые слова: электромеханическая система, техническое состояние, диагностирование, относительный износ, потери мощности, качество напряжения питания, режим нагрузки.

Надійшла 07.04.2016

Received 07.04.2016

ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ У СИСТЕМАХ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

З метою підвищення рівня діагностування силових трансформаторів розроблено математичні моделі аналізу діагностичних параметрів температури та вологості масла, які передбачають параметричну ідентифікацію теплової моделі та моделі вологовмісту методом рою частинок. На основі запропонованого підходу розроблено відповідні алгоритми та програмне забезпечення. Перевірку працездатності запропонованих математичних моделей здійснено на основі аналізу результатів, отриманих після обробки експериментальних даних, що були отримані на діючому силовому трансформаторі.

Ключові слова: силовий трансформатор, діагностичний параметр, температура масла у верхніх шарах, вологовміст масла, параметрична ідентифікація.

Вступ.

Основною задачею системи діагностування силових трансформаторів є визначення поточного стану за всіма доступними діагностичними параметрами. Сучасні апаратні засоби дають змогу автоматично вимірювати основну частину поточних діагностичних параметрів під робочою напругою завдяки використанню встановлених безпосередньо на обладнанні датчиків, з'єднаних цифровими або аналоговими лініями зв'язку з блоками збору та обробки інформації. Застосування методів постійного контролю на робочому обладнанні дає змогу виявляти навіть дефекти, які швидко розвиваються, з періодом розвитку від декількох хвилин.

Для оцінювання технічного стану силових трансформаторів у робочих режимах зручним є метод порівняння поточних значень діагностичних параметрів з базовими даними [1]. Вимірювання діагностичних параметрів відбувається з певною дискретизацією за весь час роботи в різних режимах. Проте нормовані значення параметрів відповідають тільки певним встановленим режимам випробувань обладнання (наприклад, режим номінального навантаження, неробочого ходу) і не можуть використовуватися для порівняння з параметрами, виміряними за інших режимів роботи (наприклад, при іншому навантаженні трансформатора). Необхідно визначати базові значення діагностичних параметрів як функції часу та інших вхідних змінних, що характеризують поточний режим роботи трансформатора.

Мета та завдання. Моделі для визначення базових значень діагностичних параметрів у загальному випадку містять певний набір коефіцієнтів (параметрів) λ . Ці коефіцієнти визначають поведінку моделі на різних вхідних даних і залежать від характеристик конкретного трансформатора. Безпосереднє визначення цих коефіцієнтів за допомогою лабораторних вимірювань чи експериментальних досліджень для кожного трансформатора не завжди доцільне. Натомість пропонується застосувати метод параметричної ідентифікації моделей з використанням даних, вимірянних за нормального режиму роботи обладнання, коли відсутність дефектів підтверджена нещодавнім комплексним обстеженням чи капітальним ремонтом.

Основна задача параметричної ідентифікації моделей полягає у пошуку з простору рішень Ω множини коефіцієнтів моделі $[\lambda]_{opt}$, яка для типового режиму навантаження трансформатора мінімізує сумарну похибку між реалізаціями вимірянних та змодельованих значень діагностичних параметрів [2]. Ця задача може розглядатися як мінімізація без обмежень для цільової функції, визначеної у вигляді зваженої суми похибок оцінок:

$$\begin{cases} \min_{\lambda \in \Omega} f([\lambda]); \\ f([\lambda]) = \sum_i w_i (x_{i,P} - x_{i,M}([\mathbf{u}]_i, [\lambda]))^2. \end{cases} \quad (1)$$

Для розв'язання оптимізаційної задачі вибрано метод рою частинок [3], який оптимізує функцію, підтримуючи популяцію можливих розв'язків (так званих «частинок») і переміщуючи ці частинки в просторі розв'язків. Кожній частинці в рою відповідають її координати $[\lambda]_i$, швидкість $[v]_i$ та краще з

відомих положень цієї частинки $[p]_i$ з простору рішень Ω . Переміщення підпорядковуються принципу найкращого знайденого в цьому просторі положення, що постійно змінюється при знаходженні частинками вигідніших положень.

Побудуємо моделі аналізу, що передбачають параметричну ідентифікацію, для кожного з первинних діагностичних параметрів стану трансформатора.

Матеріал і результати досліджень. Диференціальне рівняння для процесу зміни температури у верхніх шарах масла має такий вигляд [4]:

$$\Delta\theta_o = k_{11}\tau_o \frac{d\theta_o}{dt} + \theta_o - \theta_a, \quad (2)$$

де θ_o – температура масла; θ_a – температура навколишнього середовища; $\Delta\theta_o$ – перевищення температури масла над температурою навколишнього середовища; τ_o – постійна часу нагрівання масла; k_{11} – коефіцієнт, який залежить від потужності та типу охолодження трансформатора.

Це рівняння не може бути розв'язане аналітично у вигляді елементарних функцій, тому безпосередньо використовувати його для визначення базових значень діагностичного параметра недоцільно. У стандарті [4] запропоновано використовувати різницеву форму запису рівняння (2), яка має такий вигляд:

$$D\theta_o = \frac{Dt}{k_{11}\tau_o} \left[\Delta\theta_{or} \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^n - (\theta_o - \theta_a) \right], \quad (3)$$

де оператор « D » означає зміну відповідної величини за час Dt .

На кожному інтервалі часу величина $D\theta_o$ розраховується на основі $(n-1)$ -го значення за формулою:

$$\theta_{o(n)} = \theta_{o(n-1)} + D\theta_{o(n-1)}. \quad (4)$$

Апаратна частина системи діагностування може включати датчики для вимірювання температури масла в різних частинах баку, а в деяких випадках і температури його найбільш нагрітої точки обмотки. Проте, зважаючи на економічну доцільність та технічну можливість, найчастіше виконують вимірювання тільки температури масла у верхніх шарах.

Виходячи з рівняння (4) визначаємо відносно відхилення виміряного значення температури масла $\theta_{o.i.P}$ від базового $\theta_{o.i.M}$, отриманого за допомогою імітаційного моделювання:

$$v_{i,\theta} = \frac{\theta_{o.i.P} - \theta_{o.i.M}}{\theta_{o.i.M}}. \quad (5)$$

Множину коефіцієнтів моделі, які підлягають параметричній ідентифікації представимо такими величинами: перевищення температури масла за номінального навантаження $\Delta\theta_{or}$; відношення втрат короткого замикання до втрат неробочого ходу R ; постійна часу масла τ_o ; показник степеня масла η , тобто:

$$\lambda_\theta = \{\tau_o \quad \Delta\theta_{or} \quad R \quad \eta\}. \quad (6)$$

Цільова функція набуде такого вигляду:

$$f([\lambda]) = \sum_i w_i (\theta_{o.i.P} - \theta_{o.i.M})^2 \quad (7)$$

де в якості вагових коефіцієнтів w_i прийемо значення коефіцієнта завантаження K_i на i -му інтервалі.

Для аналізу ефективності процедури параметричної ідентифікації виконано порівняння відмінностей результатів імітаційного моделювання температури масла від вимірних значень для трансформаторів з різними тепловими характеристиками і типами охолодження.

Перший дослід виконано для трансформатора з типом охолодження ONAN. На основі параметричної ідентифікації з використанням даних, вимірних за нормального режиму роботи трансформатора, визначено уточнені коефіцієнти, які входять у множину λ_θ . Отримані значення та їх відмінності від типових наведено в табл. 1.

Використання уточнених значень теплових характеристик дало змогу для даного трансформатора зменшити на 3,4% середньоквадратичне відхилення вимірних значень від змодельованих.

Таблиця 1 – Теплові характеристики трансформатора з типом охолодження ONAN

Назва характеристики	Типове значення	Розраховане значення	Відносне відхилення, %
Номінальне перевищення температури масла у верхніх шарах $\Delta\theta_{or}, ^\circ\text{C}$	52	54,67	-5,1
Відношення втрат R	6	5,33	11,2
Показник степеня масла, η	0.8	0,91	-13,8
Постійна часу $\tau_0, \text{хв}$	210	183,1	12,8

Крім температури масла у верхніх шарах, одним з найважливіших діагностичних параметрів, які доцільно контролювати для трансформаторів середньої потужності, є вологовміст масла та целюлозно-паперової ізоляції [5]. Наявність вологи в ізоляційній системі силового масляного трансформатора призводить до старіння його ізоляції, зменшуючи її електричну і механічну міцність. У загальному випадку вважається, що збільшення вмісту вологи в два рази, зменшує ресурс ізоляції вдвічі [6], а швидкість термічного зносу пропорційна до вмісту вологи [7]. Наявність води в маслі також збільшує ймовірність виникнення бульбашок під час процесу десорбції вологи з целюлози.

Допустимі значення вмісту вологи, які не призводять до прискореного старіння ізоляції та не викликають аварійного виходу трансформатора з ладу, визначаються відповідно до нормативних документів. Згідно з IEEE Std 62 – 1995 [8] вміст вологи в твердій ізоляції ранжується таким чином: суха ізоляція 0 – 2%; волога ізоляція 2 – 4% ; дуже волога ізоляція – більше 4,5%. В більш сучасному стандарті IEEE Std C57.106 – 2002 [9] допустимий рівень вологи визначається залежно від вмісту води в маслі, враховуючи припущення про стабільність температури і рівноважний стан процесів передачі вологи між папером і маслом.

Визначення вмісту вологи в паперовій ізоляції відбувається за допомогою спеціальних кривих рівноваги процесів обміну вологи між папером та маслом. Застосування цих кривих передбачає, що трансформатор знаходиться в тепловій рівновазі.

Для отримання базових значень діагностичного параметра вологовмісту пропонується використовувати модель, описану в [10]. Рівняння процесу зміни вологовмісту мають такий вигляд:

- маслонасос ввімкнений

$$M_m(t) = k_{1hf}M_m(t-1) + k_{2hf}M_m(t-2) + k_{3hf}M_{oil-ss}(t) + k_{4hf}M_{oil-ss}(t-1); \quad (8)$$

- природне охолодження

$$M_m(t) = k_{1hn}M_m(t-1) + k_{2hn}M_m(t-2) + k_{3hn}M_m(t-3) + k_{4hn}M_{oil-ss}(t) + k_{5hn}M_{oil-ss}(t-1). \quad (9)$$

У рівняннях (8) та (9) прийняті такі позначення: $M_m(t)$ – вміст вологи в маслі в певний момент часу; $M_{oil-ss}(t)$ – рівноважний вміст вологи в маслі за стаціонарного стану, знайдений за відповідними кривими; $k_{i,hf}$ та $k_{j,hf}$ – коефіцієнти, що характеризують конкретний трансформатор та відповідають за точне настроювання моделі.

Для знаходження величини $M_{oil-ss}(t)$ за кривими рівноважного вологовмісту необхідно на початковому етапі роботи з даними визначити величину вмісту вологи в паперовій ізоляції за стаціонарного стану. Для цього запропоновано такий алгоритм.

За обраного в якості базового режиму реєструємо масив записів розміру N величин вологовмісту $M_{m,i}$ та температури $\theta_{o,i}$.

Задаємося сукупністю l можливих значень вмісту вологи в папері:

$$M_{pap-ss,k} = \{M_{pap-ss,\min} : M_{pap-ss,\max}\}, k = 1, 2, \dots, l.$$

Для кожного зі значення $M_{pap-ss,k}$ визначаємо за допомогою кривих рівноважного вологовмісту значення $M_{oil-ss,i}$ як функцію температури масла $\theta_{o,i}$:

$$M_{oil-ss,i,k} = f(\theta_{o,i}, M_{pap-ss,k}). \quad (10)$$

Отримуємо сукупність l реалізацій вологовмісту в маслі за різних можливих значень вологовмісту в паперовій ізоляції.

Для кожної з реалізацій обчислюємо середньоквадратичну похибку від масиву вимірних значень:

$$\varepsilon_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_{m,i} - M_{oil-ss,i})^2}, \quad k = 1, 2, \dots, l. \quad (11)$$

В якості дійсного значення вологовмісту паперової ізоляції вибираємо значення, для якого виконується умова

$$M_{pap-ss,p} : p, \varepsilon_p = \min_{k=1,2,\dots,l} \varepsilon_k. \quad (12)$$

За великих значень середньоквадратичної похибки ε_p повторюємо обчислення для нової сукупності значень вологовмісту в папері, близьких до $M_{pap-ss,p}$:

$$M_{pap-ss,k} = \{M_{pap-ss,p} - \Delta M_{pap-ss} : M_{pap-ss,p} + \Delta M_{pap-ss}\}, \quad k = 1, 2, \dots, l. \quad (13)$$

Під час реалізації цього алгоритму за допомогою комп'ютерної техніки виникає проблема використання кривих рівноважного вологовмісту, оскільки в літературі вони наводяться тільки в графічному вигляді. Для її вирішення була здійснена їх оцифровка у вигляді таблиці значень з подальшою побудовою двовимірної регресивної моделі $M_{pap} = f(\theta_o, M_m)$.

В якості регресивної моделі була вибрана сплайн-інтерполяція тонкими поверхнями (thin-plate spline interpolation), оскільки її використання дало змогу отримати найкращі результати згладжування і найменшу середньоквадратичну похибку. Результати обчислення оптимальних значень згладжувального сплайна f показані на рис. унок 1.

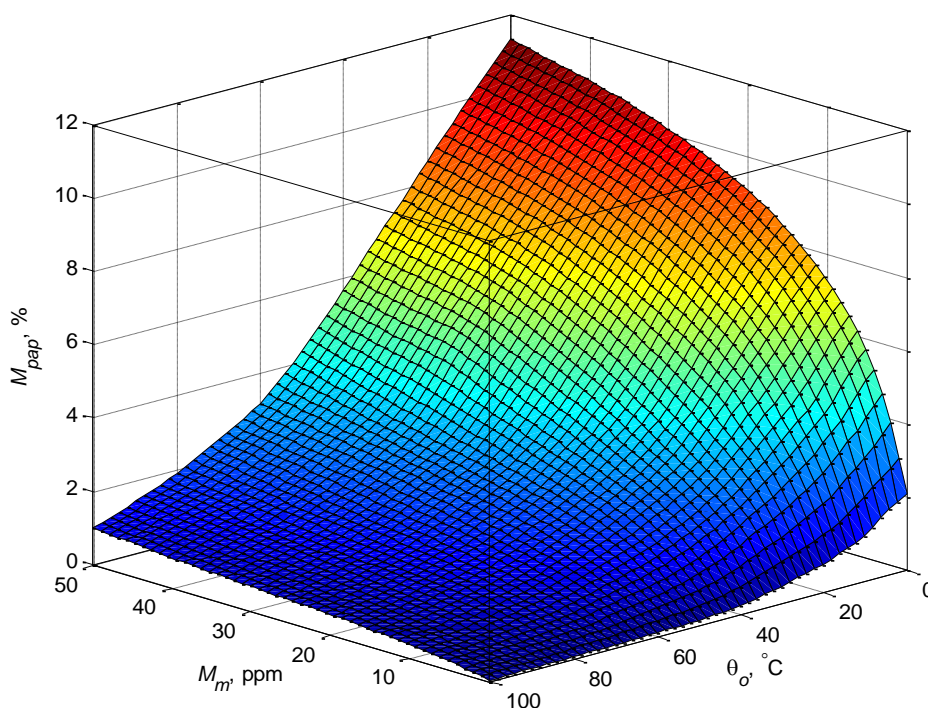


Рисунок 1 – Вміст води в паперовій ізоляції

Множину коефіцієнтів моделі, які підлягають параметричній ідентифікації представимо значеннями $k_{i,hn}$ та $k_{i,hf}$. Тобто для трансформатора з природною циркуляцією масла

$$\lambda_{M_m} = \{k_{i,hn}\}, \quad (14)$$

а для примусової циркуляції масла

$$\lambda_{M_m} = \{k_{i,hf}\}. \quad (15)$$

Цільова функція набуде вигляду

$$f([\lambda]) = \sum_i w_i (M_{m.i.P} - M_{m.i.M})^2 \quad (16)$$

де в якості вагових коефіцієнтів w_i прийемо відношення вимірної температури масла до номінальної на i -му інтервалі:

$$w_i = \frac{\theta_o}{\theta_a + \Delta\theta_{or}} \quad (17)$$

Отже, використовуючи наведені вище рівняння можна отримати теоретичне значення вологовмісту масла. Для кожного інтервалу дискретизації визначається відносна величина відмінності від теоретичного значення:

$$v_{i.M} = \frac{M_{m.i.P} - M_{m.i.M}}{M_{m.i.M}}, \quad (18)$$

де $M_{m.i.M}$ – змодельоване значення вологовмісту масла, знайдене за рівнянням (8) або (9), відповідно до режиму роботи системи охолодження; $M_{m.i.P}$ – значення вологовмісту, виміряне відповідним датчиком.

