

ISSN 1813-5420

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія



Науковий журнал

№ 4 – 2015

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія

Науковий журнал

№ 4 (42) - 2015

Виходить 4 рази на рік

Заснований у березні 2000 року

**МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНИХ КОНФЕРЕНЦІЙ
«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ – ESS’15».**
(9-12 червня 2015 р., м. Київ)

**«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ:
СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ –REMS’15»**
(19-21 травня 2015 р., м. Київ)

Засновник
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Міжфакультетський журнал

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Теплоенергетичний факультет

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Київ
НТУУ «КПІ»
2015

Головний редактор – Ю.І. Якименко

Заступники

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

Відповідальний секретар – О.О. Закладний

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

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

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

Технічний секретар Н.О. Кравчук.

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

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

Журнал внесено до Переліку фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук відповідно до Постанови Президії ВАК України від 1 липня 2010р. № 1-05/5. Журнал включено до наукометричної бази даних РІНЦ, бази даних «Наукова періодика України», Google Scholar. Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (протокол № 10 від 07 грудня 2015 р.).

Коректор В.Г. Смоляр. Адміністрування сайту О.О. Закладний.

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», 2015

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE
"KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE"

POWER ENGINEERING

economics, technique, ecology

ENERHETYKA:
ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya

The Scientific Journal

№ 4 (42) - 2015

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCES

«ENERGY SMART SYSTEMS – ESS'15»

(June 9-12, 2015, Kyiv)

«ENERGY MANAGEMENT:

THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT – PEMS'15»

(May 19-21, 2015, Kyiv)

Founder

National Technical University of Ukraine

«Kyiv Polytechnic Institute»

Inter-faculty journal

Institute for Energy Saving and Energy Management

Heat-and-Power Engineering Department

Electrical Technology and Automation Department

Kyiv

NTUU «KPI»

2015

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

FOREIGN MEMBERS OF
EDITORIAL BOARD:

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

Technical secretary N.O. Kravchuk
Website of the journal <http://energy.kpi.ua>
Journal was registered Certificate of State Registration Printed Media
series KB №4135 dated 30 March 2000

The Journal was registered by HAK of Ukraine as an occupational edition. Resolution of HAK of Ukraine dated 1 July 2010 № 1-05/5. The Journal is included in scientometric database RSCI, databases «Scientific Periodicals of Ukraine», Google Scholar. Passed for printing under recommendation of Academic Council of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" (protocol № 10 on December 7, 2015).

Proofreading V.G. Smoliar. Web site administration O.O. Zakladnyi.
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», 2015

ЗМІСТ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ – ESS'15

І. Цмоць, В. Теслюк, А. Романюк, І. Ваврук. Система управління на основі нечіткої логіки для мобільного робототехнічного комплексу в середовищі, що спостерігається частково.....	7
Б.Р. Ракишев, А.А. Копесбаева, А.М. Ауэзова, А.Е. Куттыбаев. Интеллектуальные системы технологий взрывной подготовки горных пород.....	11
В.О. Ульянова, О.В. Богдан, А.Т. Орлов, Ю.І. Якименко, Г.А. Пашкевич, А.І. Загерін. Комбінована система перетворення енергії на основі наноструктурованих матеріалів.....	17
А.І. Загерін, А.Т. Орлов, О.В. Богдан, В.О. Ульянова, Ю.І. Якименко. Сучасний комплекс безпеки та моніторингу для автоматизованої системи управління будинком.....	20
М.О. Медиковський, І.Г. Цмоць, О.В. Скорохода, Ю.В. Цимбал. Интеллектуальные компоненты энергетических систем на основе концепции Smart Grid.....	25
О.М. Сінчук, С.М. Бойко, Д.А. Михайличенко. Система автоматичного регулювання електропостачання підприємств гірничо-видобувного комплексу на базі вітроенергетичних комплексів.....	30
Ф.П. Говоров, В.Ф. Говоров, О.В. Король. Исследование работы вольтодобавочных трансформаторов с электронным управлением в квазиустановившихся режимах.....	34
В.А. Попов, П.Я. Экель, В.В. Ткаченко, С. Банузаде Сахрагард. Учет фактора надежности электроснабжения при комплексной оценке вариантов интеграции источников распределенной генерации в распределительные сети.....	39
М.Д. Адамбаев, А.М. Ауэзова, А.М. Адамбаева. Энергоэффективная технология энергоемкого процесса измельчения.....	44
А.А. Копесбаева, Е.С. Ким, А.М. Ауэзова, З.В. Абдулина. Интеллектуальная система автоматического управления технологическими объектами на базе СПЛК SIMATIC S7-1200.....	49
А.А. Шамрай. Модель энергоэффективной системы автоматического регулирования многодвигательного промышленного агрегата.....	53
Р.В. Власенко, О.В. Бялобржеський. Оцінка складових потужності електричної мережі при роботі силового активного фільтру за стандартом IEEE 1459-2010.....	57
«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ –PEMS'15»	63
Є. А. Бондаренко, В. М. Кутін. Оцінювання ризику електротравматизму методом пробіт-аналізу для менеджменту з електробезпеки.....	63
О.Г. Бурдо, С.Г. Терзиев, Ю.О. Левтринская. Энергетические проблемы экономики Украины....	66
Г.Б. Параска, О.А. Миколюк. Оцінка ефективності використання електричних систем опалення....	73
В.П. Розен, Н.В. Давиденко Формування множини характеристик фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання.....	79
С. М. Константінов Механізм отримання роботи в термодинамічній системі.....	86
Л.В. Давиденко Принципи побудови інтегрованої системи моніторингу енергоефективності для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства.....	92
М.М. Шовкалюк, Н.О. Войналович Аналіз ефективності енергоспоживання та оцінка впливу експлуатаційних факторів навчальних корпусів.....	100
В. В. Літвінов, Я. С. Саченко. Нечітко-імовірнісний підхід до оцінювання надійності пристроїв релейного захисту.....	105
Основні засади редакційної політики.....	112
Вимоги до оформлення статей.....	113

CONTENTS

ENERGY SMART SYSTEMS – ESS'15

I. Tsmots, V. Teslyuk, A. Romanyuk, I. Vavruk. A fuzzy logic based navigation system for a mobile robot in uncertain environment.....	7
B.R. Rakishev, A.A. Kopesbayeva, A.M. Auezova, A.Y. Kuttybayev. Intelligent systems technologies of rock mass blasting preparation.....	11
V. Ulianova, O. Bogdan, A. Orlov, Yu. Yakimenko, G. Pashkevich, A. Zazerin. Combined system of energy conversion based on nanostructured materials.....	17
A.I. Zazerin, A.T. Orlov, O.V. Bogdan, V.O. Ulianova, Yu.I. Yakimenko. The modern security and monitoring complex for automated building management system.....	20
M. Medykovskyy, I. Tsmots, O. Skorokhoda, Y. Tsymbal. Intelligent power system's components based on the concept of Smart Grid.....	25
O. Sinchyk, S. Boiko, D. Mykhailychenko. The automatic control system of power supply of enterprises of the mining complex on the base of the wind energy complexes.....	33
P.P. Govorov, V.P. Govorov, O.V. Korol. Research work booster transformers with electronic control in a quasi steady-state modes.....	34
V.A. Popov, P.J. Ekel, V.V. Tkachenko, S. Banuzade Sakhragard. Taking into account the factor of power supply reliability for complex assessment of options of distributed generation integration in the distribution networks.....	39
M.D. Adambayev, A.M. Auezova, A.M. Adambayeva. The energy-efficient technology of power-intensive grinding process.....	44
A.A. Kopesbayeva, Y.S. Kim, A.M. Auezova, Z.V. Abdylina. Intellectual control system of technological objects based on SIMATIC S7-1200 PLC.....	49
O.A. Shamray. Model of power effective system of automatic control of the multi-engine industrial unit...	53
R.V. Vlasenko, O.V. Bialobrzieski. Estimate power to standard IEEE 1459-2010 at work active power filter.....	57
«ENERGY MANAGEMENT: THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT – PEMS'15»	63
E. Bondarenko, V. Kutin. Estimation of risk of the electro traumatism by the method it is probability - analysis for management from the electro security.....	63
O.G. Burdo, S.G. Terziev, Yu.O. Levtrinskaya. Energy problems of Ukrainian economy.....	66
G.B. Paraska, O.A. Mikolyuk. Estimation efficiency of use electric systems heating.....	73
V.P. Rozen, N.V. Davydenko Forming plural of characteristics of the real regime of water consumption in municipal water supply systems.....	79
S.M. Konstantinov. Obtains work a thermodynamic system.....	86
L.V. Davydenko. Principles of building integrated monitoring system of energy efficiency for water supply and sanitation enterprise.....	92
M. Shovkaliuk, N. Voinalovych. Analysis of energy efficiency and performance assessment of factors educational buildings.....	100
V. Litvinov, Ya. Sachenko. Fuzzy-probability approach for the reliability estimation of relay protection devices.....	105

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ – ESS'15 ENERGY SMART SYSTEMS – ESS'15

I. TSMOTS, V. TESLYUK, A. ROMANYUK, I. VAVRUK
Lviv Polytechnic National University

A FUZZY LOGIC BASED NAVIGATION SYSTEM FOR A MOBILE ROBOT IN UNCERTAIN ENVIRONMENT

The control system based on fuzzy logic that enables achieving goals by mobile robotic system in an uncertain environment with obstacles is proposed. We suggest to apply some additional behaviors such as “movement along the right wall” and “movement along the left wall” for implementation of mobile robot motion control. Fuzzy rules for each of behaviors units and speed control unit are realized. A method for coordination conflicts among behaviors is developed. The velocity control unit, which provides more accurate and rapid goal achievement by decreasing speed when obstacles or goal is near robotic system and increasing speed otherwise. References 9, tables 3, figures 2.

Keywords: mobile robotic system, fuzzy logic, uncertain environment, behavior-based control.

Introduction

Today, mobile robotic systems (MRS) can be used to implement a lot of tasks. It is important to ensure the autonomous motion of MRS at the environment with dynamically varying conditions or inaccurate information. Because of such systems can be applied for work in hazardous environments for people; for some objects investigation or transportation at warehouses and more. Different requirements are imposed to MRS depending on the task [5]. However, the basic requirements, applied to the operation of the robots, is to provide real-time operation, solving the tasks for the optimal number of steps, taking into account restrictions on size, power consumption and costs. It imposed certain requirements to the control algorithms of mobile robotic system motion and to the technical tools.

There are different approaches to the control of MRS motion. The selecting of the control method was defined basing upon the conditions of robotic systems operation: deterministic or nondeterministic, static or dynamic. The main raised problems were the necessary to ensure the operation of autonomous mobile robotic system in an uncertain environment. The intelligent control methods, such as: fuzzy logic, genetic algorithms and neural networks [2] are used for implementation of the motion control system of mobile robot, which operates in unknown and dynamic environments. The fuzzy logic control has some advantages. For example, it does not need the mathematical model of the controlled process [7] and can be used in development of a multi agent systems [10]. Therefore, the vital task is to provide autonomous movement to the goal of mobile robotic systems in uncertain environments with unknown parameters by using methods based on fuzzy logic.

Fuzzy logic control

There are several implementation approaches of mobile robot control system: reactive control, deliberative control, hybrid control and behavior-based control [6]. We suggest to use a behavior-based control system for the implementation of MRS motion control. Such approach integrates several behaviors of mobile robots that can be implemented simultaneously and can enable the robotic system adaption for any tasks performing by adding extra behaviour. Compared to other approaches, this one provides developing more complex and fast control systems.

In many cases, for implementation of mobile robot motion control only two behaviors are used: “movement to the goal” and “obstacle avoidance” [1, 8]. We suggest to apply some additional behaviors such as “movement along the right wall” and “movement along the left wall”. The motion behaviors of mobile robotic system “movement along the right wall” and “movement along the left wall” are mostly used when it is necessary to move indoor along the wall or along some corridors. The implementation of these behaviors provides smoothing motion trajectory of MRS in the environment with many obstacles. Moreover, these behaviours ensure the passage U-shaped obstacles by mobile robotic system, which is difficult or impossible by using only the behavior “obstacle avoidance”. Moreover, the motion control system of mobile robot must take into account the velocity and parameters changing. Velocity control unit operates in the following way: if the distance to the goal of MRS is large and there are no obstacles near, the mobile robot is moving fast, otherwise the velocity of mobile robotic

system is slow. This provides accuracy and performance increasing while achieving goal. The implementation of each behaviour is fulfilled by separate method based on the fuzzy logic.

To achieve the proposed task, which is moving to the goal while avoiding obstacles, it is necessary to define what obstacle and goal are. In particular, in [9] the goal and obstacles definition are determined by using the camera only without additional sensors. In [3] is the input variables: the angle between the robot's current heading and the location of the goal and the distance to any nearby obstacles by using sensors. In [4] the integrating ultrasonic sensors and the vision system is proposed. The ultrasonic sensors provide distance information between the robot and obstacles for behavior control of the mobile robot. While the vision system identifies some subgoals for determining a good motion direction to reach the goal.

We propose to use, as input variables, the distance to obstacles which is derived from ultrasonic sensors while robotic system motion. The distance to the goal from MRS and rotation angle relative to mobile robotic system are used for goal determination. At each step during the movement of MRS the distances to the obstacles are received by distance sensors and the new value of the rotation angle to the goal is calculated. These three sensors that determine the distance to obstacles which locate at the front of MRS, at the right and at the left is proposed to use.

To implement such behaviors as “obstacle avoidance”, “movement along the right wall” and “movement along the left wall” the input linguistic variables “distance to obstacles at front”, “distance to obstacles from the right” and distance to obstacles from the left ” that determine the distance to obstacles are used. The set of linguistic variables values is given as {«Small», «Average», «High»}, denoting small, medium and large distance to the obstacle respectively. To implement the behavior “movement to the goal” the input linguistic variable “angle error” that defines the angle, calculated as the difference between the desired heading required to reach the goal and the actual current heading of MRS, is used. The set of linguistic variable values is given as {«Negative», «Zero», «Positive»}, denoting, respectively, the goal location on the right, directly in front and on the left of the mobile platform. The output linguistic variable of each of behaviors determines the angle of rotation of the MRS.

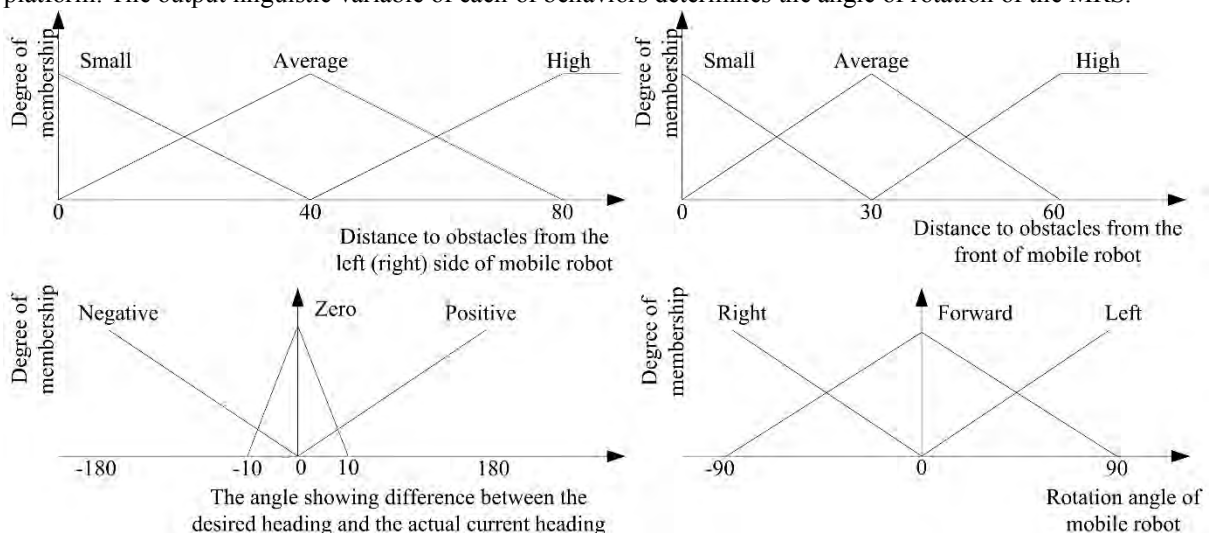


Fig. 1. Graphical representation of membership functions for input and output linguistic variables

The set of linguistic variable values is presented as {«Left», «Forward», «Right»}, denoting respectively turn to the left, move forward and turn to the right. To represent linguistic variables we propose to use the triangular membership functions. Figure 1 views the graphical representation of membership functions of input and output linguistic variables. Databases of fuzzy rules, which represent behaviors of mobile robotic system motion, are shown at tables 1-2.

A key issue in behavior of based control is how to coordinate conflicts among behaviors efficiently. The selection of only one behavior at each step has such disadvantage as the trajectory of MRS, which is not optimized. For example, when there is any obstacle during movement to the goal, MRS can pass it as from the right side or from the left. In this case the behavior with the highest priority is chosen among all other behaviors. When “obstacle avoidance” behavior is selected, than the goal position is not considered. Therefore, in some cases, this leads to the inefficient outcome.

We propose to use a method to determine the effective rotation angle of MRS, which is a linear combination of rotation angles that are obtained at different behaviors and activation coefficients, which represent the degree of activation for each behavior.

The implementation of activation coefficients is developed with the method use, based on fuzzy logic. The input linguistic variables, which are used to define the activation coefficients, are the same as for behaviors as

“distance to obstacles at front”, “distance to obstacles from the right”, “distance to obstacles from the left” and “angle error”. The activation coefficients values are ranges from zero to one.

Table 1

<i>Fuzzy rules for the obstacle avoidance behavior</i>			
Input			Output
Distance to obstacles from the right	Distance to obstacles at front	Distance to obstacles from the left	Rotation Angle
Small	Small		Left
Small	Average	Small	Forward
Small	Average	Average	Left
Small	Average	High	Left
	High		Forward
Average	Small	Small	Right
Average	Average	Small	Right
Average	Small	Average	Left
Average	Small	High	Left
Average	Average	Average	Forward
Average	Average	High	Left
High	Small	Small	Right
High	Small	Average	Right
High	Small	High	Left
High	Average	Small	Right
High	Average	Average	Right
High	Average	High	Forward

Table 2

<i>Fuzzy rules for movement along the right wall behavior</i>			
Input			Output
Distance to obstacles from the right	Distance to obstacles at front	Distance to obstacles from the left	Rotation Angle
Small	Small		Left
Small	Average		Forward
Small	High		Forward
Average			Right
High			Right
<i>Fuzzy rules for movement along the left wall behavior</i>			
Input			Output
Distance to obstacles from the right	Distance to obstacles at front	Distance to obstacles from the left	Rotation Angle
	Small	Small	Right
	Average	Small	Forward
	High	Small	Forward
		Average	Left
		High	Left

Table 3

Input					Output
Rotation Angle	Distance to obstacles from the right	Distance to obstacles at front	Distance to obstacles from the left	Distance to goal	Velocity
				Small	Slow
Right	Small				Slow
Forward		Small			Slow
Left			Small		Slow
Right	Average			Medium	Average
Right	High			Medium	Average
Forward		Average		Medium	Average
Forward		High		Medium	Average
Left			Average	Medium	Average
Left			High	Medium	Average
Right	High			Far	Fast
Forward		High		Far	Fast
Left			High	Far	Fast

To implement the velocity control unit, the following input linguistic variables were used: “distance to goal” with the set of values which is given as {«Small», «Medium», «Far»}. They describe the small, medium and large distance to the goal, distance to obstacles, which are received from sensors and effective rotation angle of mobile robotic system, which is received with the usage of proposed method. The output linguistic variable is a variable that determines the velocity of mobile robot with the set of values, {«Slow», «Average», «Fast»}, denoting respectively low, medium and high speed. Databases of fuzzy rules, which represents velocity control unit, is shown in Table 3. The empty cells mean that linguistic variables can take any of their values.

We provide the simulation of motion control system of mobile robot with the usage of software Visual Studio 2010. In Fig. 2 the trajectory of mobile robot to fixed goal at different environments is represented.

The figure confirms the fact that in both cases goal is achieved. If there is too short distance to the obstacle or to the goal, the velocity of robotic system decreases. If there is the long distance the goal or to the obstacles velocity increases. This provides increasing the performance and accuracy of MRS.

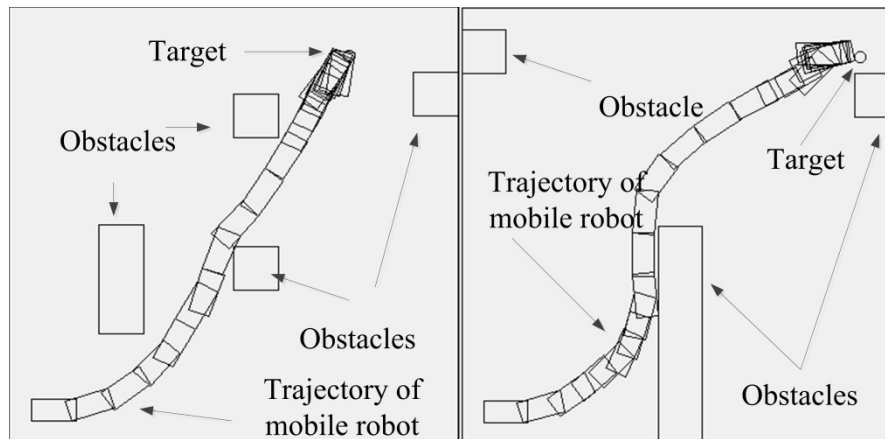


Fig.2. The trajectory of mobile robot to a fixed goal

Conclusion

In this paper the implementation of a mobile robotic system motion control, that enables achieving goal in an uncertain environment with obstacles, is examined. For this purpose, the implementations of the four behaviors are developed. The velocity control unit, which provides more accurate and rapid goal achievement by decreasing speed when obstacles or goal is near robotic system and increasing speed otherwise are developed too.

References

1. *Farooq, U., Hasan, K. M., Hanif A., Amar, M., Asad M.U.*, Fuzzy Logic Based Path Tracking Controller for Wheeled Mobile Robots, *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 6 (2014), No. 2, 145-150
2. *Hairol Nizam Mohd. Shah, Marizan Sulaiman, Syed Najib Syed Salim*, Fuzzy Logic Approach for Mobile Robot in Intelligent Space, *Journal - The Institution of Engineers*, 68 (2007), No.4, 38-45
3. *Leyden M., Toal D., Flanagan C.*, A fuzzy logic based navigation system for a mobile robot, In *Automatisierung symposium*, Wismar 1999
4. *Li W.*, Fuzzy Logic Based Robot Navigation in Uncertain Environments by Multisensor Integration, *Proc. IEEE Internat. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for intelligent Systems*, Las Vegas, Nevada, USA, P.259-264, 1994
5. *Montiel O., Sepulveda R., Murcio I., Orozco-Rosas U.*, Geo-Navigation for a Mobile Robot and Obstacle Avoidance Using Fuzzy Controllers, *Recent Advances on Hybrid Approaches for Designing Intelligent Systems Studies in Computational Intelligence*, 547(2014), 647-669
6. *Nakhaeinia D., Tang S. H., S. Mohd Noor B., Motlagh O.*, A review of control architectures for autonomous navigation of mobile robots, *International Journal of the Physical Sciences*, 6 (2011), No. 2, 169-174
7. *Nazemizadeh, M., Taheri, M., Nazeri, Sh.*, The application of fuzzy-logic method to control of robots: a review study, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 3(2014), No.2, 229-238
8. *Pandey, A., Parhi, D.R.*, MATLAB Simulation for Mobile Robot Navigation with Hurdles in Cluttered Environment Using Minimum Rule Based Fuzzy Logic Controller, *Procedia Technology*, 14 (2014), 28-34
9. *Pukach, A. I., Teslyuk, V. M., Tkachenko, R. O., Ivantsiv R.-A.*, Implementation of neural networks for fuzzy and semistructured data, 11-th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, pp. 350-352, 2011
10. *Solano-Aragón Cinthya, Alanis Arnulfo* Multi-Agent System with Fuzzy Logic Control for Autonomous Mobile Robots in Known Environments, *Evolutionary Design of Intelligent Systems in Modeling, Simulation and Control Studies in Computational Intelligence Volume 257*, 2009, pp 33-52

УДК 004.896

І. ЦМОЦЬ, д-р техн. наук, проф., **В. ТЕСЛЮК**, д-р техн. наук, проф.,
А. РОМАНЮК, канд. техн. наук, доц., **І. ВАВРУК**, асп.