Для перевірки працездатності запропонованих математичних моделей використано експериментальні дані, отримані на діючому силовому трансформаторі. Вихідні експериментальні дані представлені у вигляді зареєстрованих за допомогою інформаційно-діагностичного комплексу «Регіна» масивів значень вологовмісту і температури масла. Розрахунок діагностичних параметрів виконано враховуючи природну циркуляцію масла в баці трансформатора. Параметрична ідентифікація коефіцієнтів диференціальних рівнянь моделі виконана на вибірці, отриманій за три доби. Отримані значення коефіцієнтів $k_{i,hf}$ рівняння (9) наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів рівняння моделі вологовмісту

Коефіцієнт	$k_{1,hf}$	$k_{2,hf}$	$k_{3,hf}$	$k_{4,hf}$	$k_{5,hf}$
Значення	-0,229	-0,052	0,364	0,553	0,490

Аналіз отриманих результатів розрахунку діагностичних параметрів для температури масла та вологовмісту масла підтверджує ефективність процедур зменшення впливу випадкових похибок та працездатність розроблених алгоритмів та вказує на можливість їх використання з даними, які отримані за допомогою датчиків, встановлених на трансформаторі.

Висновки. Розроблено математичні моделі аналізу діагностичних параметрів температури та вологості масла, які передбачають параметричну ідентифікацію теплової моделі та моделі вологовмісту методом рою частинок з використанням даних, вимірених за нормального режиму роботи обладнання, коли відсутність дефектів підтверджена нещодавнім комплексним обстеженням чи капітальним ремонтом. Запропоновано алгоритм параметричної ідентифікації теплової моделі та моделі вологовмісту. Використання розроблених моделей у складі систем діагностування силових трансформаторів в робочих режимах підвищує чутливість виявлення дефектів трансформатора.

Список використаної літератури

1. Вдовико В.П. Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения / В.П. Вдовико // *Электричество*. – 2010. – № 2. – С.14–20.
2. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
3. Eberhart R.C. Particle swarm optimization: developments, applications and resources / R.C. Eberhart, Yuhui Shi // *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*. 2001. – Vol. 1. – P. 81–86.
4. Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers: IEC 60076–7:2005. – [Valid from 2010-12-31]. – Geneva: IEC, 2010. – 62 p. – (International standard).
5. Соколов В.В. Меры по повышению эффективности диагностики состояния трансформаторного оборудования / В.В. Соколов // *Перспективные технологии электроэнергетики: IX симпозиум «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА 2030»* [Електронний ресурс]. – М.: CD "ТРАВЭК", 2007.
6. Fabre J. Deteriorating Processes and Products of Paper in Oil. Application to Transformers. / J. Fabre, A. Pichon. // *International Conference on Large High Voltage Electric System (CIGRE)*, Paris, France. – Paper 137. – 1960.
7. Morin A.J. Fluid Electrification Measurements of Transformer Pressboard Oil Insulation in a Couette Charger / A.J. Morin, M. Zahn, J.R. Melcher. // *IEEE Transactions on Electrical Insulation*. – 1991. – Vol. 26. – No. 5. – P. 870-901.

8. IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus – Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators and Reactors: IEEE Std 62:1995. – [Valid from 1995-03-16]. – New York: IEEE, 1995. – 59 p. – (International standard).
9. Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil Equipment: IEEE Std C57.106:2006. – [Valid from 2006-12-06]. – New York: IEEE, 1995. – 36 p. – (International standard).
10. García B. A moisture-in-oil model for power transformer monitoring - Part I: Theoretical foundation / B. García, J. C. Burgos, Á. Alonso, J. Sanz // IEEE Transactions on Power Delivery – Vol. 20, № 2 – 2005. – P. 1417 – 1422.

I. Prytyskach

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

PARAMETRIC IDENTIFICATION OF DIAGNOSTIC PARAMETERS MODELS IN POWER TRANSFORMERS DIAGNOSTIC SYSTEMS

Mathematical models of diagnostic parameters such as oil temperature and humidity of oil are developed in order to improve diagnosis of power transformers. An approach for parametric identification of thermal model and moisture model is proposed on the basis of particles swarm optimization method. Corresponding algorithms and software are developed. Testing of proposed mathematical models carried out by analyzing the results obtained after processing the experimental data obtained at the operating power transformer.

Keywords: power transformer, diagnostic parameter, oil temperature in the upper layers, the moisture content of oil, parametric identification.

References

1. Vdoviko V.P. Methodology of high voltage electrical system diagnostics / V.P. Vdoviko // Electricity – 2010. – № 2. – P.14-20.
2. Deitch A.M. Methods of dynamic objects identification / A.M. Deitch. – M.: Energia, 1979. – 240 p.
3. Eberhart R.C. Particle swarm optimization: developments, applications and resources / R.C. Eberhart, Yuhui Shi // Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation. 2001. – Vol. 1. – P. 81–86.
4. Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers: IEC 60076-7:2005. – [Valid from 2010-12-31]. – Geneva: IEC, 2010. – 62 p. – (International standard).
5. Sokolov V.V. Measures to improve the efficiency of transformers condition diagnosis / V.V. Sokolov // Advanced technologies Electricity: IX Symposium "ELECTRICAL 2030" [Electron resource]. – M.: CD "TRAVEK", 2007.
6. Fabre J. Deteriorating Processes and Products of Paper in Oil. Application to Transformers. / J. Fabre, A. Pichon. // International Conference on Large High Voltage Electric System (CIGRE), Paris, France. – Paper 137. – 1960.
7. Morin A.J. Fluid Electrification Measurements of Transformer Pressboard Oil Insulation in a Couette Charger / A.J. Morin, M. Zahn, J.R. Melcher. // IEEE Transactions on Electrical Insulation. – 1991. – Vol. 26. – No. 5. – P. 870-901.
8. IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus – Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators and Reactors: IEEE Std 62:1995. – [Valid from 1995-03-16]. – New York: IEEE, 1995. – 59 p. – (International standard).
9. Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil Equipment: IEEE Std C57.106:2006. – [Valid from 2006-12-06]. – New York: IEEE, 1995. – 36 p. – (International standard).
10. García B. A moisture-in-oil model for power transformer monitoring - Part I: Theoretical foundation / B. García, J. C. Burgos, Á. Alonso, J. Sanz // IEEE Transactions on Power Delivery – Vol. 20, № 2 – 2005. – P. 1417 – 1422.

И.В. Прытыскач, канд. техн. наук, ст. преп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

С целью повышения уровня диагностики силовых трансформаторов разработаны математические модели анализа диагностических параметров температуры и влажности масла, которые предусматривают параметрическую идентификацию тепловой модели и модели влагосодержания методом роя частиц. На основе предложенного подхода разработаны соответствующие алгоритмы и программное обеспечение. Проверку работоспособности предложенных математических моделей осуществлен на основе анализа результатов, полученных после обработки экспериментальных данных, полученных на действующем силовом трансформаторе.

Ключевые слова: силовой трансформатор, диагностический параметр, температура масла в верхних слоях, влагосодержание масла, параметрическая идентификация.

Надійшла 11.05.2016

Received 11.05.2016

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ECONOMIC ASPECTS OF POWER-ENGINEERING

УДК 621.311:65.035

В.Ф. Находов, А.И. Замулко, Мохаммад Аль Шарари, Д.А. Мединцева
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

АНАЛИЗ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И ГРАНИЦ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТАРИФНЫХ ЗОН СУТОК

Предложен метод статистического группирования почасовой мощности энергосистемы и групп потребителей, который позволяет более объективно определять длительность и фактические границы зон суток с разными уровнями нагрузки. Разработаны методические основы анализа характера и степени противодействия «дифтарифных» потребителей изменению спроса на мощность всех остальных, «недифтарифных» потребителей в каждый час суток. Анализ тарифных зон суток должен базироваться не только на статистическом исследовании конфигурации графиков нагрузки энергосистемы и групп потребителей, но также и на оценке характера и степени ежечасного противодействия «дифтарифных» потребителей изменению спроса на мощность всех остальных потребителей электроэнергетики.

Ключевые слова: суточные графики нагрузки, дифференцированные тарифы на электроэнергию, границы зон суток, метод группирования нагрузок, коэффициент противодействия «дифтарифных» потребителей.

Введение

Суточные графики нагрузки объединенной энергетической системы (ОЭС) Украины имеют неравномерный характер, обусловленный значительной неравномерностью спроса потребителей на электрическую мощность. Необходимость покрытия неравномерных графиков нагрузки отрицательно влияет на режимы производства и передачи электроэнергии, что приводит к ухудшению ее качества, а также к снижению надежности и экономичности функционирования энергосистемы [1].

В связи с дефицитом маневренных генерирующих мощностей в энергосистеме Украины покрытие неравномерного спроса потребителей на электрическую мощность осуществляется главным образом путем регулирования рабочей мощности тепловых энергоблоков генерирующих компаний.

Очевидно, что для эффективного решения задачи оперативного балансирования производства и потребления электрической мощности в украинской энергосистеме необходимо создание новых маневренных генерирующих мощностей, что потребует значительных средств и времени. Альтернативой же дорогостоящему и длительному процессу наращивания маневренной генерации в энергосистеме является управление спросом потребителей на электрическую мощность, которое могло бы обеспечить заметное снижение современной потребности в создании новых маневренных мощностей на 10...15 процентов [2].

В рыночных условиях для осуществления такого управления должны применяться только экономические методы, естественно, за исключением аварийных ситуаций. Единственным способом экономического управления спросом потребителей на электрическую мощность в ОЭС Украины на сегодняшний день является применение дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию, которые действуют, начиная с 1995 года.

Однако в течение всего периода существования украинских дифференцированных тарифов практически не осуществлялся системный анализ результатов их использования. К тому же, длительное время эти тарифы оставались неизменными или изменялись незначительно, в то время как в стране существенно изменились структура и режимы потребления электроэнергии. Исходя из сказанного, следует признать, что действующие в Украине дифференцированные тарифы на электроэнергию не соответствуют современным условиям ее производства и потребления, а также на сегодняшний день уже исчерпали свои возможности с точки зрения эффективного стимулирования потребителей к заметным изменениям характера их спроса на электрическую мощность [1].

Одним из «слабых мест» существующих дифференцированных тарифов на электроэнергию является недостаточная обоснованность длительности и границ установленных на сегодняшний день тарифных зон суток, а также отсутствие периодического их анализа и корректировки, которая отвечала бы современным, существенно изменившимся условиям решения задачи управления спросом потребителей на электрическую мощность.

Цель и задания

Целью данной статьи является рассмотрение предлагаемых авторами объективных методов и способов анализа границ существующих тарифных зон суток, а также результатов применения дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию, которые могут и должны быть использованы для целенаправленного совершенствования и дальнейшего развития этой системы тарифов в Украине.

Материалы и результаты исследования

На сегодняшний день для расчетов потребителей электроэнергии с электропередающими организациями постановлением НКРЭКУ Украины от 20.12.2001 г. № 1241 «О тарифах, дифференцированным по периодам времени» (с изменениями от 22.01.2015 г.) установлены тарифные коэффициенты, а также предельные значения длительности тарифных зон суток (таблица 1) [3].

Таблица 1 – Действующие зоны суток и тарифные коэффициенты для потребителей электроэнергии

Тарифный сезон	Пиковая зона ($k=1,8$)	Полупиковая зона ($k=1,02$)	Ночная зона ($k=0,25$)
Зимний сезон: <i>январь, февраль, ноябрь и декабрь</i>	8.00-10.00; 17.00-21.00	6.00-8.00; 10.00-17.00; 21.00-23.00	23.00-6.00
Межсезонье: <i>март, апрель, сентябрь и октябрь</i>	8.00-10.00; 18.00-22.00	6.00-8.00; 10.00-18.00; 22.00-23.00	23.00-6.00
Летний сезон: <i>май, июнь, июль и август</i>	8.00-11.00; 20.00-23.00	7.00-8.00; 11.00-20.00; 23.00-24.00	24.00-7.00

Очевидно, что назначением дифференцированных по времени тарифов является создание экономических условий для постепенного, благоприятного для энергосистемы, изменения режимов потребления электроэнергии. При этом подаваемые с их помощью экономические «сигналы» потребителям должны быть «правильными», то есть максимально соответствовать фактическим режимам производства энергии и желаемым направлениям их изменения.

Таким образом, создание необходимых условий для дальнейшего целенаправленного выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы, прежде всего, требует, чтобы установленные зоны суток соответствовали фактическому характеру изменения этой нагрузки. С этой целью периодически необходимо анализировать, соответствуют ли согласованные НКРЭКУ тарифные зоны суток современным потребностям управления спросом потребителей на электрическую мощность.

Оценка такого соответствия может быть основана на использовании статистических методов анализа фактических суточных графиков нагрузки энергосистемы и отдельных групп потребителей, зафиксированных в режимные дни установленных сезонов года. В частности, для этой цели могут быть использованы:

- метод доверительных интервалов;
- метод статистического группирования.

Эти методы позволяют на основе применения объективных статистических критериев выявлять с заданной вероятностью фактические зоны суток с существенно разным уровнем электрической нагрузки энергосистемы или рассматриваемых групп потребителей.

Первый из названных методов – метод доверительных интервалов основан на том, что фактические часовые нагрузки энергосистемы или анализируемой группы потребителей (P_j), которые были зафиксированы в течение режимных суток соответствующего сезона, рассматриваются как некоторая выборка значений случайной величины. При этом выявление фактических зон суток со статистически разным уровнем нагрузки базируется на определении границ доверительного интервала для среднего значения мощности, вычисленного на основании рассматриваемого суточного графика [4].

Верхняя ($P_{ср.в}$) и нижняя ($P_{ср.н}$) граница такого доверительного интервала определяется на основании зависимости:

$$P_{ср.в/н} = P_{ср} + / - k \cdot S \quad (1)$$

где $P_{ср}$ – среднесуточная электрическая нагрузка; k – коэффициент, численное значение которого зависит от заданной вероятности нахождения в установленном доверительном интервале всех часовых нагрузок, которые незначительно (случайно) отличаются от их средней величины за соответствующие сутки; S – среднеквадратическое (стандартное) отклонение часовых значений нагрузки от их среднесуточной величины.

Для определения фактических зон суток с существенно разным уровнем электрической нагрузки (спроса на мощность) часовые ее значения, определенные на основании анализируемого суточного графика, необходимо сравнить с границами доверительного интервала, установленными в соответствии с зависимостями (1).

При этом часы суток, в которые значения электрической нагрузки находятся ниже нижней границы ($P_{ср.н}$), необходимо отнести к зоне минимальной нагрузки (пониженного спроса на мощность). Часы суток, в которые нагрузка превышает верхнюю границу ($P_{ср.в}$), следует отнести к зоне максимальной нагрузки (повышенного спроса на мощность). Все остальные часы суток, в которые нагрузка находится в границах установленного доверительного интервала, необходимо считать относящимися к зоне средней нагрузки (умеренного спроса на мощность).

При всей простоте данного метода его нельзя считать абсолютно пригодным для достаточно объективного выявления фактических зон суток с разным уровнем электрической нагрузки энергосистемы или отдельных групп потребителей. Такой вывод основан на том, что при использовании этого метода могут быть получены разные результаты определения фактических границ зон суток в зависимости от принятой вероятности установления указанных выше доверительных интервалов. Выбор же этой вероятности в значительной степени является субъективным, что нельзя считать приемлемым с точки зрения необходимости обеспечения как можно более объективных результатов анализа и корректировки границ и длительности тарифных зон суток.

С учетом сказанного, более целесообразным для решения данной задачи следует считать использование второго из названных выше методов определения фактических зон суток с разным уровнем нагрузки - метода статистического группирования. Этот метод заключается в том, что анализ длительности и границ существующих тарифных зон суток осуществляется на основе их сравнения с результатом группирования фактических часовых значений электрической нагрузки энергосистемы или рассматриваемых групп потребителей, зафиксированных в течение анализируемого режимного дня соответствующего тарифного сезона.

Процесс такого группирования представляет собой итеративную процедуру, основанную на использовании статистического критерия Стьюдента, применение которого позволяет формировать такие группы значений электрической мощности (и соответствующих им часов суток), которые существенно отличаются между собой величиной средней нагрузки.

На начальном этапе группирования ранжированный в порядке возрастания ряд часовых электрических нагрузок (P_j) разделяется на некоторое максимальное количество групп, необходимость или возможность дальнейшего объединения которых определяется на последующих итерациях. При этом как на начальном, так и на всех последующих этапах группирования, для каждой пары смежных групп электрических нагрузок (например, для m -й и $(m+1)$ -й группы) вычисляется средняя величина мощности ($P_{ср}$), а также дисперсия (D) входящих в эти группы значений нагрузки.

На каждой итерации группирования для всех смежных пар групп часовых значений нагрузки определяется расчетная величина критерия Стьюдента (T_p):

$$T_p = \frac{|P_{ср.m} - P_{ср.m+1}|}{\sqrt{\frac{D_m}{M_m} + \frac{D_{m+1}}{M_{m+1} + 1}}}, \quad (2)$$

где M_m и M_{m+1} – количество элементов, входящих соответственно в m -ю и $(m+1)$ -ю группу.

Полученные таким образом расчетные значения критерия Стьюдента необходимо сравнить с его табличными значениями ($T_{кр}$) для двух уровней значимости ошибки ($p=0,05$ и $p=0,01$) при числе степеней свободы $k = M_m + M_{m+1} - 2$. На основании результатов сравнения соответствующих расчетных и табличных значений критерия Стьюдента делается вывод о необходимости или возможности объединения каждой пары смежных групп значений электрической нагрузки.

Такая процедура последовательного группирования продолжается до тех пор, пока на основании используемого статистического теста уже не будет необходимым или возможным объединение ни одной из пар смежных групп значений часовой нагрузки.

Как показали результаты многочисленных расчетов, использование указанного статистического критерия и предлагаемой процедуры последовательного группирования позволяет по объективному признаку разделить упорядоченные значения электрической мощности (и, тем самым, часы суток) на группы, которые соответствуют максимальной, средней и минимальной нагрузке энергосистемы или анализируемой группы потребителей.

Для повышения обоснованности отнесения отдельных значений мощности к той или иной зоне суток необходимо, подобно приведенному выше методу доверительных интервалов, дополнительно устанавливать статистические границы между окончательно определенными группами, в частности,

между группами с минимальной и средней нагрузкой, а также между группами со средней и максимальной нагрузкой.

Результат определения реальных зон суток с разным уровнем мощности с использованием метода группирования можно продемонстрировать на примере графиков нагрузки, зафиксированных в зимний режимный день 21 декабря 2011 года (таблица 2).

В Украине на сегодняшний день сформировалась заметная как по численности, так и по электрической нагрузке объединенная группа потребителей, которые при взаиморасчетах с электропередающими организациями используют дифференцированные по времени тарифы. Для краткости их можно назвать «дифтарифными» потребителями, в состав которых сейчас входят представители практически всех их групп: промышленных, сельскохозяйственных, транспортных, коммунальных, бытовых и т.п.

В связи с этим анализировать соответствие существующих тарифных зон суток современным потребностям управления спросом на электрическую мощность необходимо, принимая во внимание конфигурацию графиков нагрузки как энергосистемы в целом, так и отдельно «дифтарифных» и всех остальных («недифтарифных») потребителей.

Таблица 2 – Результаты сравнения границ существующих тарифных зон суток и фактических зон с разным уровнем электрической нагрузки, определенных по данным режимного дня 21.12.2011 года.

Час суток	Существующие тарифные зоны суток	Зоны суток с разным уровнем нагрузки энергосистемы	Зоны суток с разным уровнем нагрузки «недифтарифных» потребителей	Зоны суток с разным уровнем нагрузки «дифтарифных» потребителей
1	Ночная зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Максимальная нагрузка
2	Ночная зона	Средняя нагрузка	Минимальная нагрузка	Максимальная нагрузка
3	Ночная зона	Минимальная нагрузка	Минимальная нагрузка	Максимальная нагрузка
4	Ночная зона	Минимальная нагрузка	Минимальная нагрузка	Максимальная нагрузка
5	Ночная зона	Минимальная нагрузка	Минимальная нагрузка	Максимальная нагрузка
6	Ночная зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Максимальная нагрузка
7	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
8	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
9	Пиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Минимальная нагрузка
10	Пиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Минимальная нагрузка
11	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
12	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
13	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
14	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
15	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
16	Полупиковая зона	Максимальная нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
17	Полупиковая зона	Максимальная нагрузка	Максимальная нагрузка	Средняя нагрузка
18	Пиковая зона	Максимальная нагрузка	Максимальная нагрузка	Средняя нагрузка
19	Пиковая зона	Максимальная нагрузка	Максимальная нагрузка	Средняя нагрузка
20	Пиковая зона	Максимальная нагрузка	Средняя нагрузка	Минимальная нагрузка
21	Пиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Минимальная нагрузка
22	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
23	Полупиковая зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка
24	Ночная зона	Средняя нагрузка	Средняя нагрузка	Максимальная нагрузка

Как свидетельствует пример, приведенный в таблице 2, а также результаты многочисленных аналогичных расчетов, выполненных для режимных дней ряда предыдущих лет, реальные зоны суток со статистически разным уровнем электрической мощности как энергосистемы в целом, так и «недифтарифных» потребителей заметно не совпадают с согласованными НКРЭКУ границами и длительностью тарифных зон суток. При этом границы и длительность указанных фактических зон суток энергосистемы и «недифтарифных» потребителей отличаются между собой незначительно.

С другой стороны, группирование реальных часовых значений нагрузки потребителей, которые используют дифференцированные тарифы («дифтарифных» потребителей), демонстрирует, что эти потребители регулируют свой спрос на электрическую мощность практически точно в соответствии с установленными тарифными зонами суток и в необходимом для энергосистемы направлении.

Следовательно, можно утверждать, что сохраняющаяся на сегодняшний день неравномерность суточных графиков нагрузки энергетической системы определяется исключительно характером спроса на мощность объединенной группы потребителей, которые не используют дифференцированные тарифы на электрическую энергию («недифтарифных» потребителей). В то время как объединенная группа «дифтарифных» потребителей в целом способствует выравниванию графиков нагрузки энергосистемы.

Однако при этом можно утверждать, что влияние «дифтарифных» потребителей на снижение неравномерности графика нагрузки энергосистемы в течение суток в целом является недостаточным. Правомочность такого вывода подтверждается, в частности, тем, что при существующем соотношении средней мощности рассматриваемых групп потребителей (рисунок 2) «дифтарифные» потребители в принципе не способны скомпенсировать неравномерность спроса на электрическую мощность всех остальных потребителей, которые не используют дифференцированные тарифы. Для этого было бы необходимо, чтобы суммарная нагрузка «дифтарифных» потребителей, а, следовательно, и их численность значительно возросла.

Очевидно, что в условиях дальнейшего использования в Украине существующих дифференцированных тарифов существенное увеличение мощности, потребляемой группой «дифтарифных» потребителей, может произойти только постепенно, в течение длительного времени. Тем более что в течение ряда предыдущих лет наряду со стабильным увеличением количества бытовых потребителей, которые используют дифференцированные по времени тарифы, наблюдается также некоторая тенденция уменьшения числа «дифтарифных» потребителей, относящихся к другим группам, в частности, промышленных.

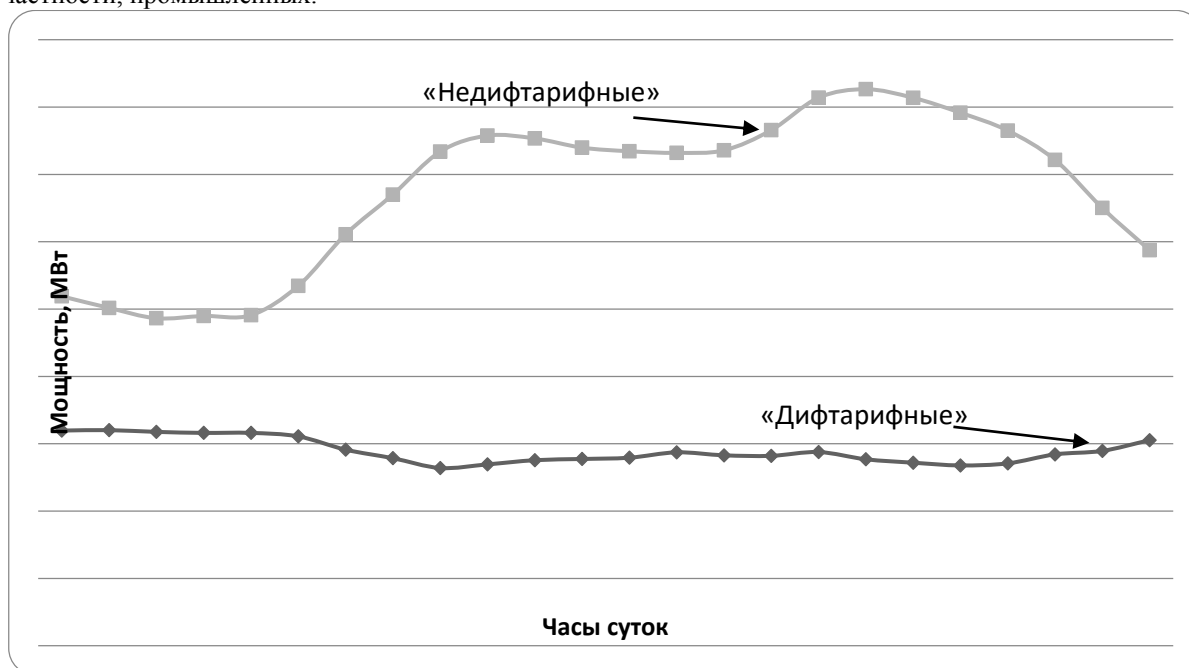


Рисунок 2 – Суточные графики загрузки «дифтарифных» и «недифтарифных» потребителей, зафиксированные в зимний режимный день 21.12.2011 года

Данное обстоятельство еще раз подтверждает необходимость наискорейшего совершенствования и дальнейшего развития существующих дифференцированных по периодам времени тарифов на электрическую энергию.

Кроме того, принимая во внимание сказанное выше, необходимо сделать еще один вывод: для обеспечения дальнейшего целенаправленного совершенствования дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию при определении зон суток, которые бы соответствовали современным потребностям управления спросом потребителей на мощность, не достаточно базироваться только на анализе конфигурации графиков нагрузки энергосистемы. Для достижения этой цели необходимо также дополнительно анализировать степень противодействия «дифтарифных» потребителей изменению спроса

на мощность всех остальных, «недифтарифных» потребителей, а также своевременность этого противодействия в каждый час суток.

Определение характера и степени ежечасного противодействия изменению спроса на мощность «дифтарифных» потребителей изменению потребляемой мощности группы «недифтарифных» потребителей также может базироваться на использовании методов статистической обработки и анализа графиков нагрузки, зафиксированных в соответствующие режимные дни.

С этой целью на основании одновременно рассматриваемых трех графиков электрической нагрузки (энергосистемы, «дифтарифных» и «недифтарифных» потребителей), прежде всего, необходимо сформировать выборки значений изменения (приращения) соответствующей потребляемой мощности в каждый час суток (ΔP) по сравнению с предыдущим часом. Численные значения таких приращений для некоторого j -го часа суток определяются:

$$\Delta P_{эс.j} = P_{эс.j} - P_{эс.(j-1)} \quad (3)$$

$$\Delta P_{диф.j} = P_{диф.j} - P_{диф.(j-1)} \quad (4)$$

$$\Delta P_{недиф.j} = P_{недиф.j} - P_{недиф.(j-1)} \quad (5)$$

где $P_{эс.j}$, $P_{диф.j}$ и $P_{недиф.j}$ – электрическая нагрузка энергосистемы, «дифтарифных» и «недифтарифных» потребителей в j -й час режимных суток; $P_{эс.(j-1)}$, $P_{диф.(j-1)}$ и $P_{недиф.(j-1)}$ – соответствующие значения потребляемой мощности в $(j-1)$ -й час тех же режимных суток.

Характер и степень противодействия «дифтарифных» потребителей изменению спроса на мощность всех остальных потребителей, не использующих дифференцированные тарифы на электроэнергию, отдельно для каждого (j -го) часа суток можно оценить с помощью показателя, который может быть назван, например, коэффициентом противодействия ($K_{прот.}$) или коэффициентом компенсации изменения нагрузки, и определяется:

$$K_{прот.j} = \frac{\Delta P_{диф.j}}{\Delta P_{недиф.j}} \cdot 100, \% \quad (6)$$

Численные значения такого коэффициента характеризуют, в какой степени (на сколько процентов) изменение спроса на мощность «недифтарифных» потребителей в каждый час суток компенсируется изменением нагрузки «дифтарифных» потребителей. При этом знак этого коэффициента позволяет судить о том, имеет ли место встречное изменение нагрузки указанных двух групп потребителей в соответствующий час суток (отрицательный коэффициент), или эти изменения нагрузки происходят в одном направлении (положительный коэффициент).

Таким образом, знак коэффициента компенсации прироста нагрузки позволяет определить, в какие часы суток «дифтарифные» потребители оказывают противодействие изменению спроса на мощность всех остальных потребителей электроэнергии, а в какие часы такое противодействие отсутствует.

Однако такая оценка характера влияния группы «дифтарифных» потребителей на неравномерность нагрузки энергосистемы, основанная только на знаке коэффициента противодействия, определенно для каждого часа соответствующих режимных суток, была бы очень поверхностной. Следует принимать во внимание, что для энергетической системы наиболее желаемым режимом производства и потребления электроэнергии является работа с идеально ровным графиком нагрузки, при котором часовые значения потребляемой мощности были бы равны ее среднесуточной нагрузке. То есть цель выравнивания графиков нагрузки энергосистемы упрощенно можно сформулировать как максимально возможное приближение каждого часового значения потребляемой мощности к ее средней величине за соответствующие сутки.