Національний університет "Львівська політехніка"

**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ МОБІЛЬНОГО
РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ В СЕРЕДОВИЩІ, ЩО СПОСТЕРІГАЄТЬСЯ ЧАСТКОВО**

Пропонується система управління на основі нечіткої логіки, яка дозволяє мобільному робототехнічному комплексу досягати поставлених цілей в середовищі, яке спостерігається частково. В системі управління базові поведінки запропоновано розширити поведінками “рух вздовж стіни справа” та “рух вздовж стіни зліва”, які використовуються при оминанні перешкод. Для кожної з поведінок та для контролю швидкості розроблені набори нечітких правил та реалізовано метод уникнення конфліктів при координації поведінок. Блок керування швидкістю реалізовує більш точне і швидке досягнення цілей шляхом зменшення швидкості при наближенні до перешкоди або цілі та збільшення швидкості в іншому випадку. Бібл. 10, табл. 3, рис. 2.

Ключові слова: мобільний робототехнічний комплекс, нечітка логіка, середовище що спостерігається частково, управління на основі поведінок.

УДК 004.896

И. ЦМОЦЬ, д-р техн. наук, проф., **В. ТЕСЛЮК**, д-р техн. наук, проф.,
А. РОМАНЮК, канд. техн. наук, доц., **И. ВАВРУК**, асп.
Национальный университет “Львовская политехника”

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ЧАСТИЧНО НАБЛЮДАЕМОЙ СРЕДЕ

Представляется система управления на основе нечеткой логики для достижения целей мобильным робототехническим комплексом в частично наблюдаемой среде. Базовые поведения в системе управления расширены дополнительными поведением “движение вдоль стены справа” и “движение вдоль стены слева”, которые будут использоваться для обхода препятствий. Для каждого из поведений и для контроля скорости разработаны набор нечетких правил. Также разработан метод избежания конфликтов при координации поведений. Блок управления скоростью реализовывает более точное и быстрое достижение целей с помощью уменьшения скорости при приближении к препятствию или цели и увеличения скорости в противном случае. Библ. 10, табл. 3, рис. 2.

Ключевые слова: мобильный робототехнический комплекс, нечеткая логика, частично наблюдаемая среда, поведенческое управление.

Надійшла 15.04.2015

Received 15.04.2015

УДК 62519

Б.Р. РАКИШЕВ¹, акад. НАН РК, д-р техн. наук, проф., **А.А. КОПЕСБАЕВА**², канд. техн. наук, доц.,
А.М. АУЭЗОВА², канд. техн. наук, **А.Е. КУТТЫБАЕВ**¹, канд. техн. наук

¹ Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

² Алматинский университет энергетики и связи,

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЙ ВЗРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ ГОРНЫХ ПОРОД

Подготовка высококвалифицированных кадров в технических ВУЗах будет неполной, если обучающиеся (бакалавры, магистранты и докторанты) не имеют возможности тестировать модели технологических и производственных процессов, так как они не в состоянии определить структуру и параметры данных процессов по каналам управления и оценить уравнение взаимосвязи входных и выходных координат наглядно, в связи с этим, такой специалист не может грамотно эксплуатировать (управлять) функционирующим производством, а тем более создавать и проектировать новые более эффективные технологии и системы управления ими. Современные SCADA – системы (Supervisory Control and Data Acquisition) – позволяют разрабатывать виртуальные модели различной сложности, максимально приближенные к реальным технологическим и производственным процессам, контроллерное управление данными процессами, визуализацию и возможность тестировать изменения параметров технологического процесса в режиме реального времени для использования в соответствующих учебных работах по профилирующим дисциплинам технических специальностей ВУЗов. В данной статье рассматривается исследование сложноструктурных блоков в условиях карьера, разработка программно-технических комплексов для определения внутренней структуры развала пород и их горно-технологических характеристик, параметров буровзрывных работ, визуализация в режиме реального времени массива пород при различных параметрах взрывания на основе современных SCADA – систем.

© Б.Р. Ракишев, А.А. Копесбаева, А.М. Ауэзова, А.Е. Куттыбаев, 2015

Ключевые слова: SCADA-система, компьютерное моделирование, автоматизированное проектирование, программируемые логические контроллеры, объекты горной технологии, параметры расположения зарядов.

Исследованиям различных аспектов открытой разработки сложноструктурных месторождений руд цветных, благородных и редких металлов посвящено много работ. В них большое внимание уделяется роли взрывных работ в обеспечении требуемого качества дробления и размещения разнородных руд в развале. Однако взаимосвязь между исходными геолого-морфологическими данными, параметрами расположения зарядов, технологией взрывных работ и их конечными результатами в этих источниках не раскрыта, что требует проведения соответствующих исследований.

При взрывных работах на карьерах происходит разрушение горного массива, следствием чего является трансформация внутренней структуры взрывающего участка. В зависимости от параметров расположения скважинных зарядов в массиве, последовательности их инициирования, способа взрывания можно достичь различных результатов в указанном направлении. Эффективное ведение добычных работ и рациональное использование минеральных ресурсов основывается на идентификации закономерностей размещения полезных ископаемых в массиве и развале, оперативном управлении процессами, обеспечивающих стабильное качество добываемой руды. В связи с этим разработка программно-технических комплексов с интегрированной SCADA-системой, на основе параметров расположения зарядов в сложноструктурном блоке, размещении разнородных пород сложноструктурных блоков в развале с учетом их горно-технологических характеристик является актуальной [1].

В настоящее время является актуальной проблема создания автоматизированных систем расчета параметров взрывных работ и проектирования массовых взрывов, а также автоматизированных систем анализа данных о структуре и механических свойствах разрушаемой среды. Для этих целей разработана интеллектуальная система компьютерного моделирования объектов горной технологии в программной среде Unity Pro и на ее основе компьютерная технология автоматизированного расчета и проектирования открытых массовых взрывов любой сложности, основанная на моделировании объектов горной технологии, интерактивной графике, компьютерных средств обработки результатов моделирования и формирования рабочих чертежей и технической документации. Основное преимущество данной технологии заключается в системном подходе при решении геологических, маркшейдерских и технологических задач, обеспечивающих реализацию программных средств проектирования в едином информационном пространстве горного предприятия.

Программный пакет может являться частью автоматизированной системы управления технологическим процессом, научного эксперимента, производственного процесса и т. д. Программное обеспечение может быть установлено на компьютеры, для связи с объектом используются программируемые логические контроллеры (ПЛК), драйверы ввода-вывода или OLE (Object Linking and Embedding for Process Control/Dynamic Data Exchange (OPC/DDE)) серверы. Программный код может быть, как написан на языке программирования, так и сгенерирован в среде проектирования.

Данный программный пакет решает следующие задачи: обмен данными с «устройствами связи с объектом», (то есть с контроллерами и платами ввода/вывода) в реальном времени через драйверы; обработка информации в реальном времени; логическое управление; отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для человека форме; ведение базы данных реального времени с технологической информацией; аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями; подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического или производственного процесса; обеспечение связи с внешними приложениями (системы управления базами данных, электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.).

В системе управления предприятием такими приложениями чаще всего являются приложения, относимые к уровню MES – систем (Manufacturing Execution System) – специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства [2,3].

Проведенный анализ научно-технической литературы и опыт отечественной и зарубежной практики горнодобывающих предприятий показывает, что при разработке сложноструктурных месторождений открытым способом от результатов их взрывной подготовки к выемке зависят не только высокопроизводительная работа выемочно-погрузочного, транспортного и дробильного оборудования, но и количественные и качественные потери полезного ископаемого, а также энергозатраты на производстве.

Взрывная подготовка сложноструктурных блоков к выемке должна отвечать следующим требованиям: обеспечить равномерное качественное дробление взорванной горной массы, что предопределяет объем и качество сложной селекции; обеспечить необходимые технологические параметры развала взорванной горной массы; обеспечить наименьшее перемешивание дробления в процессе взрыва различных сортов руды между собой и с пустыми породами; придать рудному телу (включениям) в развале форму, удобную

для обособленной выемки с наименьшими количественными и качественными потерями; уменьшить энергозатраты на производстве.

В связи с изложенным, целью наших работ является разработка программно-технических комплексов проектирования параметров буровзрывных работ, визуализация в режиме реального времени моделей развала взорванной горной массы при различных способах взрывания; прогнозирование размещения разнородных пород сложноструктурного блока в развале. Разработка рекомендаций по минимизации количественных и качественных потерь при отработке сложноструктурных блоков. Кроме того, наблюдать реальный эксперимент в производственных условиях, как правило, недоступно, а на виртуальных стендах можно один и тот же эксперимент запустить несколько раз в режиме реального времени, изменив его параметры, и сравнить результат.

Указанные задачи успешно могут быть решены с использованием модели поэтапного разрушения пород уступа при взрыве скважинных зарядов, разработанной Б.Р. Ракишевым [4].

Эмпирические зависимости содержат коэффициенты, использование которых дает лишь ориентировочные значения интервала. Положив в основу методику расчета параметров БВР, базирующуюся на учете физико-механических свойств пород и детонационных характеристик ВВ, можно установить рациональные параметры БВР, не прибегая к реальному эксперименту. В свою очередь это позволит улучшить подготовку высококвалифицированных кадров в технических высших учебных заведениях (ВУЗ) [1].

Программно-технический комплекс системы автоматизированного проектирования расчета БВР нагляден, удобен в использовании и имеет несложный интерфейс. Программа системы автоматизированного проектирования БВР позволяет оперативно рассчитать параметры БВР для составления паспорта на бурение скважин и проектирования массового взрыва в конкретных производственных условиях, а также визуализировать результаты БВР и генерировать рекомендации по уменьшению количественных и качественных потерь.

Возможности интегрированных SCADA-систем обширны, кроме приложенных непосредственно к программной среде библиотек различных приборов и устройств, они позволяют также произвольно создавать объекты любой сложности, программировать принципы функционирования различных процессов и виртуально запускать в режиме реального времени, с учетом всех факторов исследуемого процесса.

Описание алгоритма программы:

1. Начало.

2. Вводятся исходные данные: ρ_0 - плотность породы, кг/м³; c - скорость звука в породе, м/с; ν - коэффициент Пуассона; $\sigma_{сж}$ - предел прочности на сжатие, Па; σ_p - предел прочности на растяжение, Па; $\rho_{вв}$ - плотность взрывчатого вещества, кг/м³; D - скорость детонации, м/с; H - высота взрываемого блока, м; d_0 - диаметр скважины, м; p - вместимость единицы длины скважины, кг/м.

3. Определяются: P_c - прочностная характеристика среды, Па; P_n - начальное давление продуктов детонации, Па.

4. Определяются: \bar{r}_{no} - относительный предельный радиус полости; r_{np} - предельный радиус полости, м; r_2 - радиус зоны мелкого дробления, м; r_1 - радиус зоны радиальных трещин, м.

5. Определяются: W - линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП), м; a - расстояние между скважинами, м; a_p - расстояние между рядами скважин, м; h_z - длина заряда над уровнем подошвы уступа, м; l_2 - длина незаряженной части скважины, м; l_n - длина перебура скважины, м.

6. Определяются: l_1 - длина заряда в скважине, м; l_c - глубина скважины, м; $h_{вн}$ - длина промежутка между частями заряда, м; n - число частей заряда.

7. Определяются: Q - масса заряда в скважине, кг; u - скорость перемещения стенок полости, м/с; τ - время замедления, с; q_p - удельный расход ВВ, кг/м³.

8. Выводятся на экран результаты вычислений и визуализация уступа.

9. Конец.

Программный интерфейс проектирования автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУТП) с использованием интегрированной SCADA-системы Unity Pro (Schneider Electric), предполагает использование браузера проекта, который предназначен для разработки структуры проекта и математической основы обработки данных и управления. Использование редактора представления данных служит для разработки графической составляющей проекта. Применения новейших информационных технологий и программных продуктов, которые дают возможность успешного использования прикладных методов идентификации промышленных объектов разных классов с

алгоритмами их реализации для получения не только качественных, но и количественных моделей исследуемых объектов, повышает эффективность управления сложными промышленными объектами.

Unity Pro - это программная среда конфигурирования, программирования, отладки и диагностики исполнительных систем промышленных контроллеров Modicon производства Schneider Electric: Modicon M340, TSX Premium (включая Atrium) и Quantum. Единая программная среда - "все в одном", 5 языков стандарта МЭК 61131-3, встроенная адаптируемая Библиотека Функциональных Блоков (Derived Function Block (DFB)), симулятор программируемого логического контроллера ПЛК в персональном компьютере для отладки программ, встроенная диагностика, полный набор онлайн сервисов [2,5].

Необходимо создать проект в среде Unity Pro, а затем конфигурацию контроллера Modicon M340 с процессором PLC BMX P34 2020, добавить дискретный модуль DDM 3202K в слот 1, дискретный модуль DDO 3202K в слот 2, аналоговый модуль AMI 0410 в слот 3, аналоговый модуль AMO 0410 в слот 4 [2]. Расчет произведен на примере диоритовых порфиров Сербайского месторождения. Все данные вводятся в символьную таблицу переменных Elementary Variables. На рисунке 1 представлено рабочее поле программы автоматизированного проектирования буровзрывных работ (БВР).

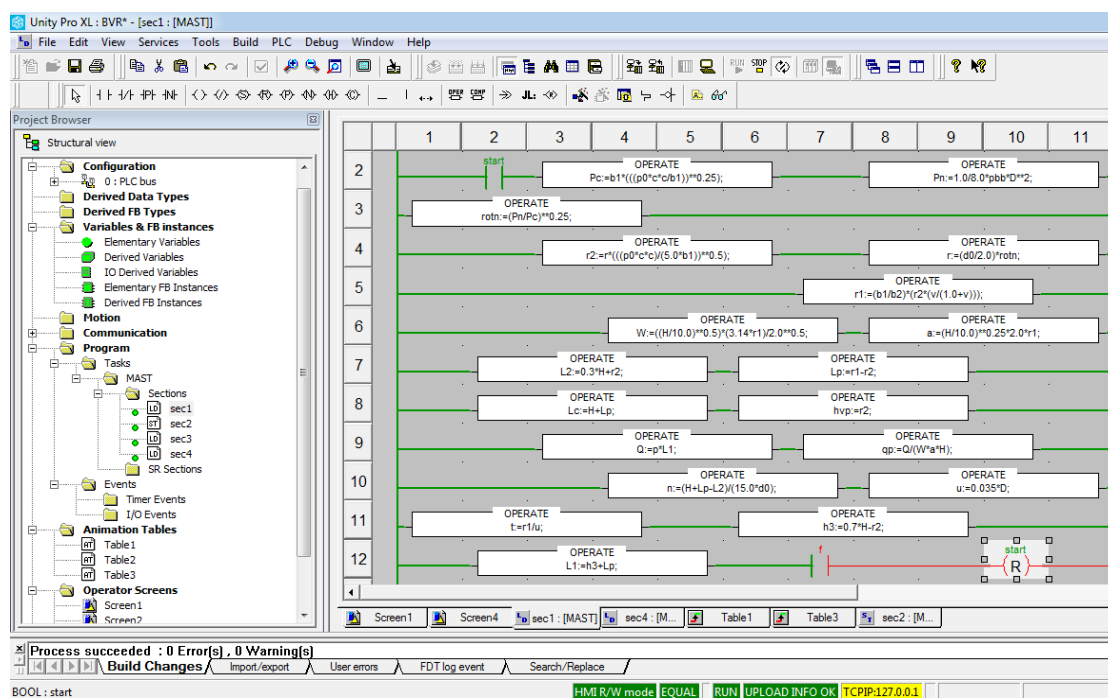


Рисунок 1 - Рабочее поле программы на языке LADDER (LD)

После запуска программы открывается следующее окно и вводятся соответствующие данные: плотность породы ρ_0 , кг/м³; скорость звука в породе c , м/с; коэффициент Пуассона ν ; предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, Па; предел прочности на растяжение $\sigma_{раст}$, Па; плотность применяемого взрывчатого вещества; $\rho_{вв}$ кг/м³; скорость детонации D , м/с; высота уступа H , м; диаметр скважины d_0 , м; вместимость единицы длины скважины p , кг/м.

После ввода всех данных можно их либо изменить, либо произвести расчет, нажимая соответствующую кнопку «данные введены». В итоге программы появляется окно с выводом всех результатов, прорисовываются контуры массива в соответствии с расчетными параметрами. Далее можно произвести расчет заново нажатием на опцию «начать заново» или изменить какие-либо данные, представлено на рисунке 2.

Данные также можно ввести и посредством анимационной таблицы. Выводы результатов также регистрируются в этой таблице и изменяются в режиме реального времени, показано на рисунке 3.

Тестовые результаты совпадают с результатами из контрольного примера, что подтверждает работоспособность программы и ее пригодность для использования.

Обширная научно-техническая литература затрагивает, в основном, лишь некоторые узкоспецифические вопросы и ограничивается рассуждениями общего характера на основе сложных математических выкладок, которые не очень хорошо воспринимаются обучающимися, и не дают конкретных рекомендаций по их прикладному использованию, а также наглядной демонстрации реальных производственных и технологических процессов и влияния изменения некоторых параметров в режиме реального времени на конечный результат (продукт). В связи с этим создание виртуальных моделей в

интегрированной SCADA-системе, имитирующих реальные технологические и производственные процессы, контроллерное управление данными процессами, визуализацию в режиме реального времени является необходимым требованием при исследовании современных процессов.

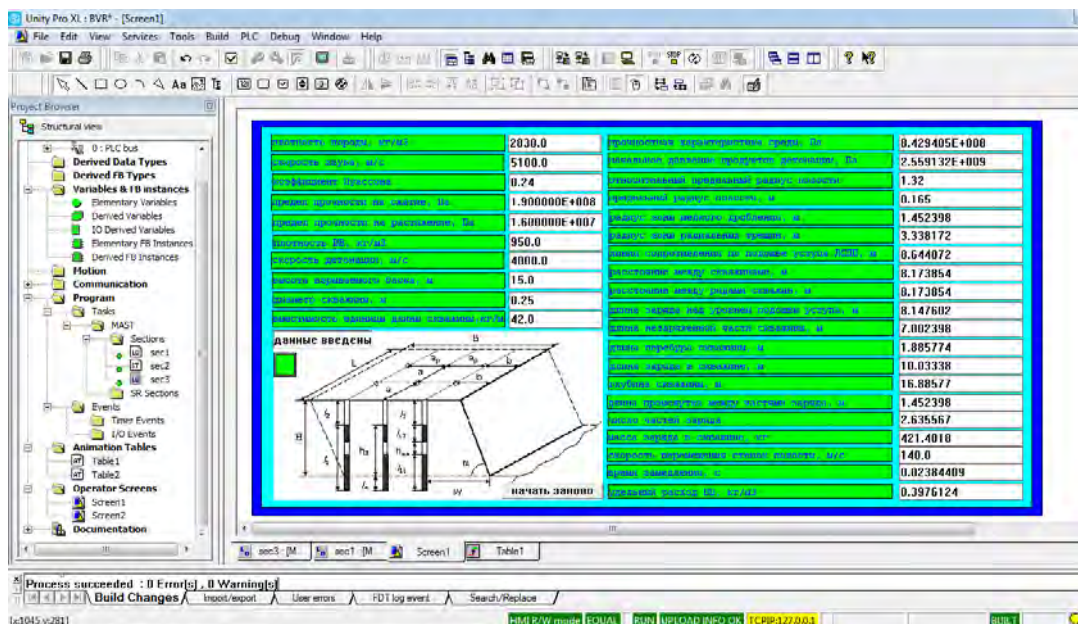


Рисунок 2 - Окно вывода результатов

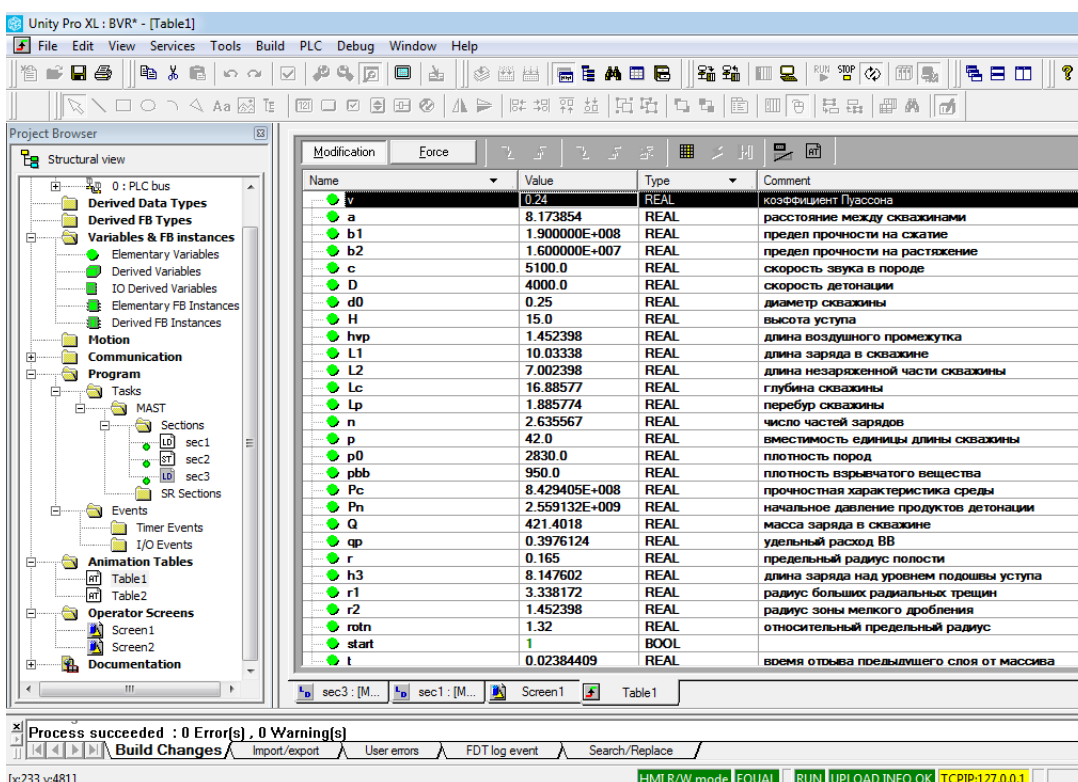


Рисунок 3 - Анимационная таблица ввода данных и вывода результатов

Выводы

1. Исследование и разработка программного пакета проектирования параметров буровзрывных работ, визуализация моделей массива пород при различных параметрах взрывания в режиме реального времени.
2. Прогнозирование размещения разнородных пород сложноструктурного блока в развале.
3. Разработка рекомендаций по минимизации количественных и качественных потерь при отработке сложноструктурных блоков.

Список литературы

1. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б., Ауэзова А.М., Дауренбекова А.Н. Регрессионные модели разноразмерных массивов пород. // Вестник Казахского национального технического университета. – 2013. - № 6 (100). - С. 104-110.
2. Платформа автоматизации Modicom M340. Каталог Schneider Electric 2009.
3. Адамбаев М.Д., Ауэзова А.М. Use of the Programmable Logical Controllers in Studies Technical Specialties of Higher Education Institutions. // “Modern Science: Problems and Perspectives” International Conference, Las Vegas, NV, April 15, 2013. International Center for Education & Technology, USA. С. 337-339.
4. Ракишев Б.Р. Автоматизированное проектирование параметров и результатов массовых взрывов на карьерах. – Казахстан, Алматы: КазНТУ, 2006. - 110 с.
5. Адамбаев М.Д., Ауэзова А.М. Programming controllers and visualization in the software environment Unity Pro. // The 11th International Scientific Conference “Information Technologies and Management”, 18-19 april 2013. Riga. С. 74-76.