Следовательно, анализировать характер влияния группы «дифтарифных» потребителей на неравномерность электрической нагрузки энергосистемы надо также с учетом сказанного выше. Иными словами, влияние указанной группы потребителей в какой-либо час суток необходимо считать позитивным («правильным»), если в сочетании с изменением спроса на мощность «недифтарифных» потребителей оно способствует приближению нагрузки энергосистемы в данный час суток к ее среднесуточной величине. То есть позитивным результатом в те или иные часы суток может быть не только противодействие изменения мощности «дифтарифных» потребителей изменению нагрузки всех остальных потребителей электроэнергии, но также и взаимодействие соответствующих приростов нагрузки.

На основе применения данного правила авторами данной статьи разработан алгоритм проведения такого, более глубокого анализа характера влияния «дифтарифных» потребителей на неравномерность графика нагрузки энергосистемы.

Пример результатов такого анализа приведен в таблице 3. В данной таблице характер влияния группы «дифтарифных» потребителей на неравномерность рассматриваемого графика нагрузки энергосистемы в каждый час суток определен с использованием упомянутого выше правила, а значения коэффициента противодействия ($K_{\text{прот.}}$), являющиеся оценкой степени этого влияния, приведены со знаками, соответствующими его характеру.

Для большей наглядности часы рассматриваемых суток разделены на две группы: на те, в которые изменение спроса на мощность «дифтарифных» потребителей оказывает позитивное влияние на неравномерность графика нагрузки энергосистемы ($K_{\text{прот.(+)}}$) и те часы, в которые это влияние имеет негативный характер ($K_{\text{прот.(-)}}$). Соотношение численных значений коэффициентов противодействия (в %), отнесенных к каждой из этих групп показано на рисунках 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты анализа характера и степени влияния «дифтарифных» потребителей на неравномерность графика нагрузки энергосистемы на примере зимнего режимного дня 21.12.2011 года.

Час суток	$\Delta P_{\text{эс}}$, МВт	$\Delta P_{\text{нед}}$, МВт	$\Delta P_{\text{диф}}$, МВт	Характер влияния дифт. потребителей	$K_{\text{прот.}}$	$K_{\text{прот.(+)}}$	$K_{\text{прот.(-)}}$
1	-1086	-1371	285	позитивное	20,7877	20,7877	
2	-331	-344	13	позитивное	3,77907	3,77907	
3	-359	-307	-52	негативное	-16,93811		-16,938
4	37	67	-30	негативное	-44,7761		-44,776
5	24	24	0	негативное	0		0
6	766	870	-104	негативное	-11,954		-11,954
7	1135	1529	-394	негативное	-25,7685		-25,769
8	930	1183	-253	негативное	-21,3863		-21,386
9	984	1275	-291	позитивное	22,8235	22,8235	
10	584	477	107	негативное	-22,43187		-22,432
11	40	-84	124	негативное	-147,619		-147,62
12	-238	-274	36	негативное	-13,1387		-13,139
13	-69	-107	38	негативное	-35,514		-35,514
14	111	-48	159	негативное	-331,25		-331,25
15	-12	76	-88	позитивное	115,789	115,789	
16	584	599	-15	позитивное	2,50417	2,50417	
17	1076	964	112	негативное	-11,61826		-11,618
18	37	252	-215	позитивное	85,3175	85,3175	
19	-356	-255	-101	позитивное	39,60784	39,6078	
20	-525	-444	-81	позитивное	18,24324	18,2432	
21	-469	-530	61	негативное	-11,5094		-11,509
22	-603	-870	267	негативное	-30,6897		-30,69
23	-1325	-1429	104	позитивное	7,27782	7,27782	
24	-935	-1253	318	позитивное	25,3791	25,3791	
Среднее						34,15089	-51,7567
Дисперсия						1399,51	7747,522
$K_{\text{ср.мин}}$						9,674443	-100,429
$K_{\text{ср.макс}}$						58,62735	-3,08486

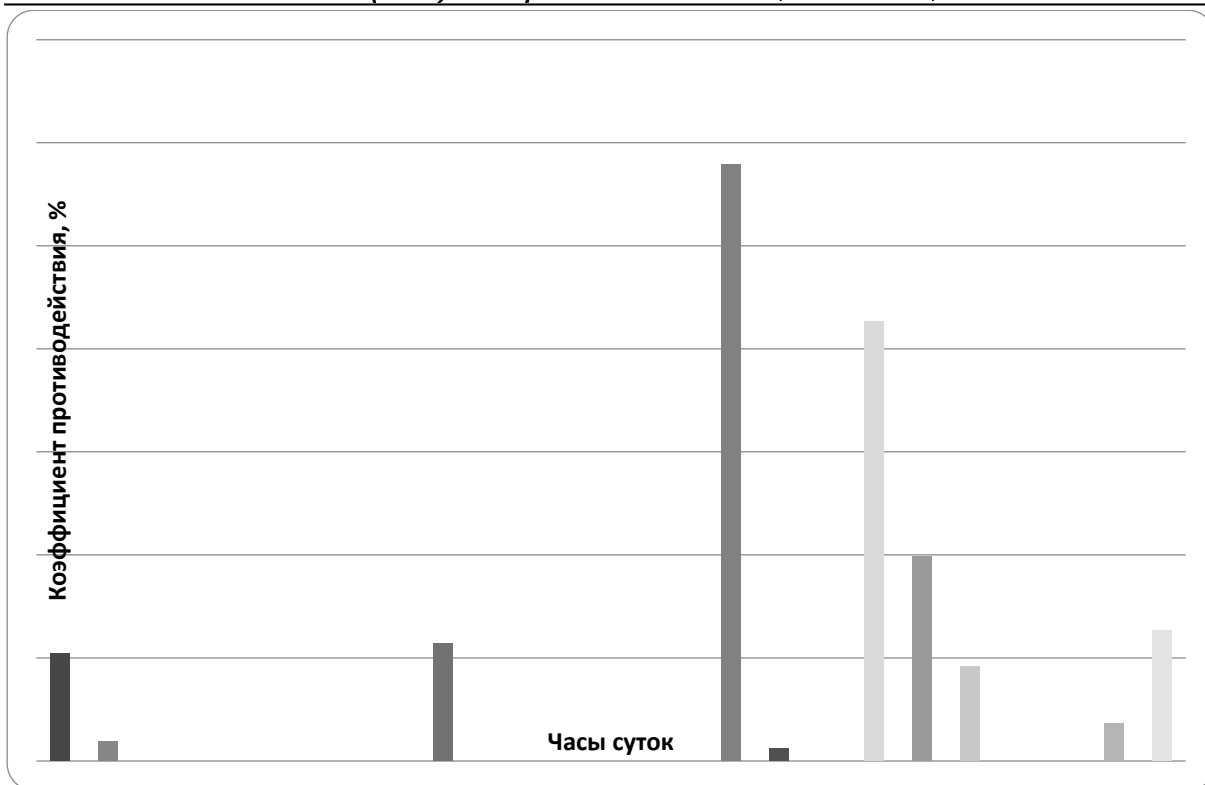


Рисунок 3 – Коеффіцієнти противодействія для часів суток, в які зміна попиту на потужність «дифтарифних» споживачів надає позитивний вплив на нерівномірність графіка навантаження енергосистеми (зимній режимний день 21.12.2011 року).

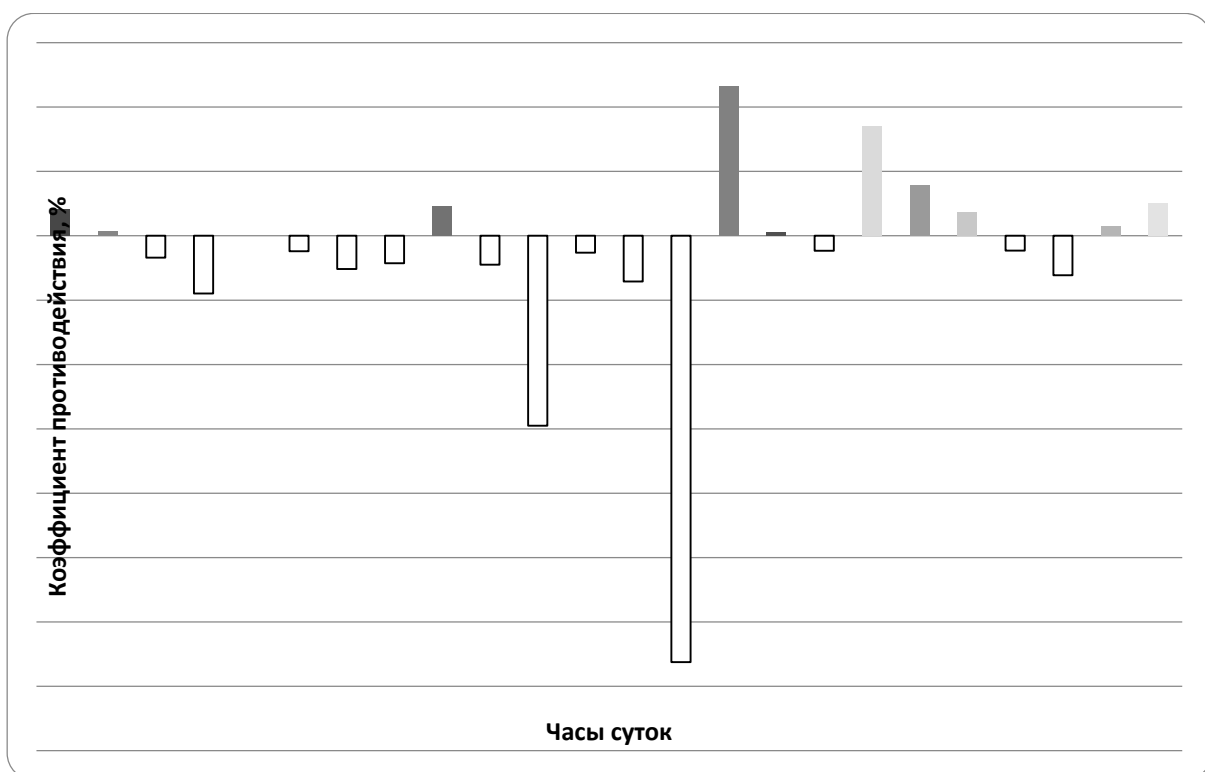


Рисунок 4 – Коеффіцієнти противодействія для часів суток, в які зміна попиту на потужність «дифтарифних» споживачів надає негативний вплив на нерівномірність графіка навантаження енергосистеми (зимній режимний день 21.12.2011 року).

Аналогично приведенному выше примеру анализ почасового влияния «дифтарифных» потребителей на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы был выполнен также для режимных дней ряда других лет. При этом были получены весьма сходные результаты.

Рассматривая, в частности, приведенный пример (таблица 3, рисунки 3 и 4), необходимо еще раз отметить, что, не смотря на общее положительное влияние «дифтарифных» потребителей на неравномерность суточных графиков нагрузки энергосистемы, в разные часы суток это влияние оказывается как позитивным, так и негативным. Причем в течение суток количество часов с позитивным и негативным влиянием рассматриваемой группы потребителей на неравномерность нагрузки энергосистемы примерно одинаково (число часов с негативным влиянием даже преобладает).

Опять же, не смотря на значительно меньшую среднесуточную мощность, степень противодействия «дифтарифных» потребители изменению нагрузки «недифтарифных» потребителей в разные часы суток также существенно различна.

В частности, если определить средние значения отдельно позитивных и негативных коэффициентов противодействия ($K_{\text{прот.}(+)}$ и $K_{\text{прот.}(-)}$) и на основании зависимости, подобной (1), определить доверительные границы ($K_{\text{ср.мин}}$ и $K_{\text{ср.макс}}$) для этих средних значений (таблица 3), то степень влияния «дифтарифных» потребителей на неравномерность электрической нагрузки энергосистемы в разные часы рассматриваемых режимных суток можно оценить следующим образом.

Сильное позитивное влияние на неравномерность нагрузки энергосистемы эти потребители оказывали в 15-й и 18-й час суток. В эти часы «дифтарифные» потребители компенсировали изменение спроса на мощность всех прочих («недифтарифных») потребителей соответственно на 116 и 85%.

Можно сказать, что в 1-й, 9-й, 19-й, 20-й и 24-й час анализируемых суток «дифтарифные» потребители оказывали среднее позитивное влияние на неравномерность нагрузки энергосистемы. В остальные же часы суток, в которые влияние этих потребителей носило позитивный характер, степень этого влияния была незначительной.

С другой стороны, в 11-й и 14-й час данных режимных суток «дифтарифные» потребители оказывали очень сильное негативное влияние на неравномерность графика нагрузки энергосистемы. В эти часы нежелательное приращение мощности «дифтарифных» потребителей составило соответственно 148 и 331% от увеличения нагрузки всех прочих («недифтарифных») потребителей.

К тому же, во все другие часы суток, в которые влияние «дифтарифных» потребителей носило негативный характер (а это еще одиннадцать часов), степень этого влияния была близкой к средней, то есть значительной.

Таким образом, результаты, полученные в рассмотренном примере, а также для режимных дней ряда предыдущих и последующих лет, позволяют утверждать, что характер спроса на электрическую мощность группы «дифтарифных» потребителей оказывает в большей степени негативное, чем позитивное влияние на изменение часовой нагрузки энергосистемы. В лучшем случае влияние этой группы потребителей на неравномерность часовых значений нагрузки энергосистемы можно считать в равной степени как позитивным, так и негативным.

Выводы:

1. Создание необходимых условий для дальнейшего выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы требует скорейшего совершенствования существующих в Украине дифференцированных по времени тарифов на электрическую энергию.
2. Целенаправленное развитие системы дифференцированных тарифов на электроэнергию должно базироваться на систематическом мониторинге и анализе результатов их применения, одним из важных направлений которого является анализ границ и длительности установленных тарифных зон суток.
3. Для обеспечения дальнейшего целенаправленного совершенствования дифференцированных по времени тарифов на электроэнергию при определении зон суток, которые бы соответствовали современным потребностям управления спросом потребителей на мощность, не достаточно основываться только на анализе конфигурации графиков нагрузки энергосистемы. Для корректного решения данной задачи необходимо дополнительно анализировать степень противодействия «дифтарифных» потребителей изменению спроса на мощность всех остальных, «недифтарифных» потребителей, а также своевременность этого противодействия в каждый час суток.

Список использованной литературы

1. Находов В.Ф., Замулко А.И., Мохаммад Аль Шарари, Исаенко Ю.Н. Определение первоочередных направлений совершенствования дифференцированных тарифов на электрическую

енергію // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №1(78).24-32.
<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/55785>

2. Праховник А.В. Шляхи і етапи створення наукового напрямку з проблеми комплексного управління використанням електричної енергії // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 1999. - №1. – С. 58-69.

3. Национальная комиссия регулирования электроэнергии Украины <http://www.nerc.gov.ua>

4. Методика установления одноставочных тарифов на электрическую энергию, дифференцированных по периодам времени./ Находов В.Ф., Минкин А.Ю. Киев.полит.ин-т, 1994. – С. 33 –Укр.-Деп. в ГНТБ Украины 18.04.94 №724-Ук94//Аннот. в РЖ «Энергетика». – 1994. – №10.

V.F. Nakhodov, A.I. Zamulko, Mohammad Al Sharari, D.O. Medintseva
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

ANALYSIS OF DURATION AND BORDER OF EXISTING TARIFF ZONES

Develop of objective methods and techniques of analysis of the tariff limits areas and duration daly, and also analysis results of the use of existing differentiated tariffs for electricity in Ukraine, which needs to improved and targeted further evolution. A method of statistical grouping of the hourly power grid and consumer groups, which more objectively determine the duration and the actual boundaries of the zones of day with different load levels. Developed methodological framework for the analysis of the nature and extent of counteraction "differentiated" consumers change the demand for power of all the others, "undifferentiated" consumers in each hour of the day. Analysis of tariff zones of day should be based not only on a statistical study of the power system configuration and load profiles of consumer groups, but also on an assessment of the character and level of the hourly counteraction "differentiated tariff" changing consumer demand for power of all other electricity consumers.