B.R. RAKISHEV¹, A.A. KOPESBAYEVA², A.M. AUEZOVA², A.Y. KUTTYBAYEV¹

¹ K.I. Satpayev Kazakh National Technical University

² Almaty University of Power Engineering & Telecommunications

INTELLIGENT SYSTEMS TECHNOLOGIES OF ROCK MASS BLASTING PREPARATION

Training of highly qualified personnel at Higher Educational Institutions will be incomplete if students (bachelors, masters and doctors) don't have the opportunity to test modules of technological and production processes, as they would not be able to determine the structure and parameters of these processes via control channels and estimate the equation of relationship of input and output coordinates graphically/visually, consequently, such personnel cannot operate (manage) production, much less create and design new more efficient technologies and control systems thereof. Modern supervisory control and data acquisition systems (SCADA) — allow developing virtual models of different complexity most closely resembling actual technological and production processes, controller management of such processes, visualization and opportunity of testing parameters changes of technological processes in real time mode for use in corresponding training researching in major technical specialties at HEI. This article considers the research of complex structured blocks in quarry conditions, development of software hardware complexes for determination of internal structure of debris and their rock processing characteristics, parameters of drilling and blasting operations, and visualization in real time mode of rock mass with different blasting parameters based on modern SCADA systems.

Key words: SCADA-system, computer modeling, computer-aided design, the objects of mining technology, parameters of the charge location.

References

1. Rakishev B.R., Rakisheva Z.B., Auezova A.M., Daurenbekova A.N. The regression models of different block-sizes rock massifs. // Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. - 2013. – № 6 (100). - P. 104–110 (Rus.).
2. Automation Platform Modicom M340. Schneider Electric catalog 2009 (Rus.).
3. Adambaev M.D., Auezova A.M. Use of the Programmable Logical Controllers in Studies Technical Specialties of Higher Education Institutions. // “Modern Science: Problems and Perspectives” International Conference, Las Vegas, NV, April 15, 2013. International Center for Education & Technology, USA. P. 337-339.
4. Rakishev B.R. Automated designing of parameters and large scale blasts results in quarries. - Kazakhstan, Almaty: KazNTU, 2006. - 110 p (Rus.).
5. Adambaev M.D., Auezova A.M. Programming controllers and visualization in the software environment Unity Pro. // The 11th International Scientific Conference “Information Technologies and Management”, 18-19 april 2013. Riga. P. 74-76.

Надійшла 14.04.2015

Received 14.04.2015

В.О. УЛЬЯНОВА¹, О.В. БОГДАН², А.Т. ОРЛОВ¹, канд. техн. наук,
Ю.І. ЯКИМЕНКО¹, д-р техн. наук, Г.А. ПАШКЕВИЧ, канд. фіз.-мат. наук, А.І. ЗАЗЕРІН¹

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

² Науково-дослідний інститут прикладної електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КОМБІНОВАНА СИСТЕМА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розроблено конструкцію комбінованої системи перетворення енергії сонячного випромінювання та енергії механічних коливань на основі наноструктурованого оксиду цинку. Представлено експериментальні результати створення комірки перетворення енергії механічних коливань та тестування. Показано, що розроблена комірка на основі наноструктурованого оксиду цинку може бути успішно використана для створення системи перетворення енергії з широкими потенційними можливостями застосування у системах енергоживлення та управління. Бібл. 8, рис. 2.

Ключові слова: п'єзоелектричний перетворювач, наноструктурований оксид цинку, комбіновані перетворювачі енергії

На сучасному етапі розвитку техніки і технології актуальною проблемою є створення універсальних високоефективних систем перетворення енергії для мікро- і наноелектронних пристроїв – мобільних пристроїв зв'язку, вуличного, тротуарного і архітектурного освітлення, електронних замків, пристроїв контролю доступу, систем стеження, бездротових електронних та медичних систем. Новітні високоефективні системи перетворення енергії є необхідними в конструкціях бездротових сенсорів фізичних величин і систем безпеки з потенційними застосуванням у системах управління будівлею.

В якості джерел живлення переважної більшості пристроїв використовують гальванічні або акумуляторні батареї, застосування яких у випадках бездротових або медичних приладів може бути дорогим, не завжди зручним, неможливим, а у випадках приладів *in vivo* – навіть небезпечним. Активно розробляються та впроваджуються пристрої вітроенергетики [5] та фотовольтаїки [6]. Значна початкова вартість, а разом з тим досить великий термін окупності таких пристроїв зумовлені використанням дорогих матеріалів і енергоємних технологічних підходів при виготовленні, а стабільність і ефективність перетворювачів відновлюваної енергії залишається невисокою. Фотоелектричні перетворювачі другого і третього покоління [3], вартість яких значно нижче, характеризуються малим ККД, нестабільні, а сенсифіковані барвником перетворювачі [1] містять леткі органічні сполуки, використання яких ускладнює технологію виготовлення та зумовлює забруднення навколишнього середовища. Фотоелектричні перетворювачі гібридного типу поєднують декілька механізмів перетворення енергії та є перспективними пристроями фотовольтаїки завдяки невисокій вартості, розвитку новітніх перспективних матеріалів, і прогнозованому найближчим часом підвищенню ККД перетворення [2].

Серед інших відомих перетворювачів механічної енергії в електричну, п'єзоелектричні перетворювачі мають найбільшу густину енергії, технологічні і найбільш перспективні для використання у якості мініатюрних систем перетворення енергії. П'єзоелектричний матеріал оксид цинку (ZnO) є нетоксичними і має відносно великий коефіцієнт електромеханічного зв'язку, в той час як вміст великої кількості (до 70 вагових %) свинцю в сучасних найбільш ефективних п'єзоелектричних матеріалах PZT і PMN-PT обмежує їх виготовлення у великих обсягах і створює труднощі при утилізації, а полімерні п'єзоелектрики мають дуже низькі п'єзоелектричні коефіцієнти. Дослідженню механічних і пружних властивостей наноструктурованого ZnO присвячено багато теоретичних та практичних робіт, оскільки отримання такого матеріалу за допомогою дешевих технологій синтезу та його властивості відкривають значний потенціал для використання у якості мультифункціонального матеріалу сенсорів та приладів накопичення і перетворення енергії [3, 8].

Перехід оксиду цинку в нанорозмірний стан супроводжується зміною ряду існуючих і появою принципово нових функціональних властивостей. Спостерігається різке підвищення ефективності механоелектричного перетворення за рахунок зниження ефективної діелектричної проникності і підвищення пружної податливості в композитах на його основі. При зменшенні діаметра стрижневих гексагональних структур до одиниць-десятків нанометрів починають проявлятися розмірні ефекти, що призводять до збільшення п'єзокоєфіцієнтів в 10...200 разів. Зменшення монокристалів оксиду цинку до

нанорозмірів, призводить до проявлення квантоворозмірних ефектів і, відповідно, істотної зміни фотофізичних і фотохімічних властивостей даного матеріалу. Такі властивості, як висока рухливість електронів, висока енергія екситонного збудження, висока площа поверхні наноструктурованого оксиду цинку дозволяють застосовувати цей матеріал в конструкціях гібридних фотоелектричних перетворювачів – пристроїв фотовольтаїки третього покоління. Комбінування наноструктур оксиду цинку з сучасними органічними полімерними матеріалами дозволяє знизити вартість фотоелектричних перетворювачів з одночасним підвищенням ККД за рахунок високої ефективності генерації зарядів. Спектр оптичного поглинання такого перетворювача захоплює УФ область спектру випромінювання і може доходити до ІЧ області. Таким чином, виникає можливість створювати комбіновані системи перетворення декількох видів енергії на основі одного мультифункціонального матеріалу.

Структура системи одночасного перетворення енергії навколишнього середовища за рахунок комбінування п'єзоелектричних і напівпровідникових властивостей єдиного функціонального матеріалу – це багат шарова структури на основі такого матеріалу, що дозволяє реалізувати отримання електричної енергії, використовуючи паралельно два принципи: 1) генерація електричної енергії за рахунок п'єзоелектричного перетворення механічної енергії вібрацій і руху повітря, 2) генерація електричної енергії за рахунок перетворення сонячної енергії за допомогою фотоелектричного перетворювача.

Для синтезу наноструктурованого мультифункціонального матеріалу використовують нанотехнологічний підхід «знизу вгору», який характеризується низькою вартістю в порівнянні з дорогими мікроелектронними технологіями (вакуумне нанесення, фотолітографія і т.п.), і недорогих гнучких полімерних матеріалів, текстильних основ та керамік, у тому числі великої площі, що підвищує економічну ефективність застосування таких пристроїв у порівнянні з аналогами та дозволяє отримати достатнє живлення електронних приладів.

Найбільш істотними проблемами, які виникають при масовому впровадженні пристроїв перетворення енергії на основі наноструктурованих матеріалів, є збільшення ефективності перетворення енергії, а також усунення причин, що викликають деградацію характеристик наноструктурованих шарів і пристрою в цілому. Тому конструкція пристроїв перетворення енергії, технологія їх виробництва та фізичні процеси покладені в основу їх роботи повинні бути ретельно вивчені і проаналізовані.

Для створення комірки перетворення енергії механічних коливань на основі наноструктурованого ZnO спочатку формувалася нижній електрод на очищеній склокерамічній підкладці – методом магнетронного розпилення були осаджені тонкі плівки молібдену (100 нм) і алюмінію (150 нм). Наноструктуровані шари ZnO вирощувалися гідротермальним методом у два етапи: створення центрів кристалізації золь-гель методом і подальше вирощування масиву наноструктур ZnO в сольовому розчині. У якості додаткового етапу застосовувався низькотемпературний відпал, що покращує кристалічні властивості наноструктурованих плівки ZnO. Технологія синтезу наноструктурованого ZnO докладно описана в [7]. Такий підхід дозволяє синтезувати наноструктурований ZnO практично на будь-яких підкладках, включаючи склокерамічні та полімерні. Наноструктурований шар ZnO був покритий тонким шаром оксиду кремнію (близько 700 нм), а потім алюмінієвою плівкою, товщиною 300 нм, яка працює як верхній електрод.

Дослідження зразків, розміри яких в плані становили 7x7 мм, проводилося із застосуванням скануючого електронного мікроскопа Hitachi S4800. З представлених зображень (рис. 1) видно, що діаметр одного зародкового зерна становить близько 50 нм, а товщина всього шару близько 200 нм. Наноструктурований шар ZnO представляє собою масив просторово розподілених нанострижнів довжиною 0.9 мкм і діаметром 65 – 100 нм.

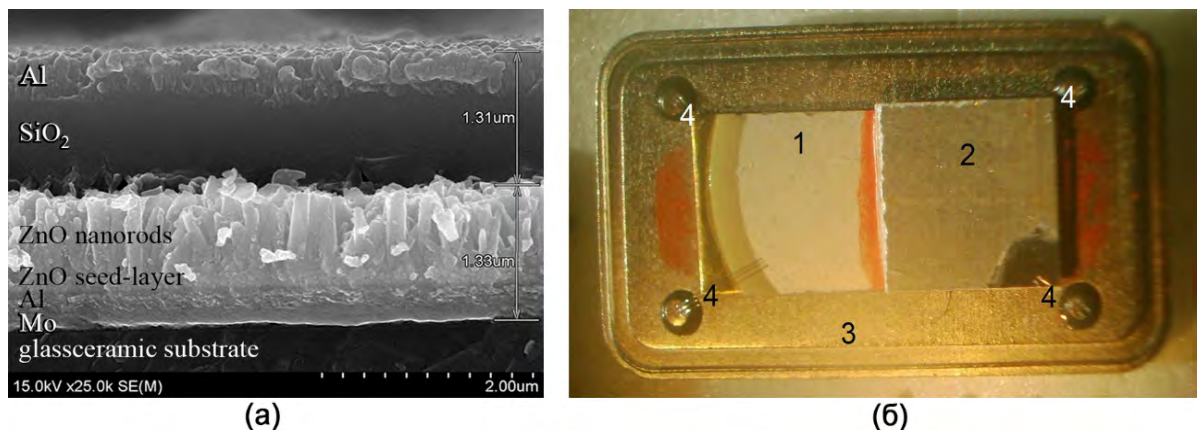


Рисунок 1

П'єзоелектричні властивості нанострижнів ZnO і ефективність перетворення енергії досліджувалися у складі структури, представленої на рис. 1 (б). Неоднорідні акустичні коливання, що імітують різні види механічної напруги у зразку, збуджуються п'єзокерамічним елементом товщиною 280 мкм (1), який стає частиною багат шарової структури, що дозволяє передавати енергію з високою ефективністю. На ньому розміщується отриманий на склокерамічній підкладці зразок з наноструктурованими шарами ZnO (2). Структура розміщується у корпусі (3), вихідним сигналом зразка є електричний імпульс, викликаний поляризацією наноструктурованого шару ZnO і знімається з відповідних контактів (праві контакти 4).

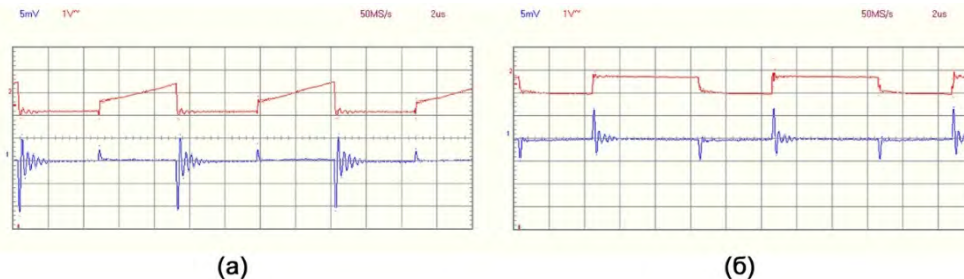


Рисунок 2

Запропонована комірка перетворення механічної енергії на основі наноструктурованого ZnO може використовуватися безпосередньо як мікропотужне джерело живлення електронних пристроїв, так і для їх підзарядки, а в перспективі і як перетворювачі альтернативних джерел енергії більш високої потужності. На основі представлених результатів можливе створення комбінованих систем перетворення світлової енергії та енергії механічних коливань для живлення бездротових сенсорів будівельних конструкцій, віброуючих механізмів, біомедичних сенсорів і лабораторій на чипі, вуличного освітлення та архітектурного підсвічування у вигляді штучних дерев і полотен, що майорять (прапорів), перетворення енергії морських хвиль, рухів живих і неживих об'єктів тощо. Впровадження таких перетворювачів буде економічно ефективним завдяки невисокій вартості та поширеності в природі вихідних матеріалів, малої енергоємності та технологічності методів, що застосовуються для створення структур, і дешевизні матеріалів основ, на яких вони синтезуються. Екологічність, малі витрати на утилізацію по закінченні терміну служби і можливість біомедичних застосувань забезпечуються нетоксичністю і біосумісністю матеріалів і процесів, що використовуються.

Список літератури

1. *Bisquert Juan, Cahen David, Hodes Gary, Ruhle Sven, Zaban Arie*, Physical Chemical Principles of Photovoltaic Conversion with Nanoparticulate, Mesoporous Dye-Sensitized Solar Cells // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2004. – 108. – P. 8106-8118.
2. *Deshpande Mrunal, Seyezhai R.* Review Of Hybrid Solar Cells Based On CdSe And TiO₂ Materials // *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* – 2014. – Vol. 2, Issue 3. – P. 3387 – 3392.
3. *Jagadish C., Pearton S.*, Zinc oxide bulk, thin films and nanostructures : processing, properties and applications. 1st ed. – Amsterdam ; London : Elsevier. – 2006. – 589 p.
4. *Junfeng Yana, Saunders Brian R.* Third-generation solar cells: a review and comparison of polymer:fullerene, hybrid polymer and perovskite solar cells // *RSC Advances*. – 2014. – 4. – P. 43286 – 43314.
5. *Kaldellis John K., Zafirakis D.* The wind energy (r)evolution: A short review of a long history // *Renewable Energy*. – 2011. – 36. – P. 1887 – 1901.
6. *McEvoy A.* Solar Cells. Materials, Manufacture and Operation. 2nd edition. — Academic Press, Elsevier. – 2013. – 641 p.
7. *Orlov A., Ulianova V., Pashkevich G., Bogdan O.* Peculiarity of seed-layer synthesis and morphometric characteristics of ZnO nanorods // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2014. – Vol. 6, no. 12(66). – P. 72 – 75.
8. *Orlov A., Ulianova V., Yakimenko Y., Bogdan O., Pashkevich G.* Influence of process temperature on ZnO nanostructures formation // *2014 IEEE 34th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. – 2014. – P. 51 – 53.

V. ULIANOVA¹, O. BOGDAN², A. ORLOV¹, Yu. YAKIMENKO, G. PASHKEVICH, A. ZAZERIN¹

¹ National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

² Scientific and Research Institute of Applied Electronics of National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

COMBINED SYSTEM OF ENERGY CONVERSION BASED ON NANOSTRUCTURED MATERIALS

The combined system of solar radiation and mechanical vibrations energy conversion based on nanostructured zinc oxide was developed. Experimental results of mechanical vibrations energy conversion cell design and testing were performed. It was shown that the developed cell based on nanostructured zinc oxide can be successfully applied for energy conversion system development with a wide range of applications in the power systems and management. Ref. 8, Fig. 2.

Key words: piezoelectric transducer, nanostructured zinc oxide, combined energy transducers

УДК 620.93, 620.91

В.А. УЛЬЯНОВА¹, А.В. БОГДАН², А.Т. ОРЛОВ¹, канд. техн. наук,
Ю. ЯКИМЕНКО¹, д-р техн. наук, **Г.А. ПАШКЕВИЧ**, канд. физ.-мат. Наук, **А.И. ЗАЗЕРИН¹**

¹ **Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»**

² **Научно-исследовательский институт прикладной электроники**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработана конструкция комбинированной системы преобразования энергии солнечного излучения и энергии механических колебаний на основе наноструктурированного оксида цинка. Представлены экспериментальные результаты создания ячейки преобразования энергии механических колебаний и тестирования. Показано, что разработанная ячейка на основе наноструктурированного оксида цинка может быть успешно использована для создания системы преобразования энергии с широкими возможностями применения в системах энергоснабжения и управления. Библ. 8, рис. 2.

Ключевые слова: пьезоэлектрический преобразователь, наноструктурированный оксид цинка, комбинированные преобразователи энергии

Надійшла 28.05.2015

Received 28.05.2015

УДК 681.51

А.І. ЗАЗЕРІН¹, А.Т. ОРЛОВ¹, канд. техн. наук, **О.В. БОГДАН²,**

В.О. УЛЬЯНОВА¹, Ю.І. ЯКИМЕНКО¹, д-р техн. наук

¹ **Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

² **Науково-дослідний інститут прикладної електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

СУЧАСНИЙ КОМПЛЕКС БЕЗПЕКИ ТА МОНІТОРИНГУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БУДИНКОМ

Розроблено гнучку та економічну платформу для реалізації комплексу безпеки та моніторингу, що включає набір інтелектуальних енергоефективних датчиків та програмне забезпечення для управління комплексом. Завдяки відкритості програмного забезпечення, прозорості структури і модульному дизайну, комплекс може бути в короткий інтервал часу налаштований під умови конкретної автоматизованої системи управління будинком.

Ключові слова: інтелектуальні сенсори, реєстрація даних, система управління будинком.

Вступ. Концепція сучасного житлового будинку, обладнаного автоматизованою системою управління (АСУ), передбачає ієрархічну організацію та взаємозв'язок між різноманітними підсистемами, що забезпечують безпеку, комфорт та оптимальність енергоспоживання для всіх користувачів. Мета такої системи полягає в інтеграції високотехнологічних пристроїв та централізованого програмного забезпечення в усі процеси, що відбуваються на об'єкті. АСУ відповідає за контроль робочих параметрів пристроїв, реєструє дані, повідомляє про проблеми та збої, розпізнає конкретні ситуації та реагує на них відповідно запрограмованому алгоритму. Зазвичай АСУ обладнана графічним інтерфейсом, що дозволяє відслідковувати зміну показників та налаштовувати параметри системи. АСУ можна умовно розділити на підсистеми: управління та зв'язку, освітлення, опалювання, вентиляції, кондиціонування, електроживлення тощо.

Однією з найважливіших є підсистема безпеки та моніторингу, призначена для попередження та запобігання ситуацій, в яких буде завдано шкоди людям або матеріальним і не матеріальним цінностям. Така система представляє собою апаратну частину: комплекс датчиків та реєстраторів, що забезпечують відеонагляд, контроль доступу у приміщення, детектування пожежі, затоплення, витічки газу тощо. А також програмну частину, що відповідає за зовнішні комунікації (GSM та IP моніторинг об'єкту), обернений зв'язок з іншими підсистемами АСУ, а також забезпечує обробку та аналіз даних від датчиків.

Приймаючи до уваги вищевказані особливості застосування в АСУ, були сформульовані відповідні вимоги до комплексу безпеки і моніторингу. Окрім необхідного мінімуму вимог до апаратної частини (роздільна здатність, частота вибірки, кількість входів) також було поставлено завдання сумісності з іншими підсистемами АСУ, автоматичне визначення датчиків та наявність бездротового інтерфейсу для забезпечення можливості реєстрації подій у віддалених місцях [2], наприклад, розпізнавання погодних умов сенсорним метеокомплексом, розміщеним на даху будівлі. Можливість застосування подібної системи в різноманітних АСУ диктує специфічні вимоги до програмного забезпечення – повинні бути передбачені можливості тонкого налаштування, модифікації алгоритмів обробки, розширення функціональності програми відповідно до застосовуваного обладнання (включення нових розроблених датчиків в базу даних, їх калібрування, додавання необхідних функцій аналізу). Іншими словами, ПЗ повинно легко адаптуватися під потрібні вимоги. Розроблено блок збору даних та широкий набір інтелектуальних датчиків для реєстрації подій і фізичних величин, що можуть мати місце на житловому об'єкті, розроблено програмне забезпечення для управління системою. Представлена робота описує технічні характеристики та можливості застосування розробленого програмно-апаратного комплексу.

Опис комплексу. Розроблено широкий набір інтелектуальних датчиків фізичних величин та подій що підключаються до підсистеми безпеки і моніторингу. На рисунку 1 зображена функціональна діаграма роботи такої підсистеми: 1 – масив датчиків M_1 - M_n , 2 – пристрій збору даних, 3 – комутатор даних, 4 – модуль перетворення сигналу, 5 – трансивери.

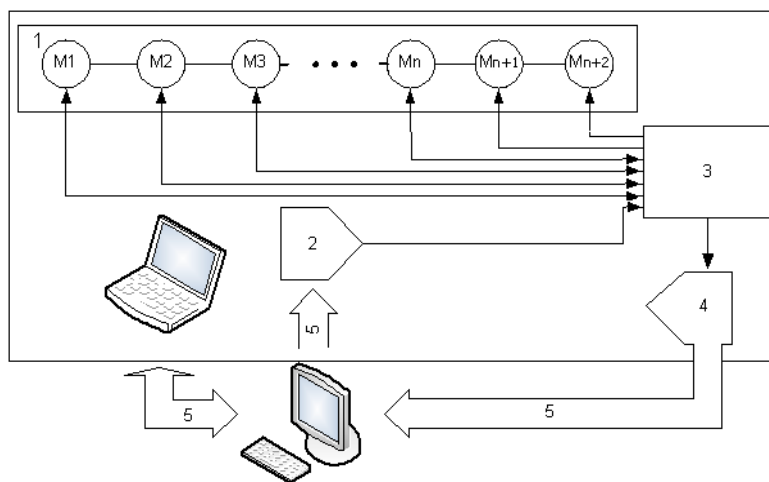


Рисунок 1

Набір включає датчики відстані, сили, тиску, вологості, температури, освітленості, напруги, сили струму, магнітного поля, мікрофонний датчик, напруги, струму, радіоактивності (Гейгера-Мюллера), датчик перетину з фотоелементом, кута повороту, рівня шуму та ін. Детальний опис компонентів надано у [5].

З'єднання багатовходового пристрою реєстрації даних з персональним комп'ютером забезпечується за допомогою інтерфейсу USB, при цьому пристрій не вимагає додаткового роз'єму живлення. Роздільна здатність пристрою збору даних складає 12 біт, аналогова частота вибірки – 20 кГц. Високі роздільна здатність та частота вибірки пристрою збору даних забезпечують високоточний і ефективний збір даних з багатьох датчиків водночас. Кількість входів може бути значно розширена за допомогою аналогового мультиплексора, підключеного до АЦП. Бездротовий інтерфейс працює в неліцензованому частотному ISM-діапазоні 434 МГц та дозволяє отримувати дані з датчиків на відстані до 300 метрів через декілька бетонних перекриттів.

Для забезпечення розширених можливостей візуалізації, збору даних та управління пристроєм використовується програмне середовище NI LabVIEW. Зв'язок між комп'ютером і пристроєм підтримується за допомогою розроблених алгоритмів керування і драйверів, які роблять можливим налаштування пристрою під необхідні умови АСУ, управління процесом реєстрації даних, автоматичну перевірку та діагностику збоїв в режимі реального часу, визначення та калібрування датчиків. Завдяки

вбудованій підтримці різного устаткування можуть бути підключені додаткові високоточні пристрої системи реєстрації.

Гнучка організація програмного забезпечення дозволяє інтегрувати сторонні програмні модулі в основну програму для розширення її можливостей. Так, будь-який результат може бути збережений у табличному файлі даних, переданий для аналізу або надісланий в автоматичному режимі на зазначену електронну адресу.

Необхідним елементом системи безпеки та моніторингу є можливість відеоспостереження та запису подій з підключеної відеокамери. Для забезпечення цих функцій були застосовані стандартні ActiveX структури і динамічні бібліотеки. Особливістю такого підходу є підтримка більшості пристроїв захоплення відео з використанням стандартних драйверів, без установки додаткового програмного забезпечення [1]. Також, у разі використання пристроїв відеозахоплення з високою роздільною здатністю передбачена можливість підключення модуля NI-IMAQ до основної програми. На рисунку 2 зображено головне вікно програми в процесі реєстрації температури у приміщенні та відносних коливань напруги у мережі електроживлення.

Високі значення роздільної здатності і частоти дискретизації пристрої збору даних можуть бути не тільки перевагою, але і часто призводять до виникнення деяких складнощів. У нормальному режимі роботи процес зняття даних не призводить до будь-яких помилок, але під час тривалої роботи обсяг даних у пам'яті зростає до значних величин, приводячи до уповільнення роботи програми і, в кінцевому підсумку, до помилки переповнення пам'яті. За замовчуванням середовище LabVIEW не оптимізоване під роботу з великими масивами даних [3], тому були розроблені і впроваджені в основний алгоритм додаткові підпрограми, що дозволяють вирішити зазначену проблему і усунути помилку переповнення.

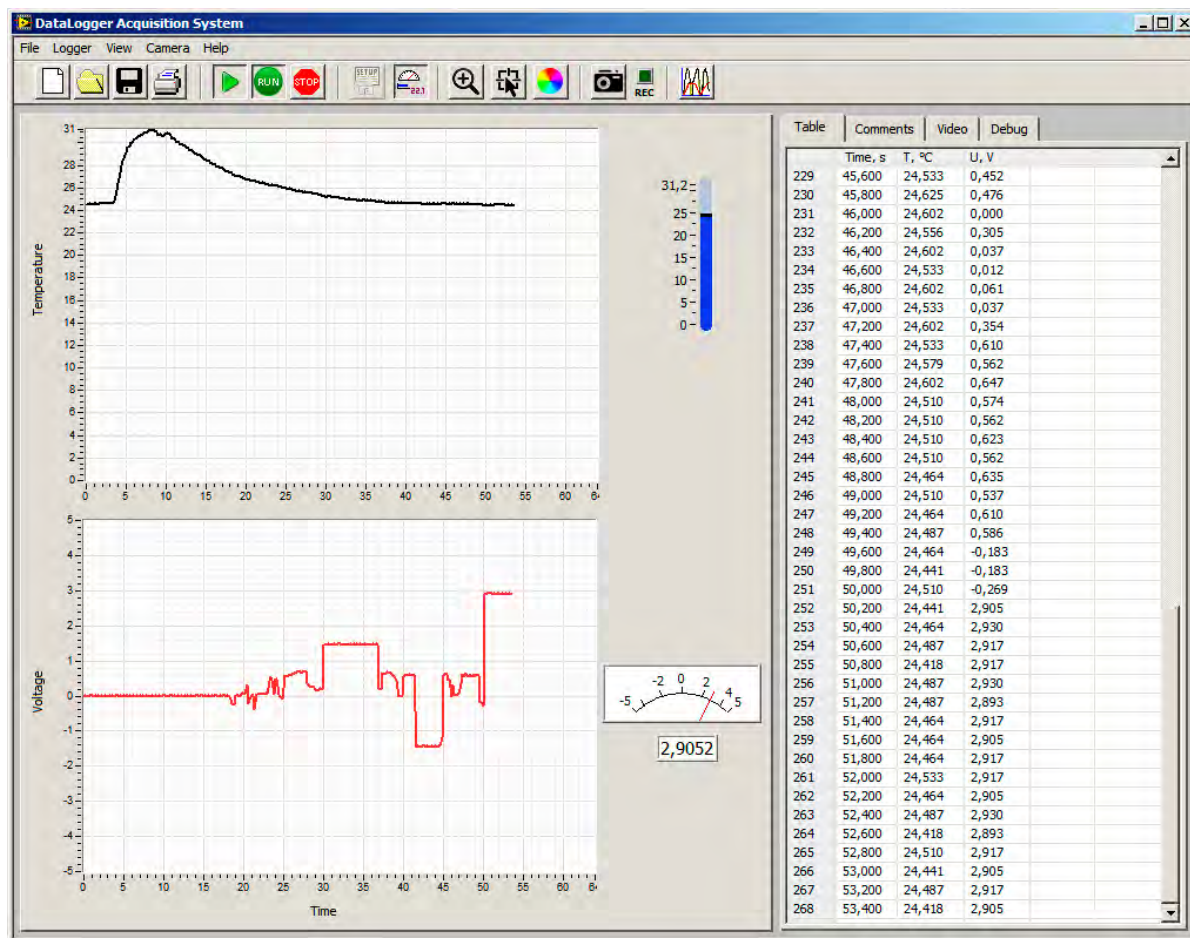


Рисунок 2

У розробленому комплексі реалізована функція автоматичного визначення типу датчиків шляхом зчитування їх параметрів і порівняння зі значеннями у базі даних [4]. Ця функція здійснюється відкритою для користувача програмою, що містить дані, необхідні для розпізнавання та роботи з датчиками: їх робочі параметри, межі, коефіцієнти калібрування та короткий опис. Додавання користувачем нового датчика в систему проводиться шляхом занесення його параметрів у базу даних (Рис. 3).

Sensors list						
№	R	Short	Y low	Y high	EN	
3	38200	T, °C	0,000	150,000	Temperature 0...+750	
4	36500	T, °C	0,000	1,000	Temperature -200...+400	
5	3320	U, V	-2,500	2,500	Voltage ±2,5V	
6	4990	U, mV	-50,000	50,000	Voltage ±50mV	
7	200	U, V	-5,000	5,000	Voltage ±25V	
8	19100	I, A	-2,500	2,500	Current ±2,5A	
9	17400	I, mA	-250,000	250,000	Current ±250mA	
10	22100	I, A	-0,020	0,020	Current ±0...20mA	
11	140000	F, N	-10,000	10,000	Force ±10N	
12	182000	F, N	-50,000	50,000	Force ±50N	
13	147000	B, mT	-10,000	10,000	Magnetic ±10mT	

Рисунок 3

Окрема підпрограма виконує функції обробки та аналізу знятих даних. Так, на рисунку 4 зображений інтерфейс модуля спектрального аналізу напруги джерела живлення. Модуль використовується для розрахунку спектрального складу та різноманітних параметрів сигналу, таких як сумарне гармонічне спотворення. Вихідні дані модуля є основою для аналізу якості джерела живлення, шумів та гармонічних спотворень, що вносяться у електромережу.

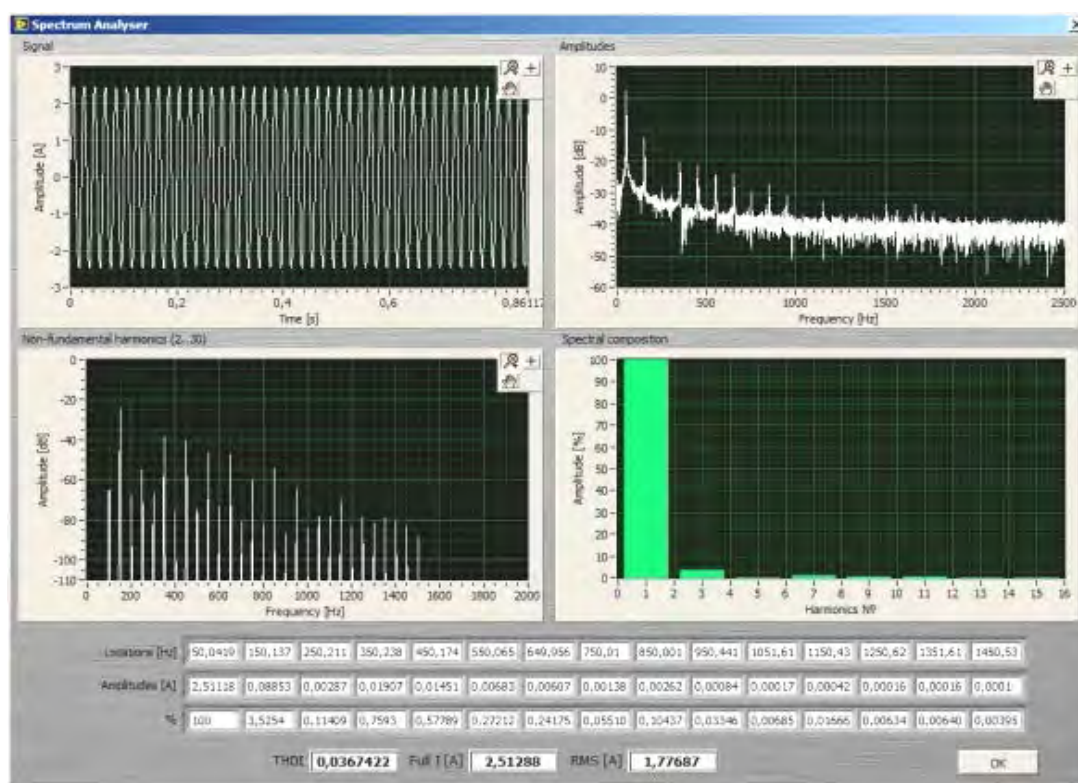


Рисунок 4

Для реалізації можливості багатопотокового аналізу отримуваних даних, структура програми була спроектована таким чином, що різні завдання виконуються паралельно. Так, взаємодія з пристроєм, зняття даних і візуалізація результатів, обробка переривань інтерфейсу, відеоспостереження і базова обробка сигналів відбуваються одночасно, не викликаючи помилок і накладень. Програма передбачає можливість глибокого налаштування, включаючи конфігурацію методів відображення даних, коефіцієнтів децимації, частот оновлення графіків, таблиць та індикаторів.

Особливу увагу приділено вимогам відкритості та модифікованості програмного забезпечення. Структура програми являє собою ієрархічне дерево підпрограм і модулів, кожен з яких є логічно завершеною ланкою, що виконує конкретну функцію. Для прикладу, на рисунку 5 приведена підпрограма обробки первинних даних, що надходять з пристрою збору, яка залежно від обраного датчика використовує той чи інший алгоритм обробки для перетворення в фізичну величину. У даному прикладі - 1D інтерполяція по двом масивам, що відображає нелінійну залежність датчика температури.

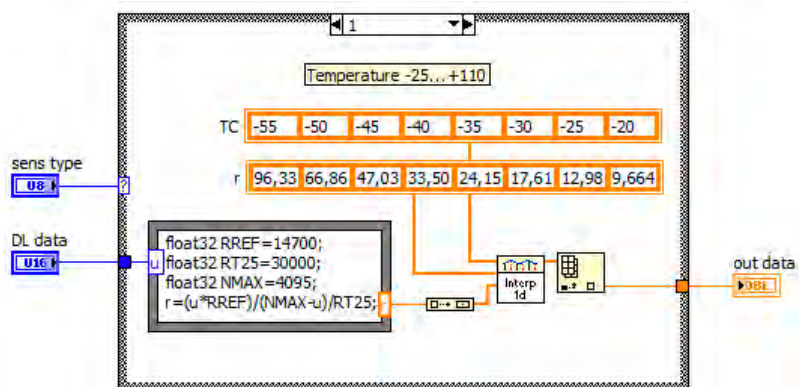


Рисунок 5

Таким чином, підпрограма містить лише набір необхідних функцій для всіх датчиків і нічого більше, що робить додавання нових датчиків і модифікацію існуючих досить простим. Аналогічним чином реалізовано паралельне виконання програми – використовуються три головних цикли обробки переривань, зняття даних і виведення даних. Кожен з них, залежно від робочого режиму, перемикається на своє джерело (пристрій збору, файл, сигнал іншої підсистеми АСУ) і термінал виводу (екран комп'ютера, файл, пристрій друку та ін.). Відповідно, користувач, що володіє достатніми знаннями, може при необхідності модифікувати канали введення/виводу системи. Ієрархічно прості програми пов'язані з більш складними – з базою даних датчиків, модулем обробки переривань, алгоритмами взаємодії з пристроєм та іншими, які за умовчанням закриті для редагування і не представляють інтересу в плані поліпшення або розширення функціональності.

Висновки. Використання інтегрованих первинних перетворювачів і сучасних електронних компонентів для датчиків, реєстратора даних і пристроїв бездротового інтерфейсу дозволило запропонувати економічне і ефективне рішення для модернізації існуючих або створення нових систем безпеки і моніторингу АСУ. Розроблене програмне забезпечення для системи безпеки і моніторингу, що використовує середовище LabVIEW, забезпечує функції взаємодії між користувачем і апаратурою, реєстрацію фізичних величин та подій, візуалізації, обробки даних та управління пристроями збору. Важливою особливістю програмного забезпечення є те, що воно не являє собою закритий продукт, що виконує обмежені функції. Завдяки відкритості програмного забезпечення, прозорості структури і модульному дизайну, система може бути в короткий інтервал часу модифікована під умови конкретної АСУ, включаючи додавання нових датчиків, алгоритмів, функцій та методів аналізу даних.

Представлений комплекс пройшов успішну апробацію у промислово-економічному коледжі Національного Авіаційного Університету, за методичної підтримки Інституту інформатизації та змісту освіти Міністерства освіти, науки, молоді та спорту України. Розробка виконана за фінансової підтримки Державного агентства з питань науки, інновацій та інформатизації України № державної реєстрації НДР 0111U008786.

Список літератури

1. Деннинг А. ActiveX для профессионалов. – СПб: Питер, 2002. – 436 с.
2. Минович А.И., Романюк В.А. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях // Связь. – 2004. – №. 2. – С. 46–50.
3. Managing large data sets in LabVIEW: White paper [Електронний ресурс]. 2012. URL: <http://www.ni.com/white-paper/3625/en/>.
4. Yakimenko Y. et al. A sensors kit for a versatile reconfigurable measuring platform // Proceedings of the International conference on nanotechnologies and biomedical engineering German-Moldovan workshop on Novel Nanomaterials for electronic, photonic and biomedical applications. – Chisinau (Republic of Moldova). – April 18–20, 2013. – P. 120–123.
5. Yakimenko Y. et al. Remote data collection and processing software for educational and scientific laboratory complex // Proceedings of the International Conference TCSET'2014 "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science" of Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske. – February 25–March 1, 2014. – P. 370–372.

A.I. ZAZERIN¹, A.T. ORLOV¹, O.V. BOGDAN², V.O. ULIANOVA¹, Yu.I. YAKIMENKO¹

¹ National technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

² Scientific and Research Institute, National technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

THE MODERN SECURITY AND MONITORING COMPLEX FOR AUTOMATED BUILDING MANAGEMENT SYSTEM

A flexible and cost-effective platform for implementing the security and monitoring complex was developed including a set of intelligent energy-efficient sensors and complex management software. Due to open source software, transparency and modular design, the complex can be adapted for a specific requirements of the automated building management system in a short terms.

Keywords: intelligent sensors, data collection, building management system.

References

1. Denning A. ActiveX for professionals. – SPb: Piter, 2002. – 436 p. (Rus.)
2. Minochkin A.I., Romanyuk V.A. Multiaccess methods for mobile communication systems // Svyaz. – 2004. – №. 2. – P. 46–50. (Rus.)
3. Managing large data sets in LabVIEW: White paper [Internet link]. 2012. URL: <http://www.ni.com/white-paper/3625/en/>.
4. Yakimenko Y. et al. A sensors kit for a versatile reconfigurable measuring platform // Proceedings of the International conference on nanotechnologies and biomedical engineering German-Moldovan workshop on Novel Nanomaterials for electronic, photonic and biomedical applications. – Chisinau (Republic of Moldova). – April 18–20, 2013. – P. 120–123. (Eng.)
5. Yakimenko Y. et al. Remote data collection and processing software for educational and scientific laboratory complex // Proceedings of the International Conference TCSET'2014 "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science" of Lviv Polytechnic National University. – Lviv-Slavske. – February 25–March 1, 2014. – P. 370–372. (Eng.)

УДК 681.51

А.И. ЗАЗЕРИН¹, А.Т. ОРЛОВ¹, канд. техн. наук, А.В. БОГДАН²,
В.А. УЛЬЯНОВА¹, Ю.И. ЯКИМЕНКО¹, д-р техн. наук

¹ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

² Научно-исследовательский институт прикладной электроники

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

СОВРЕМЕННЫЙ КОМПЛЕКС БЕЗОПАСНОСТИ И МОНИТОРИНГА ДЛЯ

АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОМОМ

Разработана гибкая и экономичная платформа для реализации комплекса безопасности и мониторинга, включающая набор интеллектуальных энергоэффективных датчиков и программное обеспечение для управления комплексом. Благодаря открытости программного обеспечения, прозрачности структуры и модульному дизайну, комплекс может быть в короткий интервал времени настроен под условия конкретной автоматизированной системы управления домом.

Ключевые слова: интеллектуальные сенсоры, регистрация данных, система управления домом.

Надійшла 28.05.2015

Received 28.05.2015

УДК 004.896, 621.316

М.О. МЕДИКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, І.Г. ЦМОЦЬ, д-р техн. наук,
О.В. СКОРОХОДА, канд. техн. наук, Ю.В. ЦИМБАЛ, канд. техн. наук
Національний університет «Львівська політехніка»,

ИНТЕЛЕКТУАЛЬНИ КОМПОНЕНТИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID

Показано актуальність розроблення енергетичних систем на основі концепції Smart Grid, виділено інтелектуальні компоненти для їх реалізації. Для реалізації інтелектуальних компонентів вибрано нейромережеві засоби на основі моделі геометричних перетворень. Розроблено інтелектуальні компоненти попереднього опрацювання даних (динамічна фільтрація шумів та заповнення пропусків у вхідних даних), прогнозування споживання та візуалізації режимів роботи енергетичних систем. Бібл. 4, рис. 1.

Ключові слова: інтелектуальні компоненти, Smart Grid, штучні нейронні мережі, модель геометричних перетворень.

© М.О. Медиковський, І.Г. Цмоць, О.В. Скорохода, Ю.В. Цимбал, 2015

Постановка проблеми. Енергетичні системи на основі концепції Smart Grid – це комплекс новітніх технологій, технологічних процесів, улаштувань та додатків, за допомогою яких створюються електронні комунікації нового покоління, які забезпечують інтелектуалізацію електричних мереж. В таких системах за рахунок використання телекомунікаційних і веб-технологій, баз даних, сховищ та просторів даних, компонент збору, оцінювання, оперативного, аналітичного та інтелектуального опрацювання інформації, візуалізації режимів роботи досягається підвищення ефективності функціонування енергетичної системи. При реалізації енергетичних систем на основі концепції Smart Grid необхідно враховувати вимоги до генерації електроенергії, її передачі, розподілу, ринку, споживання, управління та обслуговування. Перевагами таких систем є: надійність і якість електропостачання; енергозбереження, економічність, безпека і високий рівень екології. Енергетичні системи на основі концепції Smart Grid характеризуються інтелектом, системністю та орієнтацією на екологію. Інтелектуалізація енергетичних систем передбачає формування інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ), яка охоплює виробників, мережі, збутові компанії, споживачів і широко використовує інтелектуальні засоби для опрацювання даних і на їх основі формування управлінських рішень.

На основі комплексного підходу та компонентно-орієнтованої технології пропонується розробити інтелектуальні компоненти ІАСУ, які орієнтовані на використання в ієрархічно-розподілених системах, що інтегрують функції керування технологічними та організаційно-економічними процесами. Використання комплексного підходу, який охоплює інформаційні технології, методи та засоби аналітичної обробки даних, моделювання, прогнозування та прийняття рішень, а також компонентно-орієнтованої технології, яка передбачає розробку інтелектуальних компонент у вигляді функціонально завершених модулів, що мають вихід на стандартний інтерфейс, забезпечить підвищення якості, зменшення вартості та часу проектування. Управління складними технологічними процесами та розподіленими технічними системами пропонується здійснювати на основі системи SCADA (Supervisory Control Access and Data Acquisition), яка забезпечує моніторинг їхнього технічного стану в автоматизованому режимі, безперервне накопичування та опрацювання великих обсягів інформації для оперативного прийняття управлінських рішень. Інтеграція різноманітних даних буде здійснюватися за допомогою баз даних, СУБД, сховищ та просторів даних, доступ до яких здійснюється засобами веб-технологій. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема розробки енергетичних систем на основі концепції Smart Grid.

Аналіз публікацій. За останні роки значно зросла кількість публікацій, що розглядають різні аспекти інтелектуалізації енергетичних систем на основі концепції Smart Grid, що свідчить про її актуальність та стрімкий розвиток. Так, загальний огляд Smart Grid технологій проведено у [1]. У [4] висвітлено особливості еволюції інтелектуальних електричних мереж, перспективні форми та напрямки розвитку Smart Grid технології і їхні реалізації в Україні. Особливості реалізації концепції Smart Grid при побудові автоматизованих систем керування технологічними процесами та процесами, пов'язаними з функціонуванням ринку електричної енергії розглянуто у [2]. Частково питання використання методів та засобів штучного інтелекту у Smart Grid розглянуто в [3].

Метою роботи є розроблення на базі штучних нейронних мереж інтелектуальних компонент для попереднього опрацювання даних, прогнозування споживання та візуалізації режимів роботи енергетичних систем.

Вибір нейромережових засобів для реалізації інтелектуальних компонент. Для реалізації інтелектуальних компонент енергетичної системи пропонується підхід на основі нейронних мереж парадигми “модель геометричних перетворень” (МГП). У її основі – представлення множини вхідних даних, що характеризує об'єкт дослідження, як сукупності векторів у n -вимірному просторі ознак, що утворює тіло об'єкта. Вважається, що тіло об'єкта може моделюватися за допомогою нейронної мережі для вирішення конкретного завдання дослідження об'єкта. Метою навчання нейромережі МГП є розклад (декомпозиція) тіла об'єкта на складові частини (первинних елементів декомпозиції) в просторі невеликої розмірності. Ці частини є носіями визначальної інформації про властивості об'єкта, зокрема, можуть бути використані для візуального відображення даних про об'єкт.

Для виконання процесів декомпозиції та композиції тіла об'єкта у різних задачах розроблені відповідні архітектури нейронних мереж. Усі ці архітектури мають в основі класичну структуру нейромережі прямого поширення з використанням додаткових впорядкованих бічних зв'язків між нейронами прихованих шарів.

Для вирішення задачі візуалізації доцільно використати структуру автоасоціативної нейронної мережі. Процес декомпозиції виконується під час руху даних від вхідного до прихованого шару. Координати первинних елементів декомпозиції в просторі малої вимірності, наприклад, двовимірному, формуються на виходах прихованого шару. Нейрони вихідного шару забезпечують відтворення тіла об'єкта в початковому просторі, тобто зворотне перетворення.

Відзначимо наступні можливості, які надає парадигма МГП для розв'язання задач візуалізації багатовимірних даних:

- процес навчання є не ітераційним на відміну від нейромереж, що навчаються за правилом зворотного поширення похибки;

- для побудови ефективних нейромереж достатньо використовувати один прихований шар;

- внаслідок нелінійності характеристик нейронів та синаптичних зв'язків можливе гнучке налаштування мережі для конкретної практичної задачі.