Keywords: daily graphic electricity load, differentiated tariffs for electricity, zone of electricity load, consumers group, factor of counteraction " differentiated tariff " consumers.

References:

1. Nakhodov V.F., Zamulko A.Y., Mokhammad Al' Sharary, Ysaenko Yu.N. Opredelenye pervoocherednykh napravlenyy sovershenstvovaniya dyfferentsyrovannykh taryfov na elektrycheskuyu enerhyu // Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy. - 2015. - №1(78).24-32.
<http://journals.uran.ua/eejet/artitsle/view/55785>

2. Prakhovnyk A.V. Shlyakhy i etapy stvorennya naukovoho napryamku z problemy kompleksnoho upravlinnya vykorystanniam elektrychnoyi enerhiyi // Naukovi visti NTUU «KPI». – 1999. - №1. – S. 58-69.

3. Natsyonal'naya komysyya rehulyrovaniya elektroenerhyu Ukrainy <http://www.nerc.gov.ua>

4. Metodyka ustanovleniya odnostavochnykh taryfov na elektrycheskuyu enerhyu, dyfferentsyrovannykh po peryodam vremeny./ Nakhodov V.F., Mynkyn A.Yu. Kyev.polyt.yn-t, 1994. – S. 33 – Ukr.-Деп. v HNTB Украйны 18.04.94 #724-Uk94//Аннот. v RZh «Энерhetyka». – 1994. – №10.

УДК 621.311:65.035

В.Ф. Находов, А.І. Замулко, Мохаммад Аль Шарарі, Д.О Медінцева
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
АНАЛІЗ ТРИВАЛОСТІ І МЕЖ ІСНУЮЧИХ ТАРИФНИХ ЗОН ДОБИ

Запропоновано метод статистичного групування погодинної потужності енергосистеми і груп споживачів, що дозволяє більш об'єктивно визначати тривалість і фактичні межі зон доби з різними рівнями навантаження. Розроблено методичні основи аналізу характеру і ступеня протидії «дифтарифних» споживачів зміні попиту на потужність всіх інших, «недифтарифних» споживачів в кожну годину доби. Аналіз тарифних зон доби повинен базуватися не тільки на статистичному дослідженні конфігурації графіків навантаження енергосистеми і груп споживачів, але також і на оцінці характеру і ступеня щогодинної протидії «дифтарифних» споживачів зміні попиту на потужність всіх інших споживачів електроенергії.

Ключові слова: добові графіки навантаження, диференційовані тарифи на електроенергію, межі зон доби, метод групування навантажень, коефіцієнт протидії «дифтарифних» споживачів.

Надійшла 06.04.2016

Received 06.04.2016

К.В. Чернуха, магістрант, В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц., В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИМ ПІДПРИЄМСТВОМ

Проведено огляд методів отримання біопалива з різних видів біомаси. На прикладі сільськогосподарського підприємства показана доцільність вирощування ріпаку та енергетичних рослин для покриття власних потреб в електричній та тепловій енергії. Встановлено, що для підприємства вирощування ріпаку та виробництво з нього біодизеля дає більший прибуток ніж вирощування ріпаку на продаж. Виконана оцінка технічно досяжного енергетичного потенціалу соломи ріпаку та енергетичних дерев. Показана економічна доцільність використання різних видів деревних культур.

Ключові слова: біомаса, біопаливо, ріпак, енергетичні рослини, енергетичний потенціал.

Скінченність викопних видів палива спонукає людство до пошуку альтернативних джерел енергії. Виробництво енергії з відновлювальних джерел динамічно розвивається в більшості європейських країн. Одним з варіантів заміщення органічного палива є використання біомаси. На сьогодні частка біомаси в енергетиці України складає 2,28%, що становить близько 1,61 млн. т н.е. Для порівняння: країни ЄС у валовому кінцевому енергоспоживанні мають близько 9% біомаси. Виробництво теплової та електричної енергії з біомаси різняться серед країн Євросоюзу. Так, близько 30–40% від усіх ВДЕ займає біомаса в Ірландії, Кіпрі та Люксембурзі. Лідерами у біоенергетиці є Естонія, Латвія, Литва, Угорщина, Польща, Фінляндія, де частка біомаси від усіх ВДЕ у кінцевому енергоспоживанні перевищує 80% [1].

На ринку України найширший асортимент представлено твердими біопаливами [2], це і деревина, і паливні гранули, і деревне вугілля та тріска, а також соняшникове лушпиння та відходи кукурудзи (табл. 1). Використання таких видів біопалива можливе як в домашніх умовах, так і в промисловості. В Україні вже існує декілька міні-ТЕЦ, що працюють на деревній біомасі та лушпинні соняшника.

Таблиця 1 – Використання біомаси для виробництва енергії в Україні (2013 р)

Вид біомаси / біопалива	Річний обсяг споживання*		Частка в річному обсязі споживання	Частка використання економічного потенціалу
	Натуральні одиниці	тис. т у.п.		
Солома зернових культур та ріпаку	94 тис. т	48	1,8%	0,9%
Дрова (населення)	5,0 млн. м ³	1200	45,1%	>90%
Деревна біомаса (крім споживання населенням)	3,2 млн. т	1089	40,9%	
Лушпиння соняшнику	380 тис. т	208	7,8%	41%
Біоетанол	65 тис. т	60	2,3%	6,1%
Біодизель	18 тис. т	23	0,9%	4,8%
Біогаз з відходів сільського	22,3 млн. м ³	14	0,5%	4,4%
Біогаз з полігонів ТБО	31,2 млн. м ³	21	0,8%	8,1%
Всього		2662**	100%	

* Експорт гранул/брикетів з біомаси не враховується
** Узгоджується з даними Державної служби статистики України: 2,68 млн. т у.п. у 2013 р

Не менш важливу роль у заміщенні традиційних джерел енергії мають відігравати рідкі й газоподібні види палива – біодизель, біоетанол та біогаз. Використання біопалив в енергетиці України забезпечить не лише заміщення частки вугілля, нафти або природного газу, а й допоможе вирішенню певних екологічних проблем. Адже біомаса є відновлюваним та екологічно чистим видом палива за умови вирощування сировини та використання біопалив в одному регіоні. Викиди в атмосферу великих обсягів діоксиду вуглецю при згоранні (табл. 2) палив поглинаються рослинами, що в майбутньому стануть сировиною для

біопального. Перехід на нові біопаливні технології в енергетиці України – один з можливих шляхів скорочення викидів парникових газів та зменшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері.

Мета роботи - проаналізувати доцільність використання сільськогосподарських відходів району та вирощування енергетичних рослин в якості палива для виробництва теплової енергії.

Особливої уваги заслуговує питання вирощування енергетичних культур, зокрема тополі, верби, топінамбуру, міскантусу, світчграсу тощо.

Енергетичну вербу можна вирощувати на неродючих або занедбаних землях, оскільки рослина не потребує великої кількості добротого ґрунту і посиленого живлення. Збирають вербу, зрізуючи верхні частини кожні два або три роки за допомогою спеціальної техніки. У Європі радять робити це в зимовий час року для оптимізації роботи підприємства. Вважається, що у віці п'яти років рослина дає найкращий «урожай», а по досягненню нею віку 20, але не старше 25 років, дерево має бути розкорчоване, звільнивши місце під нові насадження [3].

Міскантус – трав'яниста рослина з добре розвиненою кореневою системою. Має дуже міцне стебло за рахунок високого вмісту целюлози та лігніну. Міскантус для росту потребує не кислих ґрунтів (рН=6,5) та невеликого поливу, оскільки кількості середньорічних опадів недостатньо. Загалом культура стійка до вітрів та опадів, тому нормально перезимовує в погодних умовах України. Урожай міскантусу можна збирати щорічно впродовж 20 років.

Таблиця 2 – Рівні викидів забруднюючих речовин в атмосферу при спалюванні різних видів палива без систем очищення, тонн на 1 тис. тонн натурального палива [4]

Вид палива	Викиди забруднюючих речовин				
	CO ₂	NO ₂	SO ₂	Тверді частинки	Разом
Природний газ	1,18	3,52	0,00	0,00	4,70
Мазут	5,20	5,20	35,30	0,30	45,90
Брикет торф'яний	8,04	26,81	3,00	13,02	50,87
Кам'яне вугілля	9,58	63,56	9,20	65,32	147,66
Деревні брикети, пелети	4,68	9,31	0,28	4,11	17,69
Деревина дров'яна	4,9	9,4	0,3	4,3	18,9
Тирса деревна	5,0	9,6	0,5	5,0	20,0
Деревні відходи, обрізки	5,2	9,9	0,4	5,2	20,7
Швидкозростаюча деревина	4,8	9,5	0,0	8,4	22,7
Тріска, сучки, кора	5,6	11,4	0,8	13,4	31,3

Тополя найшвидше з-поміж інших дерев росте в наших кліматичних умовах та придатна для вирощування на бідних та забруднених землях. Особливо добре вона росте в долинах річок. У промислових насадженнях вихід сухої маси тополі становить 6-12 т/га. Угіддя з культурою залишаються продуктивними 15-20 років, урожай – кожні 3-6 років [5].

Світчграс, або лозоподібне просо, – рослина, схожа на кущовий злак, який може вирости до 0,5-2,7 м заввишки. Може мати кореневу систему 3 м у глибину.

Вирощують світчграс не лише для енергетичних цілей, а й як декоративну та кормову рослину. Також його використовують для консервації ґрунтів, боротьби з ерозією ґрунту та для збереження природних умов.

Світчграс розводять на будь-яких ґрунтах. Він не потребує підвищеного рівня зволоження землі, а також великої кількості пестицидів. Має високу стійкість до хвороб та шкідників. Урожайність світчграсу збільшується поступово з менш ніж 2 т/га першого року використання до 12 т/га - другого і до 18 т/га - третього року вирощування.

Склад світчграсу як палива характеризується близько 50% вуглецю, 43% і 6% кисню і водню. Листкова маса рослини зумовлює високу зольність, що досягає 4-6 %. Зменшення шлакування в котлах забезпечується високим вмістом кальцію та магнію та недостатністю калію та натрію.

Широке застосування у якості сировини для пелет набула солома зернових культур. Але останнім часом її вартість виросла, так як це також цінне добриво, тому частіше її приорюють, ніж переробляють на паливні гранули. Тому енергетичні культури є досить актуальною альтернативою соломі.

Зараз дуже часто піднімається питання доцільності використання орних земель на потреби енергетики. Адже в такому випадку біопаливо конкурує за землю з іншими культурами сільського господарства, що

при збільшенні попиту на продовольчі товари не є позитивним. Але, як зазначалося вище, енергетична верба не потребує родючого ґрунту і її можна використовувати на занедбаних землях. Основним вирішенням цього питання є знаходження оптимального економічного, екологічного та соціального балансу структури сільськогосподарських угідь, виходячи, насамперед, з продовольчої безпеки населення.

В Україні, на жаль, є певні перешкоди для широкого та швидкого впровадження бізнесу з вирощування енергетичних культур. Це й брак державної підтримки та фінансових програм, і відсутність назв енергетичних рослин у реєстрі сільськогосподарських культур, а також невелике поширення інформації серед широкого кола населення.

На другому місці серед поширеності біопалив є біогаз. Його переважно отримують з сировини тваринного походження (гній ВРХ, пташиний послід тощо), а також шляхом збору з полігонів твердих побутових відходів. Велика кількість сировини у сфері агропромислового комплексу змушує задуматись виробників сільськогосподарської продукції про впровадження відновлюваних джерел енергії.

Переробка відходів сільського господарства дозволяє вирішити безліч економічних та екологічних питань, зокрема:

- незалежність від традиційних джерел енергії;
- виготовлення високоякісного біодобрива, що краще впливає на урожайність, ніж перегній, чи мінеральні добрива;
- відсутність проблеми утилізації гною: загромождження великих площ для складування відходів, необхідності транспортування;
- зменшення викидів парникових газів при натуральних процесах на складах гною;
- екологічність ферми загалом;
- можливість продажу надлишкової енергії сусіднім споживачам.

Найбільш ефективну переробку відходів можна забезпечити за допомогою когенерації - технологічного процесу одночасного виробництва електричної та теплової енергії [6].

Недостатньо використовується економічний потенціал рідких біопалив: біоетанолу - 6,1% та біодизелю - 4,8% (табл. 1).

Основним напрямком поширення біоетанолу та біодизелю є використання у ролі компонента моторних палив або навіть самостійного моторного пального.

Сировиною для виробництва біоетанолу можуть слугувати продукти, що містять крохмаль або цукор (наприклад, цукрова тростина, маніок, цукрові буряки, меляса, картопля, зерно пшениці, кукурудзи, інші зернові культури, що містять крохмаль) або целюлозу (трав'янисті рослини та деревина, відходи сільського господарства: солома, кукурудзяні качани, соняшникове лущиння; або відходи деревообробної та целюлозно-паперової промисловості: гілки, тирса, кора дерев).

Використання біоетанолу у ролі компонента автомобільного палива має певний економічний ефект, зокрема:

- нижча вартість пального в порівнянні з класичними нафтопродуктами;
- можливість скорочення виплат на оплату транспортного збору;
- зменшення енергетичної залежності України;
- створення додаткових робочих місць;
- розвиток власного виробництва та передових технологій;
- приріст ВВП, додаткові надходження до бюджету

Але основними перевагами запровадження нових технологій в автотранспорті на основі біопалив є екологічний ефект.

Біодизельне паливо є продуктом переетерифікації рослинних олій і являє собою суміш метилових або етилових ефірів жирних кислот. Воно може використовуватися в чистому вигляді, або як суміш зі звичайним дизельним паливом в будь-яких пропорціях. Сировиною для нього служать рослинні олії (ріпакова, соєва, соняшникова, кукурудзяна, гірчична, пальмова та ін.), метанол і етанол.

Біодизельне паливо отримують з поновлюваних біоресурсів, його властивості дуже близькі до нафтового пального. Воно має хороші змащувальні властивості, не чинить шкоди навколишньому середовищу під час проливу на ґрунт чи у воду, на відміну від нафти, оскільки швидко розкладається бактеріями. Під час згоряння 1 кг дизельного палива виділяється майже 80-100 г токсичних компонентів (20-30 г оксид вуглецю, 20-40 г вуглеводнів, 10-30 г оксидів сірки, 0,8-1,0 г альдегідів, 3-5 г сажі та ін.). При використанні біодизелю значно знижуються викиди шкідливих речовин табл.3 [7].

Таблиця 3 –Склад відпрацьованих газів автомобілів при використанні різних видів палива

	Співвідношення викидів для біодизеля і дизеля, %
Монооксид вуглецю	- 45
Вуглеводні	- 56
Тверді частинки	- 55
Оксиди азоту	+ 5
Mutagenicity (мутагенність)	- (80 - 90)

Недоліками можна назвати проблеми при експлуатації в зимову пору року, пов'язані високою температурою застигання в порівнянні з дизельним паливом. Біопаливо має властивості розчинника і вимиває всі відкладення з паливної системи, при цьому руйнуються деталі з гуми і пластмас, а також забиваються фільтри. Потрібен більш високий тиск упрорскування палива.

Для прикладу розглянемо сільськогосподарське підприємство у Чернігівській області, яке займається вирощуванням зернових та олійних культур. У 2015 році під озимий ріпак було засіяно 11 га, а під ярий – 545 га. Урожайність становила відповідно 6,5 та 16,5 ц/га.