Інтелектуальні компоненти попереднього опрацювання даних. До основних задач попереднього опрацювання даних в енергетичних системах на основі концепції Smart Grid можна віднести видалення шумів та заповнення пропусків у вхідних даних. У енергетичних системах при отриманні даних з різних давачів, де вихідні значення залежать від попередніх вхідних значень і мають внутрішню динаміку, виникають проблеми ефективного видалення шумів. Такі задачі пов'язані з впливом на вхідні дані багатьох факторів, кожен з яких має різний ступінь впливу на результат. Особливо складною є задача, коли неможливо чітко виділити фактори впливу і коли невідома величина впливу цих факторів на результуючий параметр. Для розв'язання такої задачі вибрано метод нейромережевого спектрального аналізу, який ґрунтується на дослідженні часового ряду методом головних компонент і не вимагає попередньої стабілізації ряду. Такий аналіз дозволяє досліджувати структуру часового ряду, виділити окремі його складові та прогнозувати як сам ряд, так і тенденції розвитку його складових.

При нейромережевому спектральному аналізі здійснюється розклад вихідної функції, що породжує часовий ряд, в аналог ряду Фур'є за базисом, що породжується самою функцією. У випадку виродженості системи багатовимірних векторів можна стверджувати про існування внутрішніх лінійних зв'язків між значеннями процесу. Формально це виражається в тому, що часовий ряд задовольняє лінійне різницеве рівняння з постійними коефіцієнтами. Це представлення дозволяє будувати прогноз вихідного ряду і аналізувати багатовимірні часові ряди. Для часових рядів, що отримані з періодичних функцій, метод дає результати, близькі до результатів гармонічного аналізу Фур'є.

Однією з найбільших переваг даного методу є відсутність вимоги апріорного знання моделі ряду, що майже не впливає на якість отриманих результатів.

Класичний алгоритм нейромережевого спектрального аналізу можна розбити на кілька кроків: вкладення, сингулярний розклад, групування і діагональне усереднення (відновлення). При цьому здійснюється розгортка одновимірного ряду в багатовимірний, аналіз головних компонент – сингулярний розклад отриманого перед цим багатовимірного ряду, відбір головних компонент і відновлення одновимірного ряду. Основним параметром даного алгоритму є так звана довжина вікна L , при чому $1 < L < N$, де N – розмірність часового ряду. Результатом алгоритму є розбиття часового ряду на адитивні складові. Використання даного алгоритму дає змогу виділити окремі адитивні компоненти вихідного ряду, зокрема тренд та шум.

На основі нейромережевого спектрального аналізу розроблено базову інтелектуальну компоненту, яка має можливість адаптації до вимог конкретного давача. Особливістю даної компоненти є висока надійність, здатність адаптації до вимог конкретного застосування, використання принципів побудови, які забезпечують можливості простого нарощування функціоналу інтелектуальної компоненти за допомогою доповнення новими алгоритмічними рішеннями.

Інтелектуальна компонента попереднього опрацювання даних з давачів ІАСУ реалізована на мові C# в середовищі програмування Visual Studio 2010 з використанням бібліотек Microsoft .NET Framework 4.0. Складові інтелектуальної компоненти реалізовані у вигляді бібліотек класів, що динамічно підключаються до головної програми. Це дозволяє застосовувати їх в сторонніх розробках, зокрема, як складові SCADA-систем.

Адаптація інтелектуальної компоненти до вимог конкретного застосування здійснюється за допомогою аналізу даних з конкретного давача, на основі якого робиться обґрунтований висновок про вибір кількості головних компонент, на які потрібно розбити вхідний сигнал, та визначення, які з них потрібно враховувати при побудові результуючого сигналу.

Усунення пропусків у даних, які надходять від давачів в умовах завод є загалом досить складною обчислювальною задачею. Розв'язки цієї задачі не завжди можна однозначно верифікувати. Тому існує декілька альтернативних підходів до оцінювання результатів усунення, зокрема, на основі байєсівського підходу та критерію максимальної правдоподібності.

Розробка інтелектуальних компонент для усунення пропусків може вестися на основі різних методів, які, зокрема, включають: штучні нейронні мережі (багатосаровий перцептрон (MLP); мережі радіальних базисних функцій (RBF)); гаусівські змішані моделі; нечіткі множини (fuzzy sets); машини векторів підтримки (SVM); дерева рішень; аналіз головних компонент (PCA); динамічне програмування.

Досить перспективним створення гібридних або комбінованих моделей, які полягають у поєднанні названих та інших підходів.

Пропонується використати підхід на основі автоасоціативних нейронних мереж (АНМ). Такі нейромережі конструктивно є мережами прямого поширення, де кількості нейронів у вхідному та вихідному шарах є рівними, а кількість нейронів у прихованому шарі – меншою (мережа з “вузьким

горлом”). Метою навчання мережі є якомога точніше відтворення на виході даних, які подаються на вхід, тобто мережа навчається “без вчителя”. При цьому по суті зменшується розмірність вхідних даних, тобто виконується нелінійне, в загальному випадку, виявлення головних компонент на виходах нейронів прихованого шару.

Якщо вхідні дані містять пропуски, похибка навчання, як різниця між значеннями на виході та на вході мережі, може бути досить значною, тобто перевищувати задане порогове значення. Тому має виконуватися оптимізація навчання мережі, яка передбачає, зокрема, внесення змін у значення пропущених елементів даних. Коли значення похибки на виході мережі не перевищуватиме порогове значення, матрицю вхідних даних можна зберегти як частину повної бази даних, вже із заповненими попередньо пропущеними даними.

Інтелектуальні компоненти для візуалізації режимів роботи енергетичних систем. Для планування роботи енергопостачальної компанії (ЕПК) і, зокрема, складання прогнозів споживання електричної енергії необхідно використовувати наявні в розпорядженні багатовимірні статистичні дані, зняті засобами телеметрії. Це інформація про величину фактичного значення спожитої потужності, її активну та реактивну складові, значення струму, рівень частоти. Також важливою є додаткова інформація, наприклад, про температуру навколишнього повітря, ступінь освітленості, наявність екстраординарних подій та ін.

Відомо, що режими роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) характеризуються постійними та взаємозалежними змінами показників, а також певними дискретними змінами, що відбуваються внаслідок вимкнення окремих елементів електричної мережі. Процес керування режимами є динамічним і в значній мірі залежить від своєчасного надходження даних від телеметричних пристроїв на різних ділянках електричної мережі ЕПК.

Розглянемо можливість візуалізації режимів за допомогою нейронних мереж на основі парадигми МГП. Нейронна мережа за відомими значеннями показників, що подаються на її входи, обчислює з достатньою точністю значення невідомих. Повна множина показників реального режиму утворює навчальну множину автоасоціативної нейронної мережі для зменшення початкової розмірності та візуалізації на двовимірній ситуаційній карті особливостей (СКО, рис. 1).

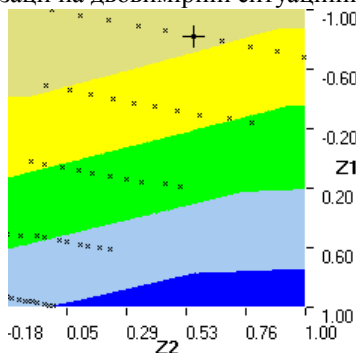


Рисунок 1

Принцип побудови СКО є наступним. Для обчисленої на етапі навчання множини значень на виході перших двох нейронів прихованого шару нейронної мережі візуалізації визначаються діапазони зміни, задається кількість елементів зображення (пікселів) СКО та обчислюються величини кроків дискретизації по кожній з координат. Надалі розраховуються значення елементів множини всіх можливих пар координат, які відповідають елементам зображення СКО. Значення елементів з цієї множини послідовно подаються безпосередньо на вихід прихованого шару нейронної мережі в режимі використання. Тоді для кожного елемента будуть розраховані відповідні значення на виході нейронної мережі в цілому. Для кожного з n виходів нейронної мережі визначається діапазон зміни значень для

навчальної множини, який розділяється на певну кількість рівнів. Значенням, що належать до кожного рівня, а також значенням, що виходять за межі діапазону зміни, ставиться у відповідність один з кольорів або тонів (за аналогією з фізичною картою у географії). Отже кожне зі значень на виході нейронної мережі буде позначатися кольором на ситуаційній карті особливостей.

На відміну від карт особливостей Кохонена СКО відображає не лише точки з навчальної множини, але і можливі проміжні точки для кожної множини вхідних даних СКО будується незалежно для кожного з виходів нейронної мережі і для повного опису об’єкта досліджень з її допомогою створюється атлас СКО.

Таким чином можна виконати відновлення тіла об’єкта за рахунок перетворення координат будь-якої точки на СКО у координати в первинному n -вимірному просторі. При поступовому переміщенні курсору по карті між точками з навчальної множини здійснюється побудова ланцюжка проміжних точок, що не входять до навчальної множини, але вірогідно належать тілу об’єкта.

Інтелектуальні компоненти для прогнозування енергоспоживання. Відображення даних з часових рядів також можна здійснювати за допомогою ситуаційних карт особливостей. При цьому навчальна множина складається з векторів, які відповідають певним часовим вікнам. Кожен наступний навчальний вектор утворюється внаслідок зсуву попереднього навчального вектора на одну позицію по часовій осі вправо. В результаті виконання процедури навчання кожному навчальному вектору відповідає точка на СКО. Точка містить у скомпресованому вигляді інформацію про всі значення часового ряду з відповідного часового вікна. Сусіднім векторам з навчальної множини у початковому багатовимірному просторі реалізації будуть відповідати сусідні точки і на СКО.

Отже, на СКО буде відтворюватися траєкторія руху точки, що відображає як реальні зміни процесу в часі, так і прогнозовані на певний проміжок часу вперед. Побудова областей, в які можливе потрапляння точки, дозволяє відстежити значення з цих областей. Таким чином, за допомогою СКО відображається багатоваріантність перебігу подій, тобто, поряд із прогнозованим мережею значенням, слід брати до розгляду і менш імовірні значення (в околі даної точки).

Висновки.

1. Нейронні мережі на основі моделі геометричних перетворень внаслідок нелінійності характеристик нейронів та синаптичних зв'язків забезпечують гнучке налаштування мережі для розв'язання задач опрацювання даних, прогнозування енергоспоживання та візуалізації режимів роботи енергетичних систем.

2. Для задач візуалізації режимів роботи енергетичних систем використано структуру автоасоціативної нейронної мережі, із формуванням за значеннями на виходах прихованого та вихідного шарів ситуаційної карти особливостей.

3. На основі нейромережевого спектрального аналізу розроблено базову інтелектуальну компоненту попереднього опрацювання даних, яка адаптується до вимог конкретного застосування.

Список літератури

1. Chan S., Song S., Li L., Shen J. Survey on smart grid technology // Power System Technology. – 2009. – № 33 (8). – Pp. 1-7.

2. Кириленко О.В., Блінов І.В., Танкевич С.С. Smart Grid та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 47-48.

3. Ramchurn S.D., Vytelingum P., Rogers A., Jennings N.R. Putting the'smarts' into the smart grid: a grand challenge for artificial intelligence // Communications of the ACM. – 2012. – № 55 (4). – Pp. 86-97.

4. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52-67.

M. MEDYKOVSKYY, I. TSMOTS, O. SKOROKHODA, Y. TSYMBAL

Lviv Polytechnic National University

INTELLIGENT POWER SYSTEM'S COMPONENTS BASED ON THE CONCEPT OF SMART GRID

Actuality of energy systems development based on the concept of Smart Grid has been shown, intelligent components have been selected for implementation. Neural network on basis of geometric transformation model has been chosen for implementation of intelligent components. Such intellectual components has been developed: component for preprocessing of data (dynamic noise filtering and gaps filling in input data), component for consumption forecasting and component for visualization of work modes of power systems. References 4, figures 1

Keywords: intelligent components, Smart Grid, artificial neural network, geometric transformations model.

References

1. Chan S., Song S., Li L., Shen J. Survey on smart grid technology // Power System Technology. – 2009. – № 33 (8). – Pp. 1-7.

2. Kirilenko A.V., Blinov I.V., Tankevych S.E. Smart Grid and organization of information-sharing power systems // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 3. – Pp. 47-48. (Ukr)

3. Ramchurn S.D., Vytelingum P., Rogers A., Jennings N.R. Putting the'smarts' into the smart grid: a grand challenge for artificial intelligence // Communications of the ACM. – 2012. – № 55 (4). – Pp. 86-97.

4. Stogniy B.S., Kirilenko A.V., Prakhovnik A.V., Denysyuk S.P. The evolution of smart grids and their prospects in Ukraine // Tekhnichna elektrodynamika. – 2012. – № 5. – Pp. 52-67. (Ukr)

УДК 004.896, 621.316

Н.А. МЕДЫКОВСКИЙ, д-р техн. наук, **И.Г. ЦМОЦЬ**, д-р техн. наук,
О.В. СКОРОХОДА, канд. техн. наук, **Ю.В. ЦЫМБАЛ**, канд. техн. наук

Национальный университет «Львовская политехника»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID

Показано актуальность разработки энергетических систем на основе концепции Smart Grid, выделены интеллектуальные компоненты для их реализации. Для реализации интеллектуальных компонент выбрано нейросетевые средства на основе модели геометрических преобразований. Разработаны интеллектуальные компоненты предварительной обработки данных (динамическая фильтрация шумов и восполнения пробелов в исходных данных), прогнозирования потребления и визуализации режимов работы энергетических систем. Библ. 4, рис. 1.

Ключевые слова: интеллектуальные компоненты, Smart Grid, искусственные нейронные сети, модель геометрических преобразований.

Надійшла 15.04.2015

Received 15.04.2015

О.М. СІНЧУК¹, д-р техн. наук, проф., С.М. БОЙКО², Д.А. МИХАЙЛИЧЕНКО²
¹ ДВНЗ «Криворізький національний університет»
² Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО- ВИДОБУВНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті розглянуто потенціал альтернативних джерел енергії підприємств гірничо-видобувного комплексу. Обґрунтовано актуальність розробки і реалізації в практику роботи підприємств гірничо-видобувного комплексу електромеханічних вітроенергетичних комплексів, як додаткових джерел живлення у складі системи електропостачання, з метою забезпечення умови безперебійності та надійності електропостачання електроприймачів та зменшення собівартості видобутку корисних копалин. Для реалізації енергоефективності електропостачання, обґрунтована та пропонується для практичної реалізації її структурна схема. Для ефективного управління системою електропостачання запропоновано використання нейроконтролера. Бібл. 6, рис. 5.

Ключові слова: система електропостачання, поновлювані джерела енергії, надійність електропостачання.

Вступ. Підприємства гірничо-металургійної галузі промисловості України є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) держави. Частина ПЕР вищезгадані підприємства отримують від обленергосистем електричних мереж, а іншу частину виробляють на власних електростанціях. Через високу енергоємність продукції, постійне збільшення цін на енергоносії (природний газ, нафтопродукти, електроенергія та ін.) енергетична складова в собівартості продукції гірничо-збагачувальних підприємств сягає 27-32% [1]. Впровадження та використання автономних джерел енергії веде до децентралізації виробництва електричної енергії, рівномірного розподілу енергетичних ресурсів та до зменшення впливу на навколишнє середовище. В останні роки особливо негативно на стан енергетики впливає робота в маневровому режимі, що зумовлено "провалом" споживання електроенергії в нічний час. Тому, все актуальнішим стає збільшення обсягів отримання енергії за рахунок використання поновлювальних джерел, у тому числі енергії вітру, силами самих гірничорудних підприємств.

Мета роботи. Обґрунтування доцільності використання вітроенергетичних комплексів та системи керування ними для живлення споживачів на підприємствах гірничо-видобувного комплексу.

Матеріал і результати досліджень. Для досягнення вищевикладеної мети була проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу (ВЕК) в умовах діючих підприємств гірничо-видобувного комплексу.

Як відомо [2, 3], електропостачання підземних гірничих робіт обумовлено рядом специфічних факторів, основними з яких є: прийнята технологія ведення робіт та гірничо-геологічні умови залягання корисних копалин [3].

При цьому система електропостачання підприємств гірничо-видобувного комплексу (ГВК) повинна відповідати наступним вимогам:

- забезпечувати безперебійне живлення електроенергією основних електроприймачів;
- бути безпечною у відношенні пожеж та ураження людей електричним струмом;
- забезпечувати необхідну якість електроенергії в умовах безперервної зміни технологічних параметрів гірських розробок і відповідних змін структур електричних мереж;
- бути економічною при дотриманні вимог, перелічених вище.

У даній роботі розглядається можливість використання енергій потоків атмосферного повітря в умовах кар'єрів підприємств ГВК.

В результаті дослідження аеродинамічних характеристик повітряних потоків промислових ГВК було зроблено висновок про те, що використання ВЕК, що працюються як автономно так і в складі системи електропостачання, є доцільним і достатньо рентабельним [4, 5].

На рис. 1, 2, як приклад показані схеми раціонального розташування ВЕК (2, 4) на відвалах (4) та між відвалами, що дозволяє досягти збільшувати коефіцієнт використання вітрового потоку (3) при будь-якому напрямі вітру на поверхні. Швидкість потоку повітря на поверхні відвалів достатньо для генерації певного

обсягу електричної енергії вітроустановкою. Виходячи з результатів цих досліджень є сенс для умов кар'єрів (1) ГВК будувати системні ВЕК з вітровими двигунами [5].

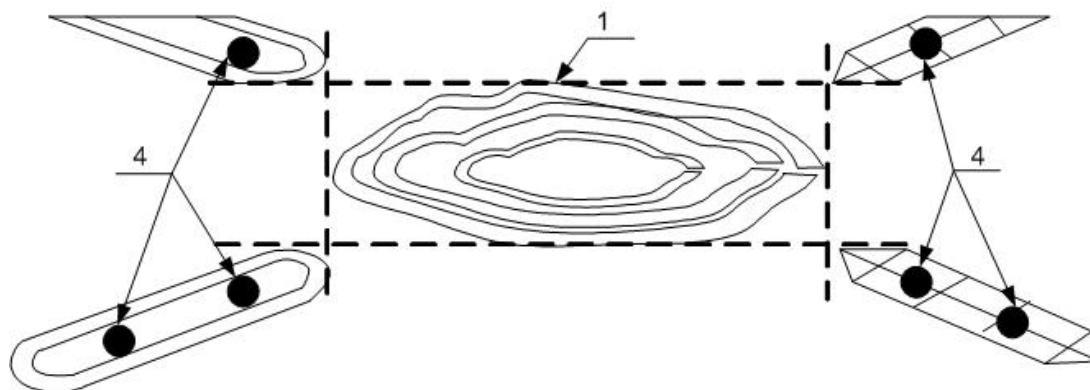


Рисунок 1

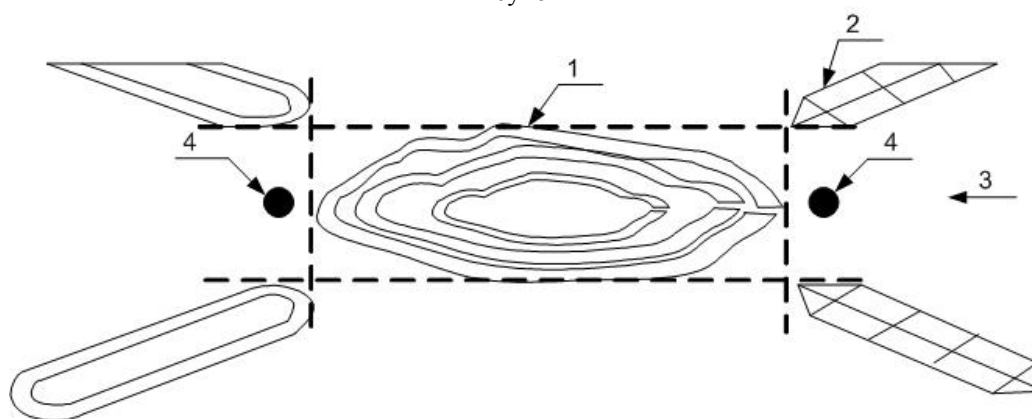


Рисунок 2

Беручи до уваги наведені вище результати дослідження, та потужності вітрогенераторів, можна зробити висновок про можливість використання вітрогенераторів на відвалах кар'єрів ГВК для живлення освітлювальної мережі кар'єру та для передачі залишкової згенерованої потужності в мережу.

Енергетика промислових підприємств включає процеси: виробництва, перетворення, транспортування, розподілу та споживання енергії, обслуговування цих процесів та розвитку об'єктів керування. Керування зазначеними процесами здійснюється шляхом реалізації множини функцій збору, перетворення й передачі первинної інформації, прогнозування станів енергетичних об'єктів (ЕО), вироблення управлінських рішень, формування й передачі керуючих впливів на об'єкт керування, що утворюють контури керування.

Підсистема керування електроспоживанням промислових підприємств є найбільшою й безпосередньо пов'язаною з виробничим процесом, від якої значною мірою залежить ефективне функціонування підприємства в цілому. Тому цій підсистемі при розробці автоматичної системи керування електропостачанням підприємств приділяється особлива увага, оскільки метою цієї підсистеми є надійне та економічне постачання промислових підприємств електроенергією [6].

У роботі пропонується підхід до побудови систем автоматизованого керування електроспоживанням промислових підприємств, заснований на базі відновлювальних альтернативних джерел енергії, у вигляді сукупності взаємозалежних структур. Як наслідок є необхідним та актуальним використання новітніх технологій для комутації електричних мереж з можливістю прогнозування їх енергетичних параметрів.

У зв'язку з вище сказаним на рис. 3 запропонована схема електропостачання з використанням нейроконтролера, яка у своєму складі має блок датчиків, комутатор, нейроконтролер та два джерела електричної енергії (мережу та альтернативне джерело енергії (АДЕ)).

Блок датчиків, одночасно визначає показники напруги, частоти та струму безпосередньо в мережах електропостачання, та передає дані до нейроконтролера.

Нейроконтролер аналізує енергетичні параметри, що надійшли від блоку датчиків, та надсилає управляючий сигнал на комутатор.

Комутатор є багатопозиційним і в залежності від управляючого сигналу від нейроконтролера має можливість підключити споживача до одного з джерел електроенергії, відключити споживача від джерела електроенергії та виконувати функцію автоматичного вмикання резерву.

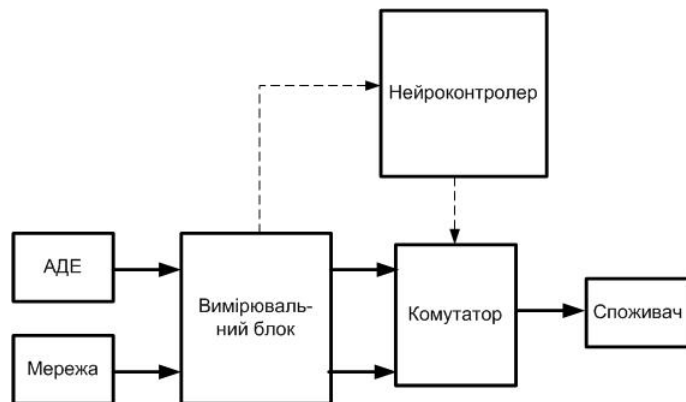


Рисунок 3

Перевагою нейроконтролера у даному випадку є те, що він може одночасно приймати сигнали від усіх датчиків вимірювального блоку та одночасно аналізувати їх у режимі реального часу, оскільки при реалізації цієї схеми звичайними контролерами, одночасно аналізувати сигнали із датчиків вимірювального блоку одночасно у режимі реального часу не є можливим [6].

Створення вітрової електростанції на базі автономної вітроустановки для електропостачання виробничо-господарського ГВК дозволяє виробляти й накопичувати електроенергію за наявності вітру, а при штилі використовувати АКБ, а за необхідності використовувати живильну мережу підприємства для додаткового електропостачання (рис. 4 а, б).

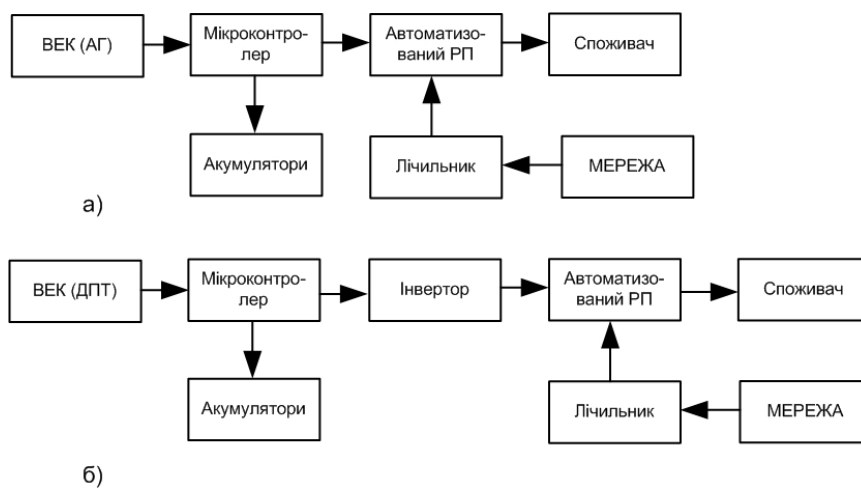


Рисунок 4

До складу системи електропостачання входить наступне устаткування: вітроенергетичний комплекс; батарея акумуляторів, що служить для накопичення електроенергії при роботі вітроустановки для живлення системи її управління (або, за необхідності, як резервне джерело живлення); перетворювальна апаратура, для перетворення електроенергії від вітроустановки у постійний струм для живлення інвертора й заряду акумуляторних батарей і постійного струму від акумуляторів напруги змінного струму зі стандартними параметрами (рис. 4).

При роботі ВЕК паралельно з мережею, доводиться вирішувати питання, пов'язані з усталеною роботою станції, що виключає перевантаження генератора, за умови надійності. Усе це вимагає створення механічних і електричних пристроїв для автоматичного регулювання вітроелектростанції. Тому запропоновано підключати мережу до споживача через автоматизований розподільчий пристрій, що призначений для регулювання електроживлення споживача в автоматичному режимі (рис. 5). Таким чином, за умови достатнього електропостачання споживача від ВЕК, енергосистема працює в автономному режимі. При аварійній ситуації, чи виходу з ладу ВЕК, автоматичний розподільчий пристрій автоматично підключає споживача до мережі. У випадку, коли відбувається, за рядом причин, недостатнє генерування електричної енергії ВЕК, то автоматичний розподільчий пристрій автоматично підключає до системи електропостачання споживача мережу, як додаткове джерело електричної енергії. Таким чином мережа є додатковим джерелом електричної енергії [6].



Рисунок 5

За такої системи регулювання підвищується надійність електропостачання споживача та модульність системи вцілому. Оскільки, за необхідністю, відбувається регулювання кількості акумуляторних батарей та ВЕК.

Висновки. 1. В результаті використання атмосферних повітряних потоків в умовах кар'єрів ГВК, з перетворенням вітрової енергії в електричну, є реальна можливість генерувати і використовувати електричну енергію для власних потреб підприємств ГВК, зекономивши при цьому засоби на її закупівлю.

2. Розробка і реалізація в практику роботи підприємств ГВК ВЕК, як додаткових автономних джерел живлення у складі системи електропостачання, є актуальним для забезпечення умови безперервності та надійності електропостачання електроприймачів та дозволить зменшити собівартість видобутку корисних копалин.

3. Застосування в системах управління комутацією електричних мереж інтелектуальних систем, є одним із варіантів інтелектуального управління електропостачанням відповідальних об'єктів, що дає можливість підвищити надійність та якість управління електропостачанням.

Список літератури

1. Азарян А.А., Вілкул Ю.Г. та ін. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.

2. Бойко С.М., Карлик Є.П., Петриненко А.А., Рибинський С.В. Можливості використання вітрогенераторів для виробництва електричної енергії на відвалах кар'єрів Електротехнічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук КрНУ, 2012. – Вип. 2/2012 (18) – С. 101-103.

3. Бойко С.М. Можливості використання вітрогенераторів для виробництва електричної енергії в підземних виробках шахт // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця 2012. – Вип. 2, – С. 97-99.

4. Сінчук І.О., Бойко С.М., Мельник О.С. Відновлювані та альтернативні джерела енергії: навчальний посібник – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270с.

5. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. — М.: Наука, 1970. — 252 с.

6. Bayir R. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors / R. Bayir, O. F. Bay: IJSIT Lecture Note of International Conference on Intelligent Knowledge Systems, Vol. 1, – № 1, 2004.

O. SINCHYK¹, S. BOIKO², D. MYKHAILYCHENKO²

¹ State institution of higher education «Kryvyi Rih National University»

² Mykhailo Ostrohradskyi Kremenchuk National University

THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF POWER SUPPLY OF ENTERPRISES OF THE MINING COMPLEX ON THE BASE OF THE WIND ENERGY COMPLEXES

The article examines the potential of alternative sources of energy enterprises of the mining complex. The urgency of development and implementation in practice of work of the enterprises of mining complex Electromechanical wind energy systems, as additional power sources in the composition of the power supply system, to ensure the conditions of continuity and reliability of supply to consumers and the reduction of the cost of mining. To implement energy efficiency of electricity supply, justified and proposed for practical implementation of its structural scheme. For effective management of the electricity system proposed the use of neurocontroller. References 6, figures 5.

Keywords: power system, renewable energy sources. the reliability of electricity supply.

References

1. Azaryan A.A., Vilkul Yu.G., Complex resource and power keeping geotechnologies of booty and processing of mineral raw material, hardwares of their monitoring with the control and optimization of mining productions system. – Mineral, Krivij Rig, 2006. – 250 p. (Ukr)
2. Boiko S.M., Karlik Y.P., Petrinenko A.A., Ribins'kij S.V. The possibility of using wind turbines to produce electrical energy at the dump pits. Kremenchuk, Elektrotehnicni i energozberigayuchi sistemi. Vol. 2, 2012, – pp. 101-103. (Ukr)
3. Boiko S.M. The possibility of using wind turbines to produce electrical energy in underground mines. – Vinnitsa, Visnik Vinnic'kogo politehnicnogo institutu, Vol. 2, 2012. – pp. 97-99. (Ukr)
4. Sinchuk I.O., Boiko S.M., Melnik O.E. Renewable and alternative energy resources. Kremenchuk: PP Scherbatih O.V., 2015 – 270 p. (Ukr)
5. Tsyipkin Ya.Z. Bases of theory of the student systems. it is M.: Science, 1970. - 252 p. (Rus)
6. Bayir R. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors / R. Bayir, O. F. Bay: IJSIT Lecture Note of International Conferense on Intelligent Knowledge Systems, Vol. 1, – № 1, 2004 – 150 p.

УДК 621.311.4.031

О.Н. СИНЧУК¹, С.Н. БОЙКО², Д.А. МИХАЙЛИЧЕНКО²

¹ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

² Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

В статье рассмотрен потенциал альтернативных источников энергии предприятий горно-добывающего комплекса. Обоснована актуальность разработки и реализации в практику работы предприятий горно-добывающего комплекса электромеханических ветроэнергетических комплексов, в качестве дополнительных источников питания в составе системы электроснабжения, с целью обеспечения условия бесперебойности и надежности электроснабжения электроприемников и уменьшение себестоимости добычи полезных ископаемых. Для реализации энергоэффективности электроснабжения, обоснован и предлагается для практической реализации ее структурная схема. Для эффективного управления системой электроснабжения предложено использование нейроконтролера. Библ. 6, рис. 5.

Ключевые слова: система электроснабжения, возобновляемые источники энергии, надёжность электроснабжения.

Надійшла 15.04.2015

Received 15.04.2015

УДК 621.314.22.2

Ф.П. ГОВОРОВ, д-р техн. наук, В.Ф. ГОВОРОВ, О.В. КОРОЛЬ

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В
КВАЗИУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ**

В статье рассмотрены вопросы повышения надежности работы вольтодобавочных трансформаторов с электронным управлением, которые используются в качестве активных элементов ESS, и выполняют функции автоматической коррекции параметров режима электрических сетей. На основе анализа электромагнитных процессов разработаны схемные и математические модели трансформатора в квазиустановившихся режимах, а также определены условия надежной работы электронных элементов в этих условиях. Предложены пути повышения надежности работы трансформаторов с включением тиристоров в цепи его первичной обмотки. Библ. 4, рис. 3.

Ключевые слова: вольтодобавочный трансформатор, тиристор, надежность, электродвижущая сила, напряжение, ток угол сдвига.

© Ф.П. Говоров, В.Ф. Говоров, О.В. Король, 2015

Постановка задач. Как известно [1], важнейшими элементами интеллектуальных энергетических систем (ESS), определяющими возможность и условия эффективного функционирования ESS, являются силовые активные элементы (АЭ). Степень их совершенства в значительной степени определяет эффективность функционирования ESS, в целом. Поэтому, обеспечение условий надежной и экономической работы активных элементов, является важной задачей повышения эффективности работы ESS.

Важное место среди АЭ занимают устройства силовой электроники, выполненные на базе вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) с электронным управлением. Их применение в электрических сетях среднего и низкого напряжения в сочетании с применением плавного либо плавно-ступенчатого способа управления в состоянии значительно расширить функциональные возможности ESS, эффективность и качество функционирования электрических сетей и, подключенных к ним, потребителей. Однако, в силу особенностей схемы присоединения ВДТ к сети имеет место ряд особенностей его работы совместно с электронными управляющими элементами. Это относится к характеру изменения ЭДС и токов в его обмотках. Их наличие обуславливает снижение надежности и экономичности работы ВДТ и, подключенных к ним, потребителей. Изложенное делает необходимым исследование особенностей работы ВДТ с электронными управляющими элементами и определение условий их надежной и экономичной совместной работы.

Анализ публикаций. Исследованием работы ВДТ в той или иной постановке задачи в различные годы занимались Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Липковский К.А., Новский В.А. и др. [2-4]. В целом, указанные исследования посвящены, в большинстве своем, исследованиям статических режимов ВДТ. В это же время наличие особенностей квазиустановившихся режимов ВДТ и их существенное влияние на надежность и качество работы ESS требуют проведения дополнительных их исследований.

Расчетно-теоретическое исследование работы ВДТ с тиристорным ключом на первичной стороне. Работа ВДТ с тиристорным ключом в сочетании с наиболее распространенным время-импульсным способом управления и естественным гашением тиристоров, характеризуется наличием ряда особенностей, связанных с изменением величины и длительности протекания токов в обмотках в зависимости от режимов работы и параметров цепи первичной и вторичной обмоток. В рассматриваемых условиях, очевидным является тот факт, что если длительность протекания тока I_1 превышает угол π , то при углах регулирования вентилей $\alpha < \pi - \beta$, где β - угол включенного состояния тиристора, подача управляющего напряжения на включаемый тиристор произойдет в момент, когда напряжение на тиристоре равно нулю, либо имеет обратную полярность, последний отключится. В то же время, отсутствие тока в предшествующий полупериод, создает возможность для успешного включения другого из группы встречно-параллельно включенных тиристоров в последующий полупериод, независимо от соотношения между α и β . В результате трансформатор переходит в режим одностороннего подмагничивания, который характеризуется включением одного из группы встречно-параллельно включенных тиристоров и значительным увеличением первичного тока I_1 . При этом, в следствии насыщения магнитной системы, увеличится длительность протекания тока I_1 в первичной обмотке и возврат трансформатора в нормальный режим станет возможным уже при другом угле $\alpha' > \alpha$.

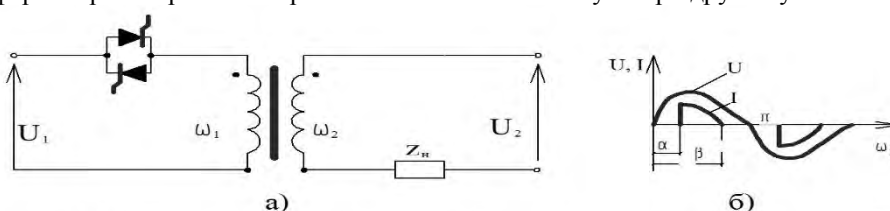


Схема (а) и характер измерения тока I в цепи первичной обмотки (б)
ВДТ с тиристорным управлением

Рисунок 1

Соответственно, при $\alpha > \pi - \beta$ на участке полупериода, равном $\pi - \beta$ тиристоры находятся в состоянии малой проводимости ($r_T = 1 \div 10$ кОм) и трансформатор работает в режиме холостого хода (ХХ) с питанием по вторичной цепи. Работа ВДТ этом режиме определяется величиной напряжения U_2 , модулем и фазой сопротивления вторичной цепи $Z_{2п}$. Измерения ЭДС и токов в обмотках ВДТ при $\alpha < \pi - \beta$ и $\alpha > \pi - \beta$ свидетельствуют о значительном (до четырех крат) увеличении напряжения на тиристорах, при $\alpha > \pi - \beta$, и многократном (до ста крат) увеличении тока I_1 , при $\alpha < \pi - \beta$. В связи со снижением технико-экономических показателей ВДТ, появлением в обмотках импульсов напряжения и тока большой величины, работа трансформатора в рассмотренных условиях является аварийной.

В соответствии с изложенным, условие надежной работы ВДТ с тиристорами в цепи первичной обмотки может быть записано в виде: $\alpha \geq \pi - \beta + \gamma$, где: γ - угол удержания вентилей. При этом, угол включения вентилей $\alpha = \pi - \beta + \gamma$ является критическим ($\alpha_{кр}$). При уменьшении угла включения вентилей

до величины $\alpha < \alpha_{кр}$ или увеличении длительности протекания тока β в цепи первичной обмотки до величины $\beta > \pi + \alpha - \gamma$ трансформатор переходит в один из аварийных режимов: дроссельный или одностороннего подмагничивания.

Основные количественные соотношения, характеризующие работу ВДТ в этих режимах получены использованием схемы замещения рис. 2 а. Процессы в схеме замещения описываются системой линейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} U_1 &= i_1 r_{1\Pi} + L_{\sigma 1\Pi} \frac{di_1}{dt} + L_M \frac{di_0}{dt} \\ U_2' &= i_2' r_{2\Pi}' + L_M \frac{di_0}{dt} \\ i_0 &= i_1 + i_2' \end{aligned} \quad (1)$$

После эквивалентных преобразований схема рис. 2 а преобразуется в более простой вид исходя из следующих допущений (рис. 2б),: $Z_H \approx r_H$; $R_H = (r_2' + r_H) \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2$;

$$U_{\mathcal{E}} = \frac{U_2' x_m^2}{R_H'^2 + x_m^2}; \quad Z_{\mathcal{E}} = \frac{R_H' x_m}{R_H' + x_m} = \frac{R_H' x_m^2 + R_H'^2 x_m}{R_H'^2 + x_m^2}.$$

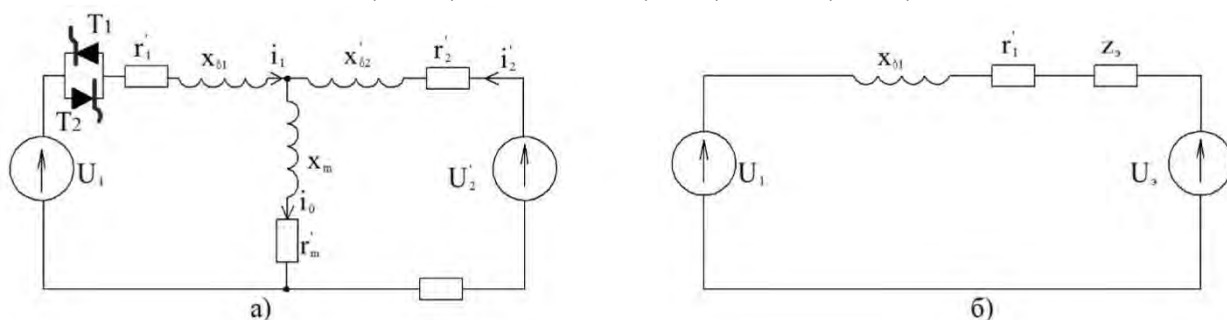


Рисунок 2

Для оценки влияния режимов работы и параметров ВДТ на значение угла включения вентилей α в квазиустановившихся режимах достаточным является частное решение (1) в виде:

$$I_1 = \frac{\left[\pm U_1 (R_H'^2 + x_m^2) + U_2' x_m^2 + U_2' R_H' x_m \right]}{(R_H' x_m^2 - x_m^2 r_{1\Pi} + R_H'^2 r_{1\Pi}') + (R_H' x_m + x_{\sigma 1} x_m^2 + R_H'^2 x_{\sigma 1}')} \quad (2)$$

Откуда

$$\alpha_{кр} = \arctg \frac{(R_H' x_m^2 - x_m^2 r_{1\Pi} + R_H'^2 r_{1\Pi}') - \left[\pm U_1 (R_H'^2 + x_m^2) + U_2' x_m^2 \right] \times (R_H' x_m + x_{\sigma 1} x_m^2 + R_H'^2 x_{\sigma 1}')}{\left[\pm U_1 (R_H'^2 + x_m^2) + U_2' x_m^2 \right] \times (R_H' x_m^2 - x_m^2 r_{1\Pi} + R_H'^2 r_{1\Pi}') + U_2' R_H' x_m (R_H' x_m + x_{\sigma 1} x_m^2 + R_H'^2 x_{\sigma 1}')} \quad (3)$$

Как следует из (3) $\alpha_{кр}$ является знакопеременной функцией параметров U_1 , U_2 , R_H , x_m , $r_{1\Pi}$, $x_{\sigma 1}$ и изменяется с изменением режимов работы ВДТ, величины нагрузки и состояния магнитной системы. При этом в режиме встречного включения при $U_1 (R_H'^2 + x_m^2) \geq U_2' x_m^2$ угол $\alpha_{кр} > 0$, что соответствует опережающему току I_1 . В режиме малых нагрузок ($R_H' \rightarrow \infty$) сопротивление нагрузки не влияет на характер тока I_1 и значение $\alpha_{кр}$ определяется значением x_m (состоянием магнитной системы)

$$\alpha_{кр} \approx \arctg \frac{x_m}{r_{1\Pi}} \quad (4)$$

При ненасыщенной магнитной системе $x_m \gg r_{1\Pi}$ и $\alpha_{кр} \approx 0$. С увеличением насыщения $\alpha_{кр} > 0$. Соответственно, при больших нагрузках, когда $R_H' \rightarrow 0$, влияние намагничивающего контура на характер изменения тока I_1 уменьшается и $\alpha_{кр}$ определяется главным образом параметрами первичной цепи

$$\alpha_{кр} = \arctg \frac{x_{\sigma 1}}{r_{1П}} \quad (5)$$

При номинальных нагрузках в зависимости от характера соотношения $R'_H > r_{1П}$ следует рассматривать работу ВДТ при насыщенной и ненасыщенной магнитной системе.

В первом случае сопротивление намагничивающего контура x_m значительно больше сопротивления нагрузки, его влиянием в первом приближении можно пренебречь и рассматривать схему в виде последовательно соединенных $U_1, U_2, R_H, x_m, r_{1П}, x_{\sigma 1}$ (см. рис. 2 б).

В этом случае

$$\alpha_{кр} \approx \arctg \frac{x_{\sigma 1}}{r_{1П} + R_H} \quad (6)$$

Во втором случае, сопротивление намагничивающего контура соизмеримо с сопротивлением нагрузки R'_H и оказывает существенное влияние на характер тока I_1 . Пренебрегая влиянием параметров первичной цепи ($r_{1П}, x_{\sigma 1}$), схему замещения можно рассматривать в виде параллельно соединенных сопротивлений x_m и R'_H . Угол включения, при этом, определится, как

$$\alpha_{кр} \approx \arctg \frac{R'_H}{x_m} \quad (7)$$

Таким образом, критический угол включения тиристорov $\alpha_{кр}$ не является постоянным, а изменяется с изменением режимов работы и параметров ВДТ. Значения $\alpha_{кр}$ при различном сочетании режимов работы и параметров ВДТ могут быть определены по (3). При этом, поскольку тиристор заперт, $r_{1П} \approx 0$ и значение критического угла возврата определяется, практически параметрами вторичной цепи

$$\alpha_{кр} \approx \arctg \frac{R'_H}{x_m} \quad (8)$$

В соответствии с изложенным, в связи со значительным изменением сопротивления x_m намагничивающего контура при кратковременной потере импульсов либо увеличении длительности прохождения тока I_1 до $\beta_{кр} = \pi - \alpha + \gamma$, трансформатор переходит в режим одностороннего подмагничивания.

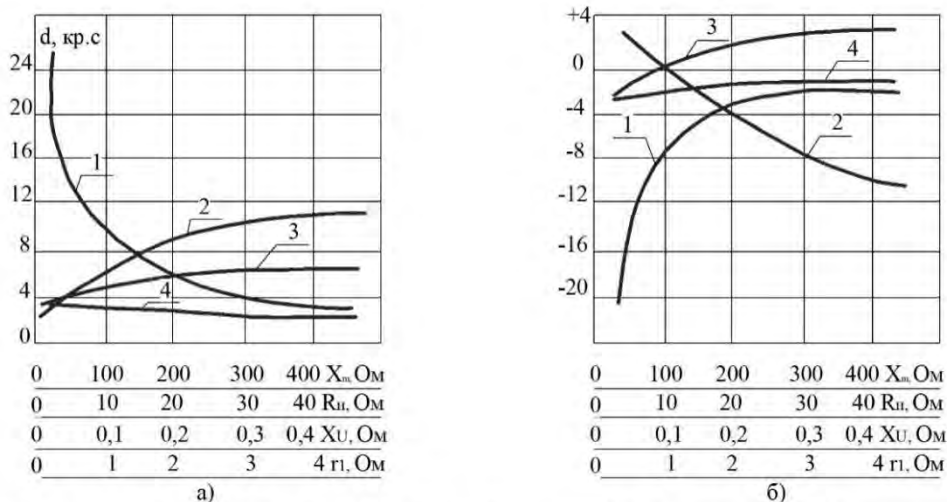
Графические зависимости $\alpha_{кр} = f(R'_H, x_m, r_{1П}, x_{\sigma 1})$, полученные в результате расчета по (3), приведены на рис. 2. Кривая $\alpha_{кр} = f(x_m)$ характеризует зависимость критического угла от состояния магнитной системы и может быть использована для определения значений критического угла возврата $\alpha'_{кр}$. Как следует из рис. 3, значение критического угла возврата увеличивается с увеличением насыщения магнитной системы и стремится в предельном случае к $+\pi$, при согласном включении ВДТ, и к $-\pi$ - при встречном. Различие в характере кривых $\alpha = f(x_m)$ для различных режимов можно объяснить различным характером взаимодействия токов I_1 и I_0 . В режиме согласного включения ток I_0 сдвинут относительно тока I_1 на угол близкий к $+\pi/2$ обуславливает сдвиг последнего на угол ϕ_1 , в сторону отставания. Соответственно, в режиме встречного включения сдвиг тока I_0 составляет угол, близкий к $-\pi/2$ и влияние сказывается на сдвиге тока I_1 в сторону опережения.

В режиме встречного включения, сопротивление R_H включено последовательно с эквивалентным сопротивлением первичной цепи и его влияние выражается в уменьшении индуктивной составляющей результирующего тока, поскольку при последовательном соединении $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$

Аналогично объясняется характер кривых $\alpha_{кр} = f(x_{\sigma 1})$ с той лишь разницей, что в режиме согласного включения $x_{\sigma 1}$ оказывается включенным последовательно с эквивалентным сопротивлением вторичной цепи, увеличивая реактивную составляющую тока I_1 . По той же причине, в режиме встречного включения, сопротивление $x_{\sigma 1}$ вызывает уменьшение критического угла включения $\alpha_{кр}$ в связи с подключением его параллельно с сопротивлением намагничивающего контура $x_{\sigma 1}$. Наличие точки с $\alpha_{кр} = 0$ и изменение знака $\alpha_{кр}$ объясняется влиянием сопротивления $r_{1П}$. Точке $\alpha_{кр} = 0$ соответствует значение $x_{\sigma 1}$ равно

$$x_{\sigma 1} = \sqrt{\frac{x_m^2 - r_{1П}^2}{\sin \phi_1}} \quad (9)$$

при котором ток I_1 находится в противофазе с током I_0 . Дальнейшее увеличение $x_{\sigma 1}$ приводит к тому, что ток I_1 оказывается сдвинутым на угол, больший π по отношению к току I_0 и влияние I_0 можно рассматривать, как сдвиг тока I_1 в сторону отставания.