Олійність насіння ріпаку висока і досягає рівня середньоолійних сортів соняшнику. Для озимих сортів вона становить 45-50% і 32-35% для ярих сортів. Вихід макухи дорівнює 56%, вона може бути високоцінною кормовою добавкою до раціону тварин. У макухи (в залежності від технології отримання олії) залишається до 20% незбираної олії. [8]. Для розрахунку приймаємо, що можна добути з макухи ще 15% олії.

Кількість ріпаку в сівозміні не повинна перевищувати 20-25% від загальної площі орних земель. Найкращими попередниками для ріпаку є чисті та зайняті пари, озимий ячмінь та пшениця, горох. Площі ріпаку можуть чергуватися з площами цукрового буряку не частіше ніж через 3-4 роки. Ріпак відмінний попередник для всіх озимих та ярих зернових. Він залишає після себе рихлу поверхню та залишки, багаті на поживні речовини [9].

За 2015 рік сільгосппідприємством було зібрано 910,3 т ріпаку. З нього було добуто 378,41 т олії, з них 76,47 т з макухи.

Відповідно до реакції переетерифікації, для добування 1 т біодизелю необхідно взяти 0,98 т олії, 0,125 т метанолу і 0,024 т каталізатора (каустична сода) [10]. Таким чином, для переробки наявної кількості олії треба 48,27 т метанолу і 9,27 т каустичної соди. При цьому утвориться 386,13 т дизельного біопалива і 46,34 т гліцерину. Цін каустичної соди-16000 грн./т, ціна метанолу-28000 грн./т.

У процесі виробництва біодизелю на кожен його галон необхідно витратити 0,083 кВт·год електричної і 10 ккал теплової енергії, яка отримується від спалювання природного газу [10]. Кількість витраченої електричної енергії становить 11009,76 кВт·год, тариф – 1,5894 грн./кВт·год. На виробництво палива було витрачено 165,81 м³ природного газу з теплою згорання 8000 ккал/м³. Вартість газу для промислових споживачів становить 8949,48 грн./1000 м³. Після отримання альтернативного палива було реалізовано побічні продукти – макуху (4100 грн./т) і гліцерин (31000 грн./т).

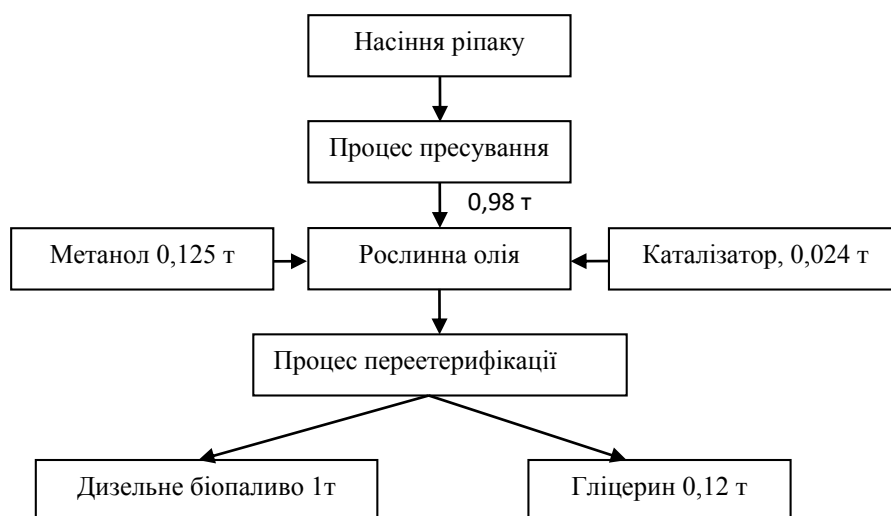


Рисунок 1 – Процес виробництва біодизеля

Отже, було розглянуто два варіанти для сільськогосподарського підприємства (табл. 4):

- сценарій 1 - реалізація ріпаку за ринковими цінами - на виручені гроші від продажу ріпаку закупити дизельне пальне;
- сценарій 2 - вирощування ріпаку - його переробка на дизельне біопаливо - використання біопалива на власні потреби у кількості відповідно до сценарію 1 - продаж залишку біопалива, гліцерину і макухи.

За результатами розрахунків (табл. 2), сільськогосподарському підприємству вигідно переробляти ріпак в альтернативне паливо, адже загальний фінансовий баланс позитивний у другому випадку.

Таблиця 4 – Результати розрахунку економічної доцільності використання рапсу (грн.)

Сценарій 1				Сценарій 2			
Закуплено дизельного пального (ДП), т		201,28		Вироблено біодизелю, т	386,13	Продано біодизелю, т	184,85
Витрати на ДП	4096350	Реалізація ріпаку	7737550	Витрати на електроенергію	17498,91	Реалізація біодизелю	3761901
Витрати на вирощування ріпака	3641200			Витрати на вирощування ріпака	3641200	Реалізація гліцерину	1436418
				Витрати на метанол	1351469	Реалізація макухи	2090049
				Витрати на соду	148275,4		
				Витрати на газ	1483,91		
Загальні витрати	7737550	Прибуток від реалізації	7737550	Загальні витрати	5159927	Прибуток від реалізації	7288368
Вигода підприємства	0			Вигода підприємства	2128441		

Також можна оцінити технічно досяжний енергетичний потенціал соломи ріпаку [11]:

$$E = \frac{M_i \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot Q_{HВД}^P}{Q_{V.П.} \cdot 1000}, \text{ т.у.п.},$$

де M_i - валовий збір культури; K_1 - коефіцієнт відходів, що визначає кількість відходів (стебла, листя тощо), які можна отримати з одиниці маси насіння; за даними [11], для ріпаку становить 2; K_2 - коефіцієнт технічної доступності, який визначає кількість відходів, які реально зібрати з рахуванням втрат, дорівнює 0,7; $Q_{HВД}^P$ і $Q_{V.П.}$ - нижча теплота згоряння відходів (15 МДж/кг) та умовного палива (29,33 МДж/кг).

$$E = \frac{910,3 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 15}{29,33 \cdot 1000} = 0,65 \text{ т.у.п.}$$

Зробимо розрахунок енергетичного потенціалу дерев [11], що швидко ростуть і які можна було б висадити на площі посіву ріпаку (545 га):

$$E = \frac{S \cdot B \cdot Q_{HEK}^P}{Q_{V.П.} \cdot 1000}, \text{ т.у.п.},$$

де S - площа, доступна для вирощування енергетичних культур; B - середня врожайність культури; Q_{HEK}^P - середня теплота згоряння енергетичних культур.

Результати розрахунків наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Результати розрахунку економічної доцільності використання різних видів енергетичних культур

Енергетична культура	Врожайність, т сухої маси/га в рік	Q_{HEK}^p сухої маси, МДж/кг	Енергетичний потенціал, т. у.п.	Прибуток від реалізації палива*, грн
1	2	3	4	5
Тополя	9,5	18,5	3,3	27291
Верба	9	18,5	3,1	25637
Вільха	7	20	2,6	21502
Міскантус	12	17	3,8	31426
*- без врахування витрат на вирощування				

Як бачимо, найбільший енергетичний потенціал має міскантус. Але для вибору тієї чи іншої енергетичної культури необхідно брати до уваги, крім розрахунків, ще й рельєф місцевості, характер та якість ґрунтів та інші фактори, які мають вплив на врожайність.

Висновки

1. В Україні достатня сировинна база для виробництва рідких біопалив та їх використання для отримання теплової та електричної енергії.
2. Україна має достатню кількість неродючої або занедбаної землі для вирощування енергетичних рослин.
3. Використання біопалива сприяє зменшенню енергетичної залежності держави та скороченню викидів забруднюючих речовин в атмосферу.
4. На прикладі сільськогосподарського підприємства показана доцільність вирощування ріпаку та енергетичних рослин для покриття власних потреб в енергії.

Список використаної літератури

1. European Bioenergy Outlook. Statistical report, AEBIOM, 2013.
2. Гелетуха Г. Г. Перспективи розвитку біоенергетики як інструменту заміщення природного газу в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, О.І. Гайдай. // Пром. теплотехніка. т. 37, №6.– 2015. – с. 56–65.
3. Верховцев Ф. Енергетичні деревні культури: маленький шанс великих можливостей [Електронний ресурс] / Федір Верховцев // Агробізнес сьогодні. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.agro-business.com.ua/ideii-i-trendy/2015-energetychni-derevni-kultury-malenkyi-shans-velykykh-mozhlyvostei.html/>
4. Екологічні аспекти використання деревних паливних ресурсів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/3589/>.
5. Енергетичні рослини як сировина для біопалива [Електронний ресурс] / О. Хіврич, В. Курило, В. Квак, В. Каськів // Пропозиція. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=3624>.
6. Чернуха К. В. Ефективність застосування біогазової установки для опалення на тваринницьких фермах [Текст] / К.В. Чернуха, В.І. Шкляр, В.В. Дубровська // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність-2013»– Київ: Інститут газу НАН України, 2013. – С. 100-102.
7. Биодизель [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://rea.org.ua/dieret/Fuels/biodiesel.html>.
8. Елисеєв А. М. Экономическая эффективность выращивания ярового рапса [Електронний ресурс] / А. М. Елисеєв // Надежда планеты. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.argo-shop.com.ua/article-2382.html>.
9. Рекомендації по вирощуванню озимого ріпаку [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://www.mnagor.com/articles/5/>.
10. Особенности производства биодизеля [Електронний ресурс] // Информационно-аналитическое агентство Cleandex. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cleandex.ru/articles/2009/12/23/biodiesel-production>.
11. Методика узагальненої оцінки технічно досяжного потенціалу біомаси / [В. О. Дубровін, Г. А. Голуб, С.В. Драгнев та ін.]. – К.: Віол Принт, 2013. – 25 с.

ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF USING BIOMASS BY AGRICULTURAL ENTERPRISES

The review of options for producing biofuels from various types of biomass was carried. Expediency of cultivation of oilseed rape and energy crops to cover their own needs in electric and thermal energy is shown on the example of agricultural enterprises. It is found that cultivation of rapeseed and production of biodiesel from it gives more profit than cultivation of rapeseed for sale. The estimation of technically achievable energy potential of rape straw and energy crops was carried out. Economic feasibility of using different types of tree crops is shown.

Keywords: biomass, biofuel, rape, energy crops, energy potential.

References

1. European Bioenergy Outlook. Statistical report, AEBIOM, 2013.
2. Heletukha H. H. Prospects of development of bioenergy as a tool of substitution of natural gas in Ukraine / H.H. Heletukha, T.A. Zheliezna, O.I. Haidai. // Prom. teplotekhnika. vol. 37, no 6.– 2015. – pp. 56–65.
3. Verkhovtsev F. Energy wood culture: small chance of big opportunities / Fedir Verkhovtsev // Ahrobiznes sohodni. – 2014. – Available at: <http://www.agro-business.com.ua/ideii-i-trendy/2015-energetychni-derevni-kultury-malenkyi-shans-velykykh-mozhlyvostei.html/>
4. Ekolohichni aspekty vykorystannia derevnykh palyvnykh resursiv. [Environmental aspects of using wood fuel resources] [electronic journal]. – Available at: <http://bio.ukrbio.com.ua/articles/3589/>.
5. Power plants as raw materials for biofuels [electronic journal] / O. Khivrych, V. Kurylo, V. Kvak, V. Kaskiv // Propozytsiia. – 2016. – Available at: <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=3624>.
6. Chernukha K. The efficiency of biogas installations for heating on the cattle farm [Tekst] / K.V. Chernukha, V.I. Shkliar, V.V. Dubrovskaya // Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Enerhoefektyvnist-2013»– Kyiv: Instytut hazu NAN Ukrainy, 2013. – pp. 100-102.
7. Biodiesel fuel [electronic journal] Available at: <http://rea.org.ua/dieret/Fuels/biodiesel.html>.
8. Eliseyev A. M. Economic Efficiency of Growing spring rape [electronic journal] / A. M. Yeliseyev // Nadezhda planet. – 2001. – Available at: <http://www.argo-shop.com.ua/article-2382.html>.
9. Recommendations for growing winter rape [electronic journal] Available at: <http://www.mnagor.com/articles/5/>.
10. Features biodiesel production [electronic journal] // Informatsionno-analiticheskoye agentstvo Cleandex. – 2009. — Available at: <http://www.cleandex.ru/articles/2009/12/23/biodiesel-production>.
11. The method of generalized estimation technically feasible potential of biomass / [V. O. Dubrovin, H. A. Holub, S.V. Drahnev etc.]. – Kyiv: Viol Prynt, 2013. – 25 p.

УДК 620.95

К.В. Чернуха, магистрант, **В.В. Дубровская**, канд. техн. наук, доц., **В.И. Шкляр**, канд. техн. наук, доц.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Проведен обзор методов получения биотоплива из различных видов биомассы. На примере сельскохозяйственного предприятия показана целесообразность выращивания рапса и энергетических растений для покрытия собственных нужд в электрической и тепловой энергии. Установлено, что для предприятия выращивание рапса и производство из него биодизеля дает большую прибыль, чем выращивание рапса на продажу. Выполнена оценка технически достижимого энергетического потенциала соломы рапса и энергетических деревьев. Показана экономическая целесообразность использования различных видов древесных культур.

Ключевые слова: биомасса, биотопливо, рапс, энергетические растения, энергетический потенциал.

Надійшла 20.03.2016

Received 20.03.2016

СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

УДК 628.4.032(045)

І.Л. Трофімов, канд. техн. наук, доц., А.В. Яковлева, асист., О.В. Іванченко, асист., Л.С. Верягіна, асист.
Національний авіаційний університет

АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В УКРАЇНІ

Розглянуто проблему забруднення навколишнього середовища твердими побутовими відходами в Україні та світі. Досліджено негативний вплив відходів на екологічний стан України, розглянуто та проаналізовано проблему поводження з відходами в країнах Європи. Наведено існуючі методи знешкодження відходів та проаналізовано їх недоліки. Обґрунтовано метод переробки твердих побутових відходів з метою отримання сировини для альтернативних джерел енергії. Встановлено ефективність збору та використання в Україні звалищного газу (біогазу).

Ключові слова: екологія, середовище, відходи, утилізація, спалювання, біогаз, звалища, палива.

Вступ. На сьогодні у світі, зокрема в Україні, виникла істотна небезпека забруднення довкілля побутовими та промисловими відходами. Під час проведення досліджень, пов'язаних з вивченням проблеми забруднення побутовими відходами промислово розвинутих урбосистем, значна увага приділялась джерелам небезпеки промислового походження. При цьому роль негативного впливу відходів на екологічний стан України у формуванні рівня екологічної небезпеки вивчена недостатньо.

За останні 100 років людство більш ніж в 1000 разів збільшило споживання енергетичних ресурсів, при цьому паралельно збільшивши обсяги індустріальної і сільськогосподарської продукції. Що, у свою чергу, призвело до збільшення кількості відходів. У розрахунку на кожного мешканця в індустріально розвинутих країнах щорічно видобувається близько 30 т природних ресурсів, з них лише 2-5 % набирають форми продукту, решта потрапляють у відходи. У містах з кількістю населення біля 20 тис. осіб, за добу накопичується близько 64 тонн відходів, які переповнюють звалища та спеціальні полігони. Кількість твердих побутових відходів (ТПВ) щорічно збільшується на 3-6 % [1], що значно перевищує швидкість приросту населення Землі.

Проблема ТПВ є досить гострою для України. Питання поводження з ТПВ, пошуку нових та удосконалення існуючих методів переробки відходів в Україні на сьогодні є досить актуальними.