Графические зависимости критического угла включения тиристоров $d_{кр}$ от сопротивления намагничивающего контура x_m (1), сопротивления нагрузки R_n (2), сопротивления рассеяния (3), активного сопротивления первичной обмотки r_1 (4) для режима согласного (а) и встречного (б) включения ВДТ

Рисунок 3

Выводы: Проведенные исследования свидетельствуют, что для обеспечения надежной и экономичной работы ВДТ в квазиустановившихся режимах необходим учет наличия и характера изменения критического угла отпирания тиристоров с изменением нагрузки, режимов работы и параметров ВДТ. Последнее требует применения специальных схем управления с синхронизацией управляющего напряжения от тока и напряжения тиристоров.

Список литературы

1. Назаров В.В. Концепция Smart Grid и реальная энергетика // Энергетика и электрофикация, 2013, №6, с. 12-15.
2. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях // Наукова Думка, 1985, с. 268 с.
3. Новский В.А., Голубев В.В., Козлов А.В., Бойко П.С. Быстродействующее уравновешивание трехфазной четырехпроводной системы с помощью трансформаторно-ключевых преобразователей // Техн. електродинаміка. Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2007. – Ч. 3. – С. 7-12.
4. Липківський К.О. Оптимізація розрахункових характеристик виконавчих структур дискретних стабілізаторів напруги // Праці ІЕД НАНУ. – 2006. - №2(14). – С. 98-99.

P.P. GOVOROV, V.P. GOVOROV, O.V. KOROL
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
RESEARCH WORK BOOSTER TRANSFORMERS WITH ELECTRONIC CONTROL IN A
QUASI STEADY-STATE MODES

The paper deals with improving the reliability of booster transformers with electronic control, which are used as active elements of ESS, and perform the automatic correction mode parameters of electric networks. Based on the analysis of electromagnetic processes designed circuit and transformer mathematical models in quasi-steady conditions, as well as the conditions identified reliable operation of electronic components in these conditions. Ways of improving the reliability of transformers connected thyristors in the chain of its primary winding. References 4, figures 3.

Key words: booster transformer, thyristor, reliability, electromotive force, voltage, current shift angle.

References

1. Nazarov V. V. Smart Grid concept and the real power // Energetika i elektrofikatsiya, 2013, №6, p. 12-15. (Rus)
2. Shydlovski A.K., Kuznetsov V.G. Improving the quality of energy in electric networks // Naukova Dumka, 1985, p. 268 p. (Rus)
3. Novitsky V.A., Golubev V/V., Kozlov A.V., Boiko P.S. High-speed three-phase four trim system using the transformer-core transducers // Tech. elektrodinamika. Themes. vipusk " Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist." - 2007 - Part 3 - S. 7-12. (Rus)
4. Lypkivsky K.O. Optimizing the design characteristics of the executive structures of discrete voltage

П.П. ГОВОРОВ, д-р техн. наук, **В.П. ГОВОРОВ**, **О.В. КОРОЛЬ**
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВОЛЬТОДОДАВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З ЕЛЕКТРОННИМ
УПРАВЛІННЯМ В КВАЗІСТАЛОМУ РЕЖИМІ

У статті розглянуті питання підвищення надійності роботи вольтододавальних трансформаторів з електронним управлінням, які використовуються в якості активних елементів ESS, і виконують функції автоматичної корекції параметрів режиму електричних мереж. На основі аналізу електромагнітних процесів розроблені схемні та математичні моделі трансформатора в квазіусталених режимах, а також визначено умови надійної роботи електронних елементів в цих умовах. Запропоновано шляхи підвищення надійності роботи трансформаторів із включенням тиристорів в ланцюзі його первинної обмотки. Бібл. 4, рис. 3.

Ключові слова: вольтододавального трансформатор, тиристор, надійність, електрорушійна сила, напруга, струм кут зсуву.

Надійшла 16.04.2015

Received 16.04.2015

УДК 621.316.11

В.А. ПОПОВ¹, канд. техн. наук, доц., **П.Я. ЭКЕЛЬ**², д-р техн. наук,
В.В. ТКАЧЕНКО¹, канд. техн. наук, **С. БАНУЗАДЕ САХРАГАРД**³

¹ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

² Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Ave. Dom Jose Gaspar

³ Iranian NIK Energy

УЧЕТ ФАКТОРА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ
КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ВАРИАНТОВ ИНТЕГРАЦИИ
ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

В работе предложен подход для комплексной оценки влияния распределенной генерации на такие показатели эффективности работы распределительных сетей как потери электрической энергии, режим напряжений и надежность электроснабжения с использованием процедуры Беллмана-Заде для многокритериального сравнения альтернатив. Обоснован метод дифференциации весов частных целевых функций на основе оценки энтропии. Особое внимание уделено особенностям анализа надежности при различных вариантах подключения генерирующих источников к электрическим сетям.

Ключевые слова: распределенная генерация, надежность электроснабжения, многокритериальное принятие решений, энтропия информации.

1 Введение

Одним из важнейших аспектов реформирования энергетики на современном этапе является смещение акцентов в пользу развития малой генерации. Украина, как никакая другая страна мира, заинтересована в кардинальном повышении эффективности своей энергетической отрасли [1], что делает необходимым, чтобы даже те единичные проекты, которые сегодня реализуются в сфере применения распределенной генерации, были технически обоснованны и экономически эффективны. Очевидно, что указанные источники даже относительно небольшой мощности оказывают воздействие на потери электрической энергии, режим напряжений, надежность электроснабжения.

Расчет потерь электрической энергии, в принципе, не вызывает затруднений. Это реализуется как в процессе непосредственного моделирования режимов электрических сетей, так и на основе специальным образом адаптированных расчетных методов, ориентированных на использования обобщенных показателей (величины потребления электроэнергии или максимальной нагрузки) [2].

© В.А. Попов, П.Я. Экель, В.В. Ткаченко, С. Банузаде Сахрагард, 2015

Появление генерирующих источников может как повысить качество электрической энергии (за счет компенсации потерь напряжений), так и привести к его ухудшению даже после соответствующей адаптации условий работы средств централизованного регулирования напряжения (в силу увеличения неоднородности нагрузок отдельных распределительных линий). При этом отсутствие общепринятого показателя позволяет оценить режим напряжений, формируемый после интеграции генерирующих источников, в основном экспертным путем, например, за счет использования соответствующих балльных оценок.

2 Оценка влияния распределенной генерации на надежность электроснабжения

Наиболее сложным и неоднозначно решаемым вопросом является оценка влияния распределенной генерации на надежность электроснабжения. Считается (по крайней мере, теоретически), что при потере питания от централизованных источников имеется возможность «выделить» источник распределенной генерации (ИРГ) для работы на близкую по мощности нагрузку, что получило название «Islanding» («островной» режим) [3]. С точки зрения надежности именно указанный режим, да еще в условиях нормирования показателей надежности, что является характерным для большинства индустриально развитых стран, представляет наибольший интерес.

Опыт оптимизации надежности электроснабжения демонстрирует, что в большинстве случаев обеспечить ее нормируемые уровни невозможно без применения автоматических коммутационных аппаратов (КА), например реклоузеров. Рассмотрим подобные электрические сети, которые могут быть построены как по магистральной (рис. 1а), так и по петлевой (рис. 1б) схемам и на их примере проанализируем различные варианты применения ИРГ.

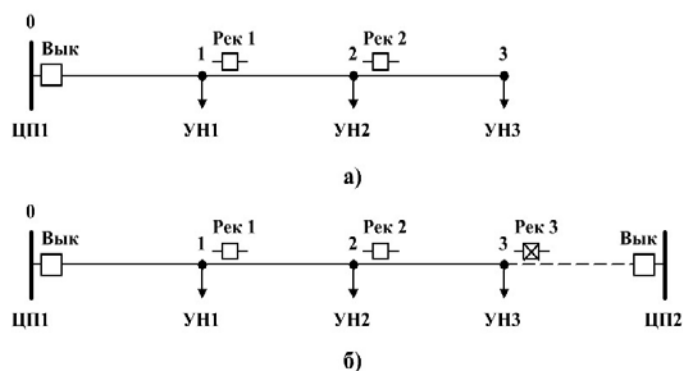


Рисунок 1 - Линия распределительной сети с реклоузерами (ЦП – центр питания, УН – узел нагрузки)

В узле 3, являющемся точкой подключения резервного питания (ТПРП), установлен нормально отключенный реклоузер, настроенный на децентрализованную и скоординированную с реклоузерами 1 и 2 работу в случае подключения резервного питания от ЦП2. Оценим изменения интегральных показателей надежности [4] для следующих условий:

- в линиях установлены 2 реклоузера (Рек1 и Рек2), которые делят линию на 3 части (каждая из которых может включать в себя ряд участков линии и нагрузочных узлов);
- варьируется размер «острова» (в % от суммарных длины и нагрузки линии);
- подключение ИРГ осуществляется в начале линии (участок 0-1); в середине линии (участок 1-2); в конце линии (участок 2-3).

Результаты выполненных при этом расчетов, отражающие изменение интегральных показателей надежности (в %), приведены в таблице.

Таблица 1

Размер «острова» в %	ТПРП в линии	Без ИРГ		ИРГ в начале		ИРГ в середине		ИРГ в конце	
		<i>EENS</i>	<i>SAIDI</i>	<i>EENS</i>	<i>SAIDI</i>	<i>EENS</i>	<i>SAIDI</i>	<i>EENS</i>	<i>SAIDI</i>
17	нет	100,0	100,0	103,1	103,1	92,7	92,7	82,3	82,3
	есть	100,0	100,0	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5
33	нет	100,0	100,0	100,0	100,0	83,3	83,3	66,7	66,7
	есть	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
50	нет	100,0	100,0	103,1	103,1	84,4	84,4	65,6	65,6
	есть	100,0	100,0	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- при наличии в линии ТПРП с автоматическим КА формирование «острова» практически не дает эффекта в плане повышения надежности вне зависимости от его локализации;
- в случае отсутствия в линии ТПРП «остров» выгоднее формировать в конце линии (в рассмотренном примере показатели надежности улучшились до 33 % в зависимости от объема нагрузки, обеспечиваемой ИРГ).

3 Технические проблемы создаваемые распределенной генерацией

Помимо этого расширение применения распределенной генерации создает определенные технические проблемы, которые связаны с изменением свойств распределительных сетей и для своего решения требуют разработка новых устройств релейной защиты, автоматики и принципов их применения [1]. При этом может возникнуть необходимость:

- в установке нового или переносе как минимум одного существующего КА с целью выделения «острова». При этом затраты на перенос существующего реклоузера на новое место составляют порядка 30 % от затрат на приобретение и установку в линии нового реклоузера;
- в перенастройке релейной защиты и автоматики (РЗиА) на питающих подстанциях. При этом может потребоваться замена РЗиА и/или выключателей старого типа на современные (например, вакуумные или элегазовые);
- в использовании в точках подключения ИРГ к линии современных КА и согласовании работы их средств РЗиА с уже существующими в линии реклоузерами и выключателями на питающей подстанции;
- целесообразностью замены установленных на ответвлениях линии предохранителей на более дорогостоящие, но в меньшей степени зависящие от величин и направлений токов КЗ секционализеры.

Следовательно, в рассмотренных условиях различные варианты интеграции ИРГ в электрические сети обеспечивают практически одинаковый уровень надежности электроснабжения, но требуют для своей реализации различных объемов затрат.

Таким образом, становится очевидным, что принятие решения относительно оптимального варианта использования источника распределенной генерации должно базироваться на процедурах многокритериального сравнения альтернатив, которые должны позволять эффективно работать с критериями, которые различны как по своей физической природе, так и размерности.

4 Алгоритм многокритериального сравнения альтернативных вариантов использования средств распределенной генерации

Для данной цели рассмотрим алгоритм, предложенный Беллманом и Заде [5] и который отвечает указанным требованиям. Согласно данному подходу первоначально каждая целевая функция $F_p(X)$ заменяется нечеткой функцией или нечетким множеством

$$A_k = \{X, \mu_{A_k}(x)\}, \quad x \in L, \quad k = 1, \dots, q,$$

где $\mu_{A_k}(x)$ - функция принадлежности нечеткого множества A_k , L - область допустимых решений.

В этом случае нечеткое решение D формируется на основе применения некоторого оператора агрегирования, в частности, используя операцию минимизации, и определяется согласно условию

$$x^* = \arg \max_{x \in P} \min_{k=1, \dots, q} \mu_{A_k}(x), \quad \text{где } P - \text{область компромиссов (область Парето)}.$$

Здесь функции принадлежности $\mu_{A_k}(x)$, $k = 1, \dots, q$ должны отражать степень принадлежности нечеткими целевыми функциями своих оптимальных значений. Указанному условию, в частности, отвечают следующие функции принадлежности:

- для целевых функций подлежащих максимизации

$$\mu_{A_k}(x) = \left[\frac{f_k(x) - \min_{x \in L} f_k(x)}{\max_{x \in L} f_k(x) - \min_{x \in L} f_k(x)} \right]^{w_k}, \quad (1)$$

- для целевых функций подлежащих минимизации

$$\mu_{A_k}(x) = \left[\frac{\max_{x \in L} f_k(x) - f_k(x)}{\max_{x \in L} f_k(x) - \min_{x \in L} f_k(x)} \right]^{w_k}. \quad (2)$$

В приведенных выражениях показатель w_k характеризует степень важности (вес) отдельных целевых функций и его аргументированное задание может существенно влиять на принятие окончательного решения.

Субъективные методы определения весов целевых функций основаны в основном на использовании экспертных оценок и в рассматриваемом случае не могут быть применены, т.к. эксперт чаще всего не в состоянии оценить, что важнее – снизить потери энергии, повысить надежность электроснабжения или обеспечить надлежащий режим напряжений. В связи с этим в работе сделана ориентация на объективные методы оценки [6].

IEW (Information Entropy Weighting method) принято рассматривать в качестве одного из таких методов. В основе данного подхода лежит оценка энтропии информации, используемой при решении той или иной задачи, и веса отдельных целевых функций определяются в процессе выполнения следующей процедуры.

1. Используя вычисленные значения функций принадлежности нечетких целевых функций (1), (2), энтропия находится следующим образом

$$H_i = - \left(\sum_{j=1}^m e_{ij} \ln e_{ij} \right), \quad e_{ij} = \frac{1 + \mu_{A_k}}{\sum_{j=1}^m (1 + \mu_{A_k})}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m.$$

2. Определяется показатель

$$G_i = 1 - H_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

При этом, чем больше значение G_i , тем меньше энтропия информации, представляемой данной целевой функцией, что говорит о том, что она вносит больше информации в процедуру принятия решения и, следовательно, должна иметь больший вес.

3. На конечном этапе вычисляются веса отдельных целевых функций

$$w_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i}, \quad i = 1, \dots, n.$$

5 Выводы

Оценка эффективности применения источников распределенной генерации должна базироваться на комплексной оценке, рассматривая одновременно их влияние на потери электрической энергии, режим напряжений и надежность электроснабжения.

Обеспечение нормируемой надежности электроснабжения может потребовать значительных дополнительных затрат, которые зависят от точек интеграции генерирующих источников в распределительные сети.

Алгоритм Беллмана-Заде является эффективным инструментом для многокритериального сравнения альтернативных вариантов использования средств распределенной генерации, учитывая, что частные целевые функции имеют различную физическую природу и размерность.

Список литературы

1. *Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П.* Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // *Технічна електродинаміка*.– 2010.– № 6.– С. 44-50.
2. *Попов В.А., Ярмолюк Е.С., Ткаченко В.В., Саид Банузاده Сахрагард* К вопросу рациональной интеграции источников распределенной генерации // *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, Спеціальний випуск, Частина 1*.– Київ, 2011.– С. 111–121.
3. *Antikainen J., Repo S., Verho P., Jarventausta P.* Possibilities to Improve Reliability of Distribution Network by Intended Island Operation // *International Journal of Innovations in Energy Systems and Power*.– April 2009.– Vol. 4, № 1.– pp 22–28.
4. *Про затвердження* форм звітності № 11-НКРЕ (квартальна) «Звіт щодо показників надійності електропостачання» та № 12-НКРЕ (квартальна) «Звіт щодо показників комерційної якості надання послуг» та інструкцій щодо їх заповнення // *Постанова НКРЕ України № 1015 від 25.07.2013 р.*
5. *Bellmann R.E., Zadeh L.A.* Decision-making in a fuzzy environment // *Management Science*.– 1970.– № 17.– pp. 141–164.
6. *Гинявичюс Р., Подвезько В.* Влияние весов частных критериев на результаты многокритериальной оценки // *Вісник НАУ*.– 2004.– № 3.– стр. 37-41.

V.A. POPOV¹, P.J. EKEL², V.V. TKACHENKO¹, S. BANUZADE SAKHRAGARD³

¹ Energy saving and energy management institute of National Technical University of Ukraine "KPI"

² Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Ave. Dom Jose Gaspar

³ Iranian NIK Energy

TAKING INTO ACCOUNT THE FACTOR OF POWER SUPPLY RELIABILITY FOR COMPLEX ASSESSMENT OF OPTIONS OF DISTRIBUTED GENERATION INTEGRATION IN THE DISTRIBUTION NETWORKS

An approach to the integrated assessment of the impact of distributed generation on such indicators of distribution networks operation as the losses of electrical energy, the voltage regime and the reliability of power supply based on the Bellman-Zadeh procedures for the multi-criteria comparison of alternatives is proposed. The method of partial objective functions differentiation based on the evaluation of entropy is justified. Particular attention is paid to the peculiarities of reliability analysis for various connectivity options of generating sources to the electricity grid.

Key words: distributed generation, power supply reliability, multi-criteria decision making, entropy of information.

References

1. Stohnii B.S., Kyrylenko O.V., Denysyuk S.P. Intelligent electric mains of electrical power systems and their technological support // *Tekhnichna elektrodynamika*.– 2010.– № 6.– pp. 44-50. (Ukr)
2. Popov V.A., Yarmoliuk E.S., Tkachenko V.V., Saeed Banuzade Sakhragard On the rationality of integration of distributed generation sources // *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy, Spetsialnyi vypusk, Chastyna 1*.– Kyiv, 2011.– pp. 111–121. (Rus)
3. Antikainen J., Repo S., Verho P., Jarventausta P. Possibilities to Improve Reliability of Distribution Network by Intended Island Operation // *International Journal of Innovations in Energy Systems and Power*.– April 2009.– Vol. 4, № 1.– pp 22–28.
4. On approval of the reporting forms № 11-NERC (quarterly) «Report on the electricity supply reliability indexes» and № 12-NERC (quarterly) «Report on the commercial service quality indexes» and instructions for filling them // NERC of Ukraine Resolution № 1015 of 25.07.2013. (Ukr)
5. Bellmann R.E., Zadeh L.A. Decision-making in a fuzzy environment // *Management Science*.– 1970.– № 17.– pp. 141–164.
6. Ginevicius R., Podvezko V. The influence of the criteria weights on the results of multicriteria analysis // *Visnik NAU*.– 2004.– № 3.– pp. 37-41. (Rus)

УДК 621.316.11

В.А. ПОПОВ¹, канд. техн. наук, доц., П.Я. ЕКЕЛЬ², д-р техн. наук,
В.В. ТКАЧЕНКО¹, канд. техн. наук, С. БАНУЗАДЕ САХРАГАРД³, аспирант

¹ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

² Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Ave. Dom Jose Gaspar

³ Iranian NIK Energy

УРАХУВАННЯ ФАКТОРА НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ВАРІАНТІВ ІНТЕГРАЦІЇ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В РОЗПОДІЛЬНІ МЕРЕЖІ

У роботі запропоновано підхід для комплексної оцінки впливу розосередженої генерації на такі показники ефективності роботи розподільчих мереж як втрати електричної енергії, режим напруг і надійність електропостачання на підставі процедури Беллмана-Заде для багатокритеріального порівняння альтернатив. Обґрунтовано метод диференціації ваг цільових функцій на основі оцінки ентропії. Особливу увагу приділено особливостям аналізу надійності при різних варіантах підключення генеруючих джерел до електричних мереж.

Ключевые слова: розосереджена генерація, надійність електропостачання, багатокритеріальне прийняття рішень, ентропія інформації.

Надійшла 10.05.2015

Received 10.05.2015

М.Д. АДАМБАЕВ¹, канд. техн. наук, доц., А.М. АУЭЗОВА², канд. техн. наук, А.М. АДАМБАЕВА
¹ Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева
² Алматинский университет энергетики и связи

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭНЕРГОЕМКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Приведены результаты лабораторных исследований новой энергоэффективной технологии измельчения сырья. Эти технологии являются одной из наиболее энергоемких производств в промышленности. Полученные данные подтверждают возможность получения прорывных технико-экономических показателей при внедрении предлагаемой инновационной технологии измельчения сырья в шаровых мельницах. Последнее достигается за счет поддержания в них оптимальных траекторий движения внутримельничной загрузки в зависимости от постоянно меняющихся физико-механических свойств (крепости) измельчаемого продукта. В мельнице оперативно реализуются наиболее эффективные режимы измельчения (ударом, истиранием, раздавливанием). Достигнуто снижение удельных энергозатрат в зависимости от крепости измельчаемого материала на 31,3÷43,5 % с одновременным повышением производительности мельницы для сырья различного класса крепости на 22,3÷57,3 %. Для промышленных испытаний предлагаемой технологии разработан вариант системы автоматического контроля крепости измельчаемого материала в мельнице. Библ. 6, табл. 3, рис. 2.

Ключевые слова: энергоэффективность, шаровые измельчение, крепость сырья, инновационная технология, лабораторные исследования, траектория движения, контроль крепости сырья

В мире измельчаются миллиарды тонн угля, рудных и не рудных полезных ископаемых. При таком громадном объеме производства даже небольшой процент повышения эффективности этих производств сулит огромные экономические выгоды. Процессы измельчения весьма энергоемки, в связи с этим стоимость электрической энергии в себестоимости таких процессов составляет более 22 % при среднем значении этого показателя для всех технологических процессов 2,6 %.

Поэтому создание новой эффективной технологии измельчения, позволяющей значительно повысить производительность измельчительных агрегатов и снизить удельный расход электроэнергии, безусловно, является актуальной проблемой.

Существующие технологии измельчения с постоянной (неуправляемой) траекторией движения внутримельничной загрузки малоэффективны, т.к. работают при заведомо пониженной производительности, рассчитанной на наиболее трудноизмельчаемое сырье. Поэтому необходима новая технология измельчения полезных ископаемых, которая мгновенно адаптируется к изменениям крепости исходного сырья.

Известно, что измельчение твердых полезных ископаемых производится тремя способами: ударом для крепких руд, истиранием для руд средней крепости и раздавливанием для мягких руд [1]. Таким образом, основная идея работы заключается в поддержании в измельчительных агрегатах оптимальной траектории движения внутримельничной загрузки (оптимальные режимы измельчения) в зависимости от крепости измельчаемого материала. Для сухого измельчения (углеподготовка на тепловых электростанциях, производство цемента и фосфоритной руды) испытана опытная система оперативного измерения крепости измельчаемого материала в шаровых мельницах (ноу-хау).

Испытания проведены по методу Фаренвольда [2]. Для обработки экспериментальных данных использованы прикладные методы изложенные в [3].

Некоторые результаты исследований работы лабораторной шаровой мельницы при постоянной и управляемой траектории движения внутримельничной загрузки приведены ниже.

Оценка полученных результатов ведется по следующим характеристикам процесса измельчения:

- 1) Содержание класса -0,074 мм в измельченном продукте β_{74}^i %, где i - индекс режима (1- скорость постоянная, 2-двухскоростной режим, 3-режим с меняющейся траекторией во времени);
- 2) Абсолютное увеличение содержания класса -0,074 мм в выходном продукте:

$$\gamma_{74}^i = \beta_{74}^i - d_{74}^i, \%$$

где β_{74}^i - содержание класса -0,074 мм после измельчения;

d_{74}^i - содержание класса -0,074 мм в исходной пробе;

3) Увеличение содержания класса -0,074 мм при новом режиме по сравнению с режимом на постоянной скорости

$$Z = \gamma_{74}^i - \gamma_{74}^1, \%$$

4) Удельная производительность по вновь образованному классу -0,074 мм:

$$q_{74}^i = \frac{60 \cdot Q \cdot \gamma_{74}^i}{100 \cdot V_m \cdot T_{из}}, \frac{\text{кг}}{\text{л} \cdot \text{час}}$$

где Q - навеска пробы, кг, Q = 1,5;

$T_{из}$ - время измельчения, $T_{из} = 24$ мин;

V_m - рабочий объем мельницы, $V_m = 7$ л;

5) Абсолютно увеличение удельной производительности

$$\Delta q = q_{74}^i - q_{74}^1, \frac{\text{кг}}{\text{л} \cdot \text{час}};$$

6) Относительное увеличение удельной производительности

$$\xi = \frac{\Delta q}{q_{74}^1}, \%$$

Результаты опытов и расчетов сведены в таблицу 1. Из таблицы 1 видно, что по сравнению с режимом на постоянной скорости предлагаемый режим на пробах серии «А», «В», «С» дает увеличение процентного содержания класса -0,074 мм соответственно на 9,5 %, 13 % и 11,9 %, удельной производительности на 0,049, 0,07 и 0,069 кг/л час, относительное увеличение производительности на 41,4, 55,5 и 50 %. Для оценки на содержание шламов были взяты пробы серии «В». Величина шламообразования оценивалась по классу -0,054 мм. Оказалось, что количество шламов уменьшилось на 3,5 %, говорящее о сужении крупности готового продукта в нужном диапазоне крупности. Относительное уменьшение количества шламов в сравнении с режимом на постоянной скорости равно 16,8 %. Характеристика крупности исходных проб и продуктов измельчения на разных режимах проведена на рисунке 1. Там же даны осциллограммы скорости вращения мельницы. Анализ кривых показывает, что увеличение содержания класса -0,074 мм в готовом продукте происходит за счет уменьшения содержания более крупных классов +0,14 мм и частично за счет уменьшения количества тонких классов -0,054 мм.

Таблица 1 - Результаты сравнений процесса измельчения при постоянной скорости вращения (1) и при двухскоростном режиме (2)

Серия	i	d_{74}	β_{74}	γ_{74}	q_{74}	Z_{74}	Δq	ξ
2	3	4	5	6	7	8	9	10
«А»	1	25,4	47,0	21,6	0,116	9,5	0,049	41,4
	2	25,4	56,5	31,1	0,169			
«В»	1	17,6	41,2	23,6	0,126	13,0	0,07	55,5
	2	17,6	54,2	36,6	0,196			
«С»	1	9,4	36,2	25,8	0,138	11,9	0,069	50,0
	2	9,4	48,1	38,7	0,207			

По результатам испытаний произведена оценка энергоэффективности исследуемого режима. Мощность замерялась по показаниям амперметра и вольтметра. Расход энергии одного цикла измельчения определялся произведением времени работы двигателя и потребляемой мощности по формуле:

$$N = \frac{T_{из} \cdot (\kappa_0 P_0 + P_n \cdot \kappa_n)}{60} \text{ кВт} \cdot \text{час},$$

где κ_0 - коэффициент времени работы на основной скорости, $\kappa_0 = 0,84$;

κ_n - коэффициент работы на повышенной скорости, $\kappa_n = 0,16$;

P_0 и P_n - развиваемая мощность двигателя соответственно на основной и повышенной скорости.

Значение энергоэффективности процесса измельчения вычислялось по формуле:

$$\Xi = \frac{G}{N} \frac{\kappa_2}{\kappa_{Вт \cdot час}},$$

где $G = q_{74} \cdot V_m$ -производительность мельницы по классу -0,074 мм.

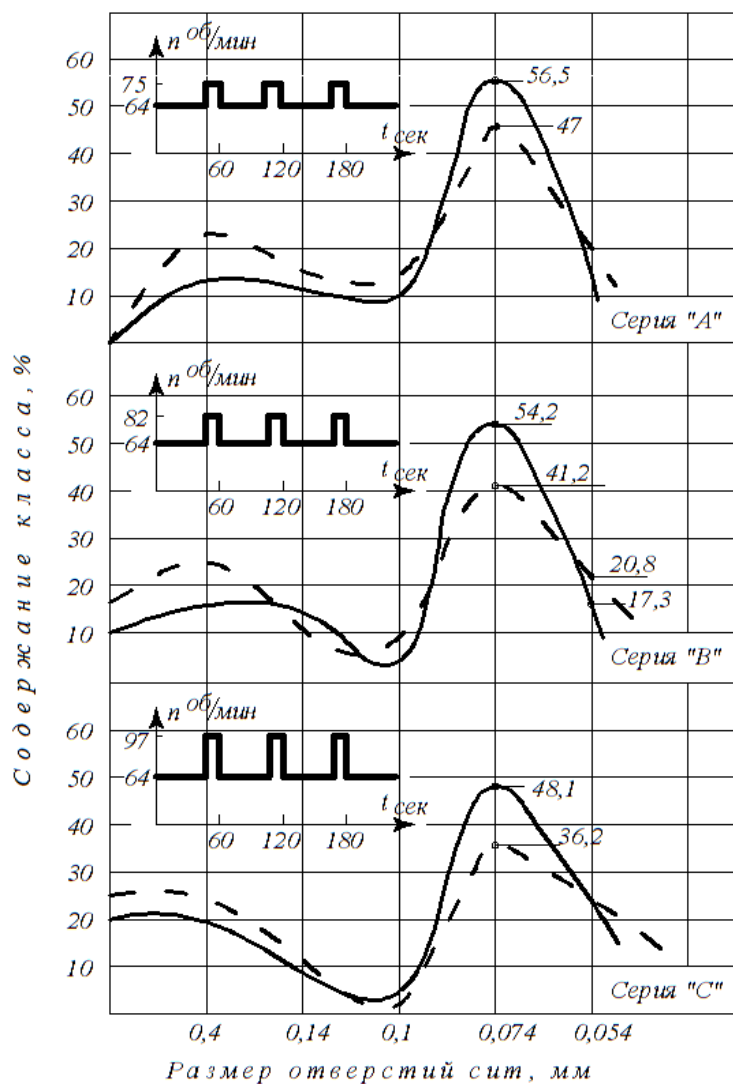


Рисунок 1 - Частная характеристика крупности измельченного продукта
 — режим с управляемой траекторией;
 --- режим с постоянной траекторией;

Результаты замеров и вычислений приведены в таблице 2.

В сравнении с режимом постоянной траекторией движения внутримельничной загрузки режим с управляемой траекторией на пробах серии А, В, С дают абсолютно увеличение энергоэффективности и процентах 31,2-48,4 %.

Таблица 2 - Результаты опытов и расчетов при определении энергоэффективности различных технологий измельчения

Проба серии	Режим работы	Индекс режима	G кг	N кВт·час	$\frac{\Delta \varepsilon}{\text{кВт} \cdot \text{час}}$	$\frac{\Delta \varepsilon}{\text{кВт} \cdot \text{час}}$	$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_1} \cdot 100 \%$
«А» (-2+0)	$\omega = \text{const}$	1	0,812	0,095	9	2,8	31,2
	$\omega = \text{var}$	2	1,169	0,098	11,8		
«В» (-3+0)	$\omega = \text{const}$	1	0,882	0,095	9,3	4,5	48,4
	$\omega = \text{var}$	2	1,372	0,099	13,8		
«С» (-5+0)	$\omega = \text{const}$	1	0,966	0,095	10,1	4,4	43,5

Следующий этап исследования режима управляемой траекторией заключался в выявлении характера скорости образования готового продукта. На пробах серии «С» было взято время измельчения равное 12 мин. Результаты испытания приведены на рисунке 2. Анализ кривых показывает, что скорость образования продукта по классу -0,074 мм до $t_1 = 12$ мин растет, затем падает и при $t = 24$ мин становится меньше, чем при режиме на постоянной траектории. Темп нарастания и спадания скорости образования продукта при исследуемом режиме в два раза больше, чем при режиме с постоянной траекторией.

Результаты экспериментов и расчетов процесса измельчения при меняющейся траектории движения во времени приведены в таблице 3.

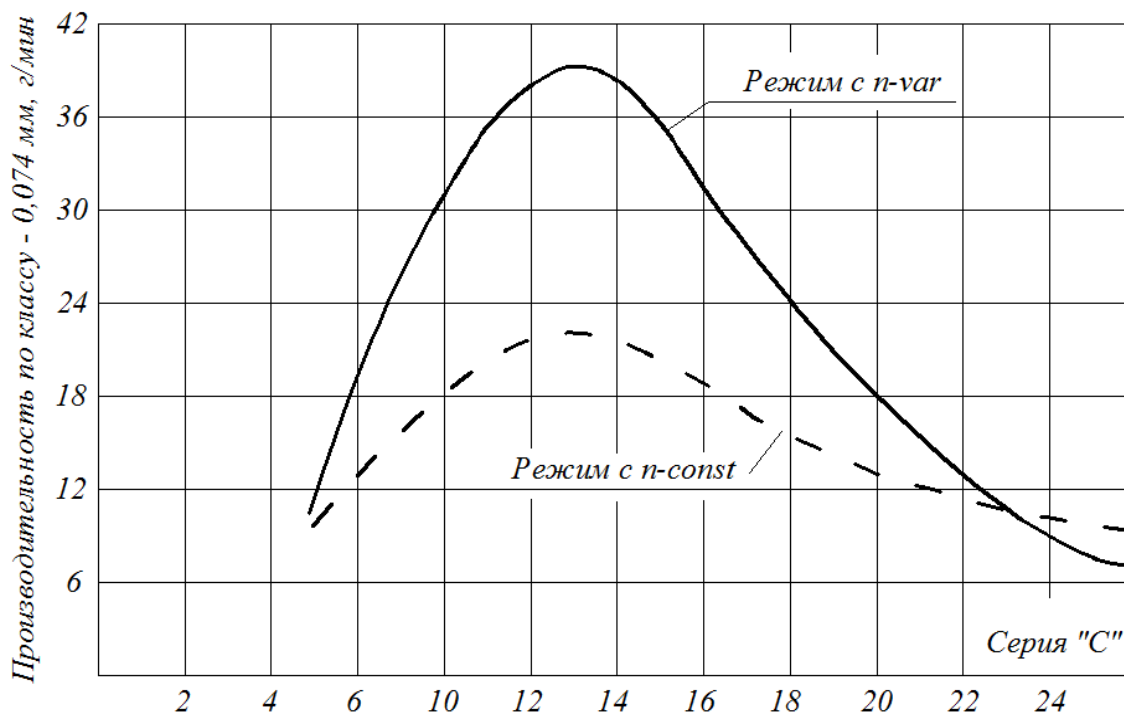


Рисунок 2 - Зависимость производительности по классу – 0,074 мм от времени измельчения.

Из таблицы 3 следует, что относительное увеличение содержания класса -0,074 мм при изменяемой скорости вращения больше, чем при постоянной скорости, на 6,9-15,5 %. Удельная производительность (на единицу объема мельницы) возрастает на 19,7-57,3 % по отношению к производительности при постоянной скорости вращения. Значительная разница в увеличении производительности на одних и тех же пробах по грансоставу, но разных месторождений 43,7-57,3 % и 19,7-22,3 % свидетельствуют о том, что руды значительно отличаются по физико-механическим свойствам, следовательно диаграмма изменения скорости вращения должна быть разной для разных руд [4].

Для проведения подобных экспериментов на действующих промышленных установках необходимым условием является наличие системы оперативного контроля крепости измельчаемого сырья в шаровой мельнице, позволяющего управлять траекторией движения внутримельничной загрузки в оптимальном режиме. Для двухкамерных сепараторных мельниц вариант такой системы разработан [5].

Таблица 3 - Результаты сравнения процесса измельчения при постоянной скорости вращения (1) и при меняющейся скорости во времени (3)

Серия	i	d_{74} %	β_{74} %	q_{74} $\frac{кг}{л \cdot час}$	Z_{74} %	Δq $\frac{кг}{л \cdot час}$	ξ %
«Д»	1	0	27,4	0,144	15,5	0,084	57,3
	3	0	42,5	0,228			
«L»	1	0	30,0	0,16	10,4	0,056	35,0
	3	0	40,4	0,216			
«К»	1	0	22,6	0,121	9,9	0,053	43,7
	3	0	32,5	0,174			
«М»	1	0	35,2	0,188	6,9	0,037	19,7
	3	0	42,1	0,225			
«N»	1	0	28,3	0,153	6,9	0,035	22,3
	3	0	35,2	0,188			

Таким образом по результатам исследования можно сделать следующие основные выводы:

1) Расчеты по расходу электроэнергии на измельчение показали, что расход энергии на 1 кг готового продукта снижается на 31,3-43,5 %.

2) Испытания переменного скоростного режима во времени показали увеличение производительности по классу - 0,074 мм на пробах с узким классом крупности на 0,035-0,084 $\frac{кг}{литр \cdot час}$, что в процентах относительно режима с постоянной скоростью составляет соответственно 22,3-57,3 %.

Список литературы

1. Адамбаев М.Д. Автоматическое управление процессами сухой рудоподготовки. – Алматы: Комплекс, 2003. – 163с.
2. *Fahrenwald A.W.* Grinding and Classification. Report of Investigation, Bureau of Mines, USA, ser. 2829.
3. Адамбаев М.Д. Теория и практика технического эксперимента в электроэнергетике. – Алматы: КазНТУ, 2013. –237с.
4. Адамбаев М.Д. Повышение эффективности процесса сухого измельчения. Идентификация и Автоматизация. Saarbrucken, Deuschlang (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishiuq, 2014. – 237с.
5. Инновационный патент №20963 Республики Казахстан «Способ автоматического контроля суммарной загрузки двухкамерной сепараторной мельницы и устройство для его осуществления». Оpubл. 16.03.2009, бюл.№3 /Адамбаев М.Д., Абдикадилов Н.Н., Адилханов Д.Б., Достанов Д.А.

M.D. ADAMBAYEV¹, A.M. AUEZOVA², A.M. ADAMBAYEVA

¹ K.I. Satpayev Kazakh National Technical University

² Almaty University of Power Engineering & Telecommunications

THE ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY OF POWER-INTENSIVE GRINDING PROCESS

Below - The results of laboratory studies of new energy efficient technologies grinding of raw materials. These technologies are the one of the most energy-intensive industries in the industry. These findings confirm the possibility of getting of groundbreaking of the technical and economic indicators in the implementation of the proposed innovative raw material grinding in ball mills. The last one is achieved by maintaining them in optimal trajectories of in-mill download depending on the constantly changing physical and mechanical properties (strength) of the crushed product. Inside the mill the most effective modes of grinding are quickly realized (impact, abrasion, crushing). Achieved a reduction in specific energy consumption depending on the strength of crushed material to 31,3 ÷ 43,5% while increasing productivity mills for raw materials of various classes fortress on 22,3 ÷ 57,3%. For Industrial test of offering technology was developed the variant of the automatic control of the fortress of the crushed material in the mill. The Books 5, Tables 3, Fig. 2.

Key words: energy efficiency, ball milling, the fortress of raw materials, innovative technology, laboratory tests, the moving trajectory, the control of the fortress of raw materials.

References

1. *Adambayev M.D.* Automatic control of processes of ore dressing dry. - Almaty: Kompleks, 2003. – 163p. (Rus.).
2. *Fahrenwald A.W.* Grinding and Classification. Report of Investigation, Bureau of Mines, USA, ser. 2829.

3. Adambayev M.D. The Theory and practice of technical experiment in the power industry. - Almaty: KazNTU, 2013. - 237p. (Rus.).

4. Adambayev M.D. The Improvement of the efficiency of dry grinding. Identification and Automation. Saarbrucken, Deutschland (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishiug, 2014. – 237p. (Rus.).

5. Innovative patent №20963 of the Republic of Kazakhstan "A method for automatically controlling the total load two-compartment separator mill and device for its implementation." Publ. 16-03-2009, byul.№3 /Adambayev M.D., Abdikadirov N.N., Adilkhanov D.B., Dostanov D.A. (Rus.).

Надійшла 24.05.2015

Received 24.05.2015

УДК 65.011.56,62-503.5

А.А. КОПЕСБАЕВА, канд. техн. наук, доц., Е.С. КИМ,
А.М. АУЭЗОВА, канд. техн. наук, З.В. АБДУЛИНА
Алматинский университет энергетики и связи

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА БАЗЕ СПЛК SIMATIC S7-1200

Предлагается структура и основные компоненты экспериментальной площадки научных исследований современных проблем интеллектуальных систем автоматического управления технологическими процессами. Разработаны основные компоненты трехуровневой системы управления производством. Приведен перечень технического оборудования, обеспечивающего весь спектр задач управления современной системой автоматизации предприятия. Приведен пример реализации и результаты исследований интеллектуальной системы на базе свободно-программируемого логического контроллера Simatic 1200.

Ключевые слова: автоматизация, интеллектуальные системы, свободно-программируемый контроллер, диспетчерский пункт сбора данных, микроконтроллер, промышленная сеть.

Проблемы исследования современных систем автоматизации требуют наличия соответствующих экспериментальных площадок. На сегодняшний день существует множество решений в области автоматизации технологических процессов, позволяющие свободно решать широкий спектр задач, обладающие компактной конструкцией, низкой стоимостью, и мощным набором команд для огромного количества приложений в области управления [3,4].

В рамках научного сотрудничества с представительством фирмы Siemens в Казахстане в Алматинском университете энергетики и связи (АУЭС) создана экспериментальная учебная и научно-исследовательская площадка многоуровневой системы автоматизации производственного процесса. Данная экспериментальная площадка базируется на учебных лабораториях кафедры Электроника. Структура экспериментальной площадки построено по иерархическому принципу современного производства. На рисунке 1 представлены три уровня экспериментальной площадки:

Интеллектуальная система центрального диспетчерского пункта (ИС-ЦДП), Интеллектуальная система промышленной сети контроллеров управления (ИС-ПС), интеллектуальная система информационно-измерительных каналов (ИИС). Состав технических средств предусматривает наиболее современные микропроцессорные средства измерения, управления, регулирования. Структура интеллектуальных подсистем построена таким образом, что замена любого из элементов осуществляется легко. Соответствующее современным требованиям техническое оборудование данной экспериментальной площадки показано на рисунке 1. Соответственно профилю ВУЗа предусмотрены следующие объекты исследований: насосная станция (ТО-НС), калориферная установка (ТО-КУ), электроэнергетический объект (ТО-ЭЭ), жилищно-коммунальное хозяйство (ТО-ЖКХ), летательного аппарата (ТО-ЛА). Измеряемые технологические величины на соответствующих объектах: давление среды (P_{H_2O} , P_{O_2} , $P_{ла}$), расход среды (F_{H_2O} , F_{O_2}), температура среды (T_{H_2O} , T_{1O_2} , T_{2O_2} , T_1 , T_2), уровень (L_{H_2O}), влажность (M), концентрация газов (C_T), частота переменного тока (f), действующее значение тока (I), напряжение переменного тока (U), электрическая мощность (W), освещенность (E_1, E_2), высотомер ($H_{ла}$), скорость воздушного потока ($v_{ла}$).

Экспериментальная площадка позволяет проводить исследования по проблемам в системе, в которой используются современные технологии сбора, обработки и передачи информации. Прикладные задачи управления решают задачи адаптации к изменяющейся среде, условиям технологического процесса, изменениям технологий сбора, изменения нагрузки в системе. В системе используются современные технологии промышленной сети на свободно-программируемых логических контроллерах (СПЛК) и микроконтроллеров управления (МК), соединенных в единую промышленную сеть. Передача информации осуществляется по проводной сети Ethernet, по беспроводной сети Wi-Fi, также имеется передача информации по радио каналу SimpliciiT1.

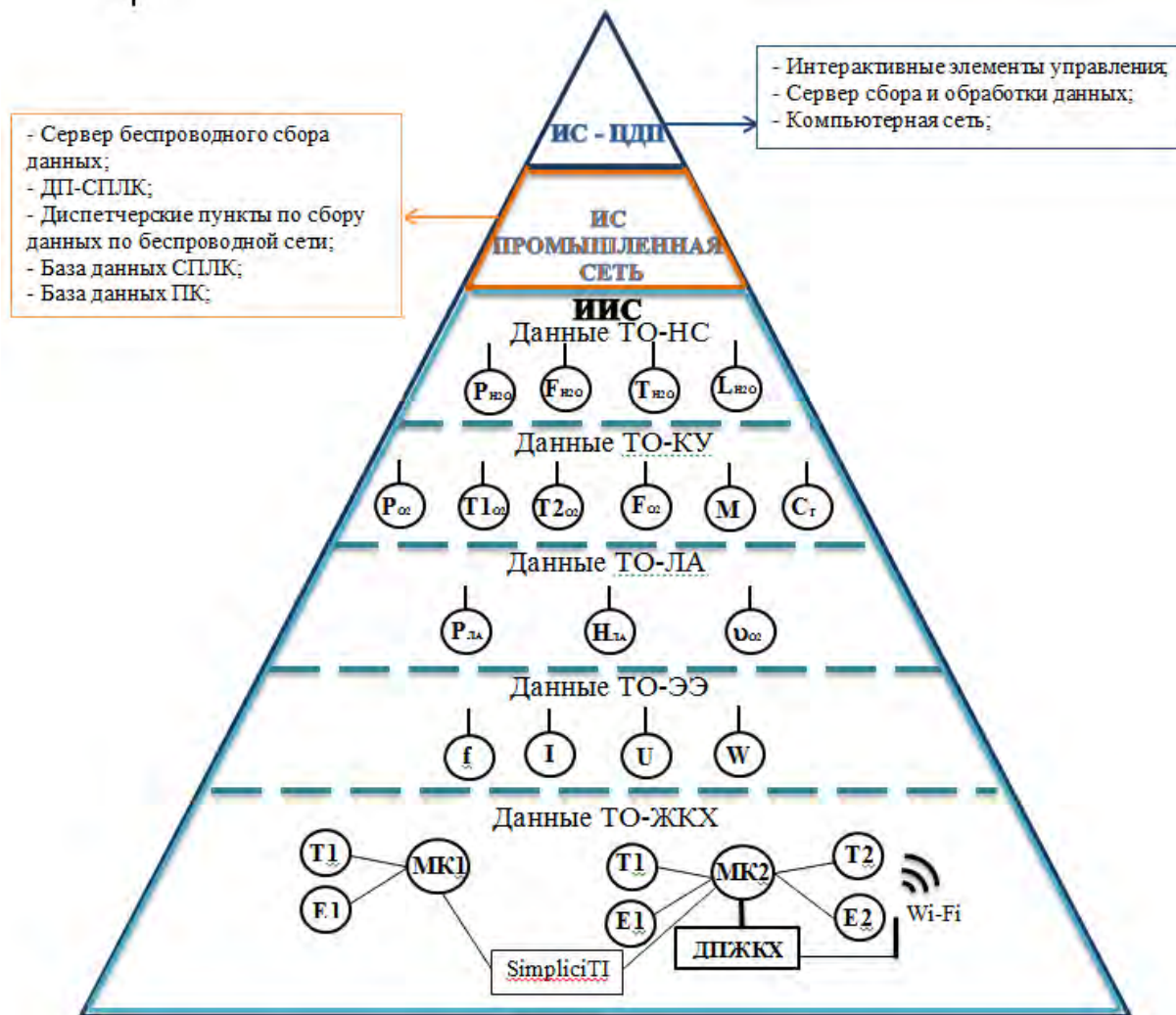


Рисунок 1

Экспериментальная площадка предусматривает (см. рисунок 2) возможность сбора данных с технологических объектов на базе СПЛК (диспетчерский пункт ТО-НС ДП-СПЛК1, диспетчерский пункт ТО-КУ ДП-СПЛК2), теплоэнергетических объектов жилищно-коммунального хозяйства на базе МК (диспетчерский пункт ДП-МКЖКХ), электроэнергетических объектов (диспетчерский пункт электроэнергетического объекта ДП-МКЭЭ), объектов летательных аппаратов (диспетчерский пункт летательных аппаратов ДП-МКЛА). В системе предусмотрены контроллеры сбора данных на современных свободно