Скорочення запасів нафти, збільшення об'ємів її видобування, а також стрімко зростаючий негативний вплив на навколишнє середовище від забруднення відходами, обумовлюють необхідність розробки та впровадження альтернативних видів палива, що у 2014 та 2015 роках чітко прослідковується у програмах енергоефективного розвитку усіх провідних країн світу.

Мета та завдання: обґрунтування використання відходів побутового походження як сировини для отримання альтернативних палив в Україні та встановленні внеску у формування рівня екобезпеки джерел забруднення навколишнього середовища твердими побутовими відходами.

Аналіз сучасного стану поводження з ТПВ в Україні та світі. За даними багаторічних спостережень багатьох науковців у зоні життєдіяльності людства, зокрема великих міст, встановлено, що середні річні концентрації небезпечних речовин у повітрі та грантах на території звалищ побутових відходів перевищують ГДК в 1,3 - 2,5 рази.

Автор парці [1] звертає увагу, що навіть за умов максимального дотримання на рівні регіону вимог санітарних норм і правил (упровадження атмосфероохоронних заходів, використання ефективних систем контролю за станом атмосферного повітря, наявності об'їзних транспортних магістралей, озелененню території і т. і.) проблема поводження з твердими побутовими відходами залишається відкритою. Такі результати обумовили необхідність проведення моніторингу проявів екологічної небезпеки на рівні аналізу конкретних технологічних процесів утворення небезпечних чинників з метою виявлення об'єктів, які вносять суттєвий внесок у формування екологічної небезпеки.

Автор праці [2] передбачає поєднання природних і техногенних циклів у єдину систему з метою керування цими циклами за рахунок «буферних» зон, які існують об'єктивно, або створення технологічних циклів. Для покращення екологічної ситуації у разі використання ТПВ, автор пропонує удосконалення системи поводження з ТПВ.

Автор праці [3] стверджує, що проблема ТПВ на 2014 рік є досить гострою для України. Наводяться дані, що в Україні накопичено близько 25 млрд. т різних відходів. За оцінками фахівців Євросоюзу, щорічно утворюється 24 млн. т небезпечних відходів, з них 75 % зберігаються на полігонах. При цьому полігонне поховання слід вважати малоєфективним для відходів, які можна повторно використати іншими шляхами або утилізувати. Автор, як альтернативний метод поводження з ТПВ, пропонує термічний метод утилізації (сміттєспалювання).

У табл. 1 наведені статистичні дані щодо накопичення, утворення та використання промислових і побутових відходів в Україні [4].

Таблиця 1 – Накопичення, утворення та використання відходів в Україні

Показник	Значення
Промислові відходи	
Накопичення: всього, млрд. т	30
на 1 людину, т	600
на 1 км ² , тис. т	50
Загальна площа, тис. га	200
Утворення, млн. т / рік	700-710
Утилізація відходів, %	10-15
Тверді побутові відходи (ТПВ)	
Накопичення: всього, млрд. м ³	3-4
на 1 людину, т (м ³)	17 (76)
на 1 км ² , тис. т (тис. м ³)	1,3 (6)
Санкціоновані звалища, шт.	771
Утворення ТПВ, млн. т / рік	10-11
Приріст утворення, тис. т / рік (% / рік)	130-200 (1,3-2,0)
Використання побутових відходів, %	2-5

У спрощеному вигляді відходи на 1 людину становлять:

- побутові відходи – 1,1 кг / добу;
- торгівельні – 0,6 кг / добу;
- промислові – 1,4 кг / добу;
- різні речі – 0,1 кг / добу;
- Разом – 3,2 кг / добу.

Автор праці [5] наводить дані, що кількість побутових відходів в країнах Європи становить близько 38-40 млн. м³ щороку (або близько 10 млн. т). Як бачимо, Україна не дуже відстає від середньоевропейської статистики.

Усереднений склад побутових відходів по Україні у відсотках приблизно такий, % [6]: целюлозомісткі матеріали (папір, картон, газети, обгортки та інші пакувальні матеріали) – 30-35; відходи продуктів харчування – 28-30; метали – 4; пластмаса – 4; деревина – 3; текстиль – 5; скло, кераміка – 7; інше – 10-12. Доля відходів з органічною складовою – 70-78 %.

За даними джерела [3], на сьогодні показники утворення відходів у середньому становлять 220-250 кг/рік на одну особу, а у великих містах сягають, навіть, 330-380 кг/рік. В цілому, загальна маса цих відходів сягає 13 млн. т / рік і ця цифра росте по експоненті. Більше того, серед твердих побутових відходів збільшується частка відходів, яка не піддається швидкому розкладу та потребують значних площ для зберігання.

Відомим є те, що утворення біомаси (ріст клітин) зумовлено виробленням у клітинах рослин вуглецю за рахунок процесу фотосинтезу. Щороку завдяки фотосинтезу утворюється така кількість біомаси, що її сухий залишок еквівалентний 220 млрд. т, а це перевищує світову потребу в паливі приблизно в 10 разів.

Тобто, тверді вуглеводневі промислово-побутові відходи, що складають біля половини усіх твердих відходів в Україні – це ще й вторинна сировина, значні запаси якої мають великий енергохімічний потенціал і його можна використовувати більш повніше та з економічною вигодою. Автором праці [6] підраховано, що з відходами економіка країни щороку втрачає 3,3 млн. т макулатури, 550 тисяч т металів, 660 тис. т полімерів, 770 тис. т скла, 550 тис. т текстилю. Місто за рік може зекономити за рахунок використання побутових відходів 8250 т цінної сировини.

На сьогодні у світовій практиці склалися 2 найбільш розповсюджені методи утилізації ТПВ: спалювання на спеціалізованих сміттєспалювальних заводах (ССЗ) та захоронення на стихійних чи санітарних звалищах (полігони) [3, 5]. Кожен з цих методів має свої недоліки, які дуже впливають на екологічну ситуацію в країні, яку і без того можна назвати кризовою через величезну кількість шкідливих

компонентів, що потрапляють в атмосферу, ґрунти та водні середовища з викидами транспорту і промисловості.

Автор праці [7] висловлює думку, що спалювання сміття є небезпечним для навколишнього середовища, оскільки в атмосферу виділяються діоксини, фурани, біфеніли, інші шкідливі речовини та велика кількість пилу. Діоксини руйнують гормональну систему людини, призводять до імунодефіциту і ослаблення захисних функцій організму, сприяють розвитку жіночих хвороб, онкологічних захворювань, зростанню кількості викиднів та дітей-інвалідів. Сміттєспалювальні заводи вважаються одними з основних джерел утворення діоксинів. Громадська думка щодо сміттєспалювання є різко негативною.

Отже, існуючі методи переробки відходів, які широко застосовуються в Україні, не відповідають сучасним екологічним вимогам, тому на сьогодні пошук альтернативних шляхів вирішення даної проблеми є досить актуальним. Враховуючи також, що відходи є вторинною сировиною і мають великий енергетичний потенціал, за допомогою альтернативних технологій переробки з них можна отримувати альтернативні носії енергії, що в свою чергу допоможе частково вирішити енергетичну проблему в нашій країні.

Аналіз літературних джерел, присвячений оцінці впливу відходів побутового походження на екологічний стан України та поводженню з ТПВ свідчить про відсутність вирішення цієї проблеми в науковій літературі. Тому актуальність роботи зумовлена відсутністю достатньої кількості даних щодо конкретного метода ефективної переробки побутових відходів.

Обґрунтування доцільності збору та використання в Україні звалищного газу. Є достатньо багато причин вважати, що технології спалювання сміття є не раціональними. Уже в даний час витрати на спалювання 1 кг сміття складають 65 центів. Якщо не перейти на інші технології ліквідації відходів, то витрати будуть рости. До того ж, останнім часом в Європі на сміттєспалювальні заводи значно посилюється тиск «зелена громадськість». Сміттєспалювання не тільки не сприяє розвитку рециклінгових систем, а й навпаки – не зацікавлене в них. У топках згорають насамперед органіки й полімери, а вилучення цих компонентів зі сміттевої маси робить спалювання сміття нерентабельним. Шлаки та попіл, що утворюються в процесі сміттєспалювання, а це близько 30% початкової маси ТПВ, все одно мають бути утилізовані (поховані на полігонах). Сьогодні в Україні ССЗ намагаються не робити цього, використовуючи натомість вищезгадані матеріали в будівельній та шляхоремонтній промисловості. Проте все більше національних законодавств прирівнює попіл і шлак до небезпечних відходів, із відповідними нормами та цінами поховання. На відміну від західноєвропейських країн, цей спосіб не набув в Україні великого поширення.

Більш того, енергія, що утворюється під час спалювання, повинна бути утилізована з отриманням пари чи електроенергії. Такі схеми ефективно впроваджені та функціонують у Китаї [8] та країнах Євросоюзу [9]. Нажаль в Україні, поки що, такі схеми не впроваджено.

Разом з тим, постійно збільшується кількість перевантажених сміттєзвалищ, а деякі із цих сміттєзвалищ, на жаль, не відповідають нормам екологічної безпеки. На сьогодні кількість полігонів та сміттєзвалищ в Україні становить близько 4,5 тисяч, проте, існує інша проблема - несанкціоновані сміттєзвалища, кількість яких перебільшує 35 тисяч. Серед європейських країн Україна посідає перше місце за рівнем шкідливого впливу полігонів на довкілля.

Варто зауважити, що на сьогодні постійно погіршується якість роботи ССЗ: через подорожчання газу, потрібного для спалення відходів, його намагаються економити, в результаті чого сміття не спалюється до стану шлаку. Фактично, кінцевою продукцією ССЗ стає обгоріле сміття замість попелу та шлаку. Загалом, діяльність вітчизняних сміттєспалювальних заводів офіційно визнана небезпечною. Крім того, дорогий природний газ та електроенергія роблять діяльність вітчизняних підприємств збитковою. Їх закриття вважається справою часу, і лише відсутність коштів на альтернативні методи поводження з відходами є причиною того, що ССЗ усе ще працюють.

Сьогодні широко розповсюджується думка, що захоронення ТПВ на спеціальних полігонах – більш економічний та універсальний метод, ніж спалювання, і в деяких країнах ТПВ в основному вивозяться на звалища та полігони. Так, кількість ТПВ, що захоронюються на звалищах та полігонах, в Нідерландах – 45-55 %, США – 62-85 %, Канаді – 93-96 %, Росії – 97 %.

В Україні відходи знешкоджуються на 771 офіційному міському звалищі, що займають площу понад 250 тис. га [6]. Переважна більшість звалищ (80-90%) працює у режимі перевантаження, з давно порушеними проектними показниками щодо обсягів надходження відходів, без дотримання запобіжних заходів щодо забруднення підземних вод та повітряного басейну.

Підготовка сучасного полігону ТПВ включає ущільнення і гідроізоляцію дна, обладнання дренажної системи для відводу фільтраційних вод, прокладання труб для збору утвореного біогазу. Захоронене сміття пересипають шарами піску та глини. При закритті полігону товщина запираючого шару ґрунту звичайно складає близько 0,5 м. У більшості розвинених країн осаді стічних вод після попереднього обезвожування утилізують разом з ТПВ. Але ця практика з'явилася тільки в останні десятиріччя і в Україні не проводиться у зв'язку з недостатнім фінансуванням цієї галузі.

Захоронення ТПВ на звалищах пов'язано з екологічними проблемами: забрудненням підземних вод, неприємним запахом, розвитком хвороботворних мікроорганізмів. Але одна з головних проблем, пов'язаних з похованням відходів – утворення біогазу або так званого звалищного газу, компонентами якого є метан (CH_4) та діоксид вуглецю (CO_2) приблизно в рівній пропорції. Біогаз неминуче попадає в атмосферу, що викликає ряд негативних наслідків. Відомо багато випадків отруєння під час технічного обслуговування заглиблених інженерних комунікацій. Нагромадження газу у тілі полігону часто викликає самозаймання ТПВ. Процес горіння супроводжується утворенням токсичних речовин, зокрема діоксинів [10]. Глобальна емісія звалищного метану становить 40 млн. т / рік, ця величина перевищує масу метану, який виділяють вугільні шахти і є основним джерелом парникових газів планети. Також звалищний газ сприяє появі вибухо- та пожежебезпечних умов як на самих звалищах, так і на об'єктах поблизу них. Велику небезпеку становить фільтрат, що проникає з території звалищ у підземні води і може принести із собою черевний тиф, дизентерію, холеру, туберкульоз та інші небезпечні хвороби. Також, під сміттєзвалища відчужуються великі площі земель, які практично неможливо використовувати після консервації полігону.

Отже, на сьогодні, технології спалювання та поховання відходів не мають майбутнього, оскільки вони не вирішують жодну з двох найважливіших проблем в світі – екологічну та енергетичну.

Логічно виходить, що найефективніший метод скоротити вихід в атмосферу метану з полігонів ТПВ – це його збір, ефективне та раціональне використання.

Як відомо, процес утворення біогазу відбувається при анаеробному зброджуванні органічних речовин (за відсутності кисню) і складається з двох етапів. На першому етапі складні органічні полімери (клітини, білки, жири тощо) під дією різноманітних видів анаеробних бактерій розкладаються до простіших сполук: летких жирних кислот, нижчих спиртів, водню та оксиду вуглецю, оцтової та мурашиної кислот. На другому етапі бактерії перетворюють органічні кислоти на метан, вуглекислий газ та воду.

Останніми роками, системи збору й утилізації біогазу на полігонах ТПВ стали досить розповсюдженими у світі. За даними Європейської біогазової асоціації кількість таких систем у 2014 році складала: у Німеччині – 409, Італії – 89, Швеції – 83, Данії – 17, США – близько 1000. Приблизно третя частина полігонів використовує біогаз для одержання теплової чи електричної енергії. В Україні на Луганському полігоні також існує єдина в Україні система збору біогазу, яка запущена у лютому 2003 року, але працює не на повну потужність.

Сьогодні у розвинених країнах світу значну увагу привертають до себе звалища та полігони ТПВ міст-мільйонерів, як джерела для виробництва біогазу. Основними факторами у виборі таких джерел є густота населення та час. Вплив першого фактору полягає у тому, що чим більшою є зосередженість населення в місті, тим більшу кількість відходів вони будуть виробляти, отже, тим більшою буде потужність звалищ, що приймають ці відходи. Фактор часу полягає у тому, що одиниця маси ТПВ, розміщена на звалищі, здатна виробляти метан протягом 20-25 років. Отже, значний енергетичний потенціал матимуть також і звалища порівняно невеликих міст, які експлуатуються досить тривалий час.

У країнах Європи залежність обсягу звалищ ТПВ від густоти населення стає дедалі меншою внаслідок того, що ТПВ транспортуються на досить великі відстані (десятки та сотні кілометрів). З точки зору виробництва біогазу, створення таких значних за обсягом полігонів ТПВ є перспективним. Однак з точки зору споживання виробленої енергії це є негативним фактором, бо такі централізовані звалища створюються у значному віддаленні від населених місць. Проте відомо, що для успішної реалізації біоенергетичного проекту на основі біогазу звалищ ТПВ обов'язковою умовою є наявність споживача енергії (особливо, теплової) поблизу звалища. Саме внаслідок цього в межах енергетичних проектів нерідко створюються такі споживачі (наприклад, теплиці для вирощування квітів). За оцінками вітчизняних експертів біогаз звалищ доцільно транспортувати на відстань близько 3 км від звалища. Іншим виходом є створення енергетичних проектів з виробництва тільки електричної енергії, але такі проекти є менш рентабельними – тепла енергія все одно виробляється, але не споживається.

Кількість біогазу, що збирається, дозволяє установити на полігоні газову електростанцію загальною встановленою потужністю 1500 кВт. В такому випадку біогаз утворюється в спеціальних реакторах – метантенках, обладнаних та регульованих таким чином, щоб забезпечити максимальне виділення метану. Енергія, яку отримують при спалюванні біогазу, може досягати від 60 % до 90 % енергії вихідного матеріалу. Якщо реактор працює нормально, отриманий біогаз містить 60–85 % метану, 30–40 % двооксиду вуглецю, невелику кількість сірководню (0–3 %), а також суміші водню, аміаку та оксиду азоту.

Отриманий під час зброджування біогаз не має неприємного запаху, його нижча теплотворна здатність складає 25 МДж / m^3 . Середня теплота згорання біогазу складає приблизно 22 МДж / m^3 (в залежності від вмісту метану). Вихід біогазу складає 0,2-0,4 m^3 на 1 кг зброджувального сухого матеріалу при витраті 50 кг сухої біомаси на 1 m^3 води. Відомо, що 1 m^3 біогазу еквівалентний 0,6 m^3 природного газу; 0,7 л мазуту; 0,4 л бензину; 3,5 кг дров; 12 кг гнойових брикетів. З 1 m^3 біогазу можна отримати електроенергії на 1,7 кВт / год і теплоти 2,5 кВт / год, при цьому до 30% біогазу використовується на технологічні потреби установки. Після стиснення біогазу до 15-16 кг / cm^2 можливе використання його для заправки балонів [10].

З точки зору охорони довкілля, залучення біогазу звалищ до процесів виробництва енергії є дуже важливим та перспективним, проте основним недоліком отримання даного виду альтернативного джерела енергії є неконтрольованість його виробництва. На жаль, людина не може втручатись в анаеробні процеси, що відбуваються всередині товщі накопичених відходів. Можна лише намагатись забезпечувати необхідний склад ТПВ, що потрапляють на звалище, а також організувати ефективні технології вловлювання виробленого біогазу. Забезпечення необхідного складу відходів полягає у запровадженні систем роздільного збору ТПВ, у яких більшість компонентів, що не розкладаються біологічним шляхом, направляються на вторинну утилізацію. З одного боку, такі системи зменшують кількість первинних природних ресурсів, що споживаються. З іншого боку, у відходах, що направляються на захоронення на звалища, збільшується частка відходів, на основі яких виробляється метан (харчові залишки). Технології вловлювання утвореного біогазу полягають у розробці ефективних систем трубопроводів та свердловин, які охоплюють весь масив захоронених відходів, а також у створенні систем ізоляції поверхні звалища, що запобігатиме потраплянню біогазу в атмосферу.

На нашу думку, збір та використання біогазу (звалищного газу) з полігонів ТПВ, зважаючи також на проблему з енергоресурсами, для України на сьогодні є одним із найбільш рентабельних методів, хоча не єдиним. Також, як варіант, пропонуємо на місцях звалищ ТПВ розміщувати цехи для виробництва каталізаторів з очищення вихлопних газів. Як відомо, каталізатори очищення вихлопних газів автомобілів [11 – 14], виготовляють зі шламів – відходів виробництва металургійної, електронної та машинобудівної промисловості, які містять оксиди міді, заліза, хрому, нікелю, марганцю, кобальту та інших металів. Але аналіз джерел показав, що ТПВ також містять ці ж самі речовини. Зазначені оксиди знаходяться в шламі у високодисперсному стані. Додаючи до них неорганічні домішки при визначеній обробці, можливо отримувати ці каталізатори. Вони дозволяють забезпечувати очищення вихлопних газів автомобілів від CO₂ до 6 % і таким чином захищають атмосферу повітря.

Побутові та промислові відходи в останні роки також вважаються перспективною сировиною для виробництва авіаційних біопалив [15]. Наразі активно будуються заводи, де в результаті складних технологічних процесів перероблюються в паливо такі види відходів: вироби з деревини, папір, залишки деревообробки, сільськогосподарські відходи, побічні продукти тваринництва, деякі промислові відходи, харчові та побутові відходи, комунальні стоки та деякі інші. Однією з переваг такого використання відходів є можливість забезпечити виробництво біопалив з рослинної сировини безвідходним. Крім того, переробка відходів на альтернативні палива, на думку вчених [16, 17] є одним зі шляхів вирішення проблеми утилізації сміття, що накопичується на звалищах.

Технологія VtL є ще однією загальноприйнятою технологією отримання біокомпонентів авіаційного палива. Принципово дана технологія є подібною до процесу виробництва синтетичного авіаційного керосину методом ФТ-синтезу (синтез Фішера-Тропша) з бурого чи кам'яного вугілля та природного газу [17]. Як сировина можуть використовуватися різноманітні види біомаси, такі як відходи деревини, солома, залишки рослин, тощо. На початковій стадії сировина піддається розщепленню за високих температур – піролізу. Надалі з отриманої рідкої маси отримують синтез-газ, що є основою ФТ-процесу. У роботах відзначається, що керосин, одержаний технологією VtL є повністю синтетичним і за своїми властивостями подібний до палива для повітряно-реактивних двигунів, отриманого з вугілля.

Висновки

Проведено оцінку впливу на стан довкілля джерел забруднення ТПВ, проаналізовано проблему поводження з ТПВ в Україні та світі. Встановлено, що на сьогодні спалювання та захоронення ТПВ є неефективними технологіями, оскільки вони не вирішують енергетичну проблему країни, тому що не дозволяють отримувати альтернативних джерел енергії з відходів, а також негативно впливають на екологічний стан України, забруднюючи атмосферу і води діоксинами та іншими шкідливими речовинами.

Як результат, обґрунтовано, що для України найефективнішим методом на сьогодні є збір та використання біогазу (звалищного газу) з полігонів ТПВ і одержання з ТПВ синтетичних рідких палив для автомобілів та авіації. Економічні показники проектів по видобуванню та використанню звалищного газу є достатньо рентабельними, особливо за близького розміщення звалища біля промислового споживача газу. Розвиток технологій видобування та використання звалищного газу є дуже перспективним для України як з екологічних, так і з економічних позицій, що правда конче необхідне державне регулювання у сфері переробки відходів, оскільки це не лише покращить екологічний стан нашої держави, а й може суттєво вплинути на покращення енергетичної ситуації в Україні.

Проблему поводження з ТПВ в Україні потрібно вирішувати комплексно, використовуючи сучасні світові технологічні методи і засоби. Як приклад, паралельно із збором та використанням звалищного газу з полігонів ТПВ, одночасно на місцях звалищ ТПВ розмістити цехи з виробництва каталізаторів з очищення вихлопних газів. Саме такий комплексний підхід, дозволить не лише покращити екологічний стан нашої держави, а й упроваджувати та використовувати альтернативні види енергоресурсів.

Список використаної літератури

1. Єфремов, І.С. Проблеми поводження з твердими побутовими відходами [Текст] / І.С. Єфремов, С.В. Марчук // IV-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2013), 25-27 вересня, 2013. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво- друкарня ДІЛО, 2013. – С. 31-33.
2. Статюха, Г.А. Устойчивое развитие – концепция, подходы и модели [Текст] / Г.А. Статюха // Системний аналіз та інформаційні технології. Матеріали Міжнародної конференції SAIT 2011. К.: УНК «ИПСА» ННТУ «КПИ», 2011. С.38.
3. Петрова, М.А. Напрямки підвищення екологічної безпеки термічної утилізації твердих побутових відходів [Текст] / М.А. Петрова, М.О. Войтович // IV-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2013), 25-27 вересня, 2013. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво - друкарня ДІЛО, 2013. – С. 77-80.
4. Парфенюк, А. С. Ефективний шлях вирішення проблеми твердих відходів в Україні – індустріальна термолізно-енергетична рекуперация [Текст] / А. С. Парфенюк, А. А. Топоров, І. В. Кутняшенко // Безпека життєдіяльності. – 2005. – № 12. – С. 36–41.
5. Rotter S.: Incineration: RDF and SRF – Solid Fuels from Waste. Mechanical biological treatment. “Solid Waste Technology&Management”, Vol.1.1, Publication A. John Wiley and Sons, United Kingdom 2011.
6. Орфанова М.М. Использование механохимических процессов для решения проблем утилизации отходов / М.М. Орфанова, В.И. Пустогов // Екологія. – Луганськ: Східноукраїнський нац. ун-т ім. В. Даля. - №1(3). – 2008. – С 71-73.
7. Бахарев, В. С. Оцінка рівня техногенної небезпеки промислових підприємств в умовах пилового забруднення атмосферного повітря [Текст] / В. С. Бахарев // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2005. – № 5 (34). – С. 121–125.
8. Cheng H. Municipal solid waste fueled power generation in China: a case study of waste-to-energy in Changchun city [Text] // H. Cheng, Y. Zang, A Meng. Q. Li. – Environmental Science and Technology. – 2007. vol. 41, no. 21. - P. 7509-7515.
9. Grosso M. Efficiency of energy recovery from waste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive [Text] // M. Grosso, A. Motta, L. Rigamonti / Waste Management. – 2011. vol. 30, no. 7. – P. 1238-1243.
10. Труфанов, А. В. Некоторые проблемы экологического предпринимательства в сфере обращения с отходами производства и потребления [Текст] / А. В. Труфанов // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2005. – № 1. – С. 140–144.
11. Лобойко, А. Я. Исследование влияния технологии приготовления катализатора на распределение каталитически активного вещества по поверхности носителя [Текст] / А. Я. Лобойко, В. А. Векшин, Н. Б. Маркова, М. И. Ворожбян, Л. П. Шапарева // Технологія каталізаторів і сорбентів. – 2010. – № 10. – С. 59–62.
12. Orlyk, S. M. Palladium in Gas-Phase Processes of Environmental Catalysis in "Palladium: Compounds, Production and Applications" [Text] / S. M. Orlyk, S. O. Soloviev // Series: Material Science and Technology (Ed. Kenneth M.Brady). – Nova Science Publishers. – 2011. – 356 p.
13. Fino, D. EuropaCat-V [Text] / D. Fino, N. Russo, C. Badini // Limerick. – Ireland, Abstracts. – 2001. – Book 3. – 7.P-07.
14. Rashidzadeh, M. React. Kinet. and Catal. Lett. [Text] / M. Rashidzadeh, M. H. Peyrovi, R. Mondegarian. – 2000. – № 69 (1). – 115 p.
15. Ashok Pandey. Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes. Academic Press, 2011. 629 p.
16. Deepak Rajagopal, David Zilberman. Environmental, Economic and Policy Aspects of Biofuels. Now Publishers Inc, 2008. 115 p.
17. Elizabeth Cushion, Adrian Whiteman, Gerhard Dieterle. Bioenergy Development: Issues and Impacts for Poverty and Natural Resource Management. World Bank Publications, 2010. 249 p.

I.L. Trofimov, A.V. Iakovlieva, O.V. Ivanchenko, L.S. Vieriagina
National Aviation University

**ANALYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE POTENTIAL FOR PRODUCTION OF
ALTERNATIVE FUELS IN UKRAINE**

The problem of environment pollution with municipal waste in Ukraine and around the World is considered. The negative impact of waste on ecological state of Ukraine was studied. The problem of waste disposal in European countries is considered and analyzed. Modern methods of waste liquidation are presented and their disadvantages are analyzed. The method of municipal solid waste processing for production of feedstock for alternative energy sources is substantiated. The effectiveness of accumulation and use of landfill gas (biogas) was determined.

Key words: ecology, environments, waste, utilization, combustion, biogas, landfill, fuel.

References

1. Efremov, I.S., Marchuk, S.V. (2013). Problems of handling hard domestic offcuts. IV allukrainian convention of environmentalists with international participation (Ecology-2013). Collection of the scientific articles. Publishing house "Dilo", 31-33.
2. Statyukha, G.A. (2011). Steady development is conception, approaches and models. Analysis of the systems and information technologies. Materials of the International conference of SAIT, NNTU «KPI», P. 38.
3. Petrova, M.A., Voytovich M.O. (2013). Directions of increase ecological safety of thermal utilization of hard domestic offcuts. IV allukrainian convention of environmentalists with international participation (Ecology-2013). Collection of the scientific articles. Publishing house "Dilo", 77-80.
4. Parfenyuk, A. S., Toporov, A. A., Kutnyashenko, I. V. (2005). Effective ways decision of problem hard offcutsin Ukraine – industrial termolys power rekuperation. Safety of vital functions, 12, 36–41.
5. Rotter S. (2011). Incineration: RDF and SRF – Solid Fuels from Waste. Mechanical biological treatment. "Solid Waste Technology&Management", Vol.1.1, Publication A. John Wiley and Sons, United Kingdom.
6. Orfanova, M.M., Pustogov V.I. (2008). The use of mechanical-chemical processes for the decision of problems of utilization of waste. Ecology, №1(3), 71-73.
7. Bakharev, V.S. (2005). An estimation of level technogenic danger of industrial enterprises is in the conditions dustborne contamination of atmospheric air. Announcer KDPU, 5(34), 121-125.
8. Cheng, H. Y., Zang, A., Meng. Q. Li. (2007). Municipal solid waste fueled power generation in China: a case study of waste-to-energy in Changchun city. Environmental Science and Technology, vol. 41, no. 21., 7509-7515.
9. Grosso, M., Motta A., Rigamonti L., (2011). Efficiency of energy recovery from waste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive. Waste Management, vol. 30, no. 7., 1238-1243.
10. Trufanov, A. V. (2005). Some problems of ecological enterprises in the area handlings the offcuts of production and consumption. Use and guard of natural resources in Russia, 1, 140–144.
11. Loboyko, A. Ya., Vekshin, V. A., Markov, N. B., Vorozhbiyan, M. I., Shapareva, L. P. (2010). Research of influence technology preparation of catalyst on distributing catalytically of active matter on the surface transmitter. Technology of catalysts and sorbents, 10, 59–62.
12. Orlyk, S. M., Soloviev, S. O. (2011). Palladium in Gas-Phase Processes of Environmental Catalysis in Palladium: Compounds, Production and Applications, Series: Material Science and Technology (Ed. Kenneth M.Brady). Nova Science Publishers, 356.
13. Fino, D., Russo, N., Badini, C. (2001). EuropaCat-V. Limerick, Ireland, Abstracts, Book 3, 7.P-07.
14. Rashidzadeh, M., Peyrovi, M. H., Mondegarian, R. (2000). React. Kinet. and Catal. Lett., 69 (1), 115.
15. Ashok Pandey. Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes. Academic Press, 2011. 629 p.
16. Deepak Rajagopal, David Zilberman. Environmental, Economic and Policy Aspects of Biofuels. Now Publishers Inc, 2008. 115 p.
17. Elizabeth Cushion, Adrian Whiteman, Gerhard Dieterle. Bioenergy Development: Issues and Impacts for Poverty and Natural Resource Management. World Bank Publications, 2010. 249 p.

УДК 628.4.032(045)

И.Л. Трофимов, канд. техн. наук, доц., **А.В. Яковлева**, асс., **О.В. Иванченко**, асс., **Л.С. Верягина**, асс.
Национальный авиационный университет

**АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ В УКРАИНЕ**

Рассмотрена проблема загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми отходами в Украине и мире. Исследовано негативное влияние отходов на экологическое состояние Украины. Рассмотрены и проанализированы проблемы обращения с отходами в странах Европы. Приведены существующие методы обезвреживания отходов и проанализированы их недостатки. Обоснован метод переработки твердых бытовых отходов с целью получения сырья для альтернативных источников энергии. Установлена эффективность сбора и использования в Украине свалочного газа (биогаза).

Ключевые слова: экология, среда, отходы, утилизация, сжигание, биогаз, свалки, топлива.

Надійшла 17.03.2016
Received 17.03.2016

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 підлоєм 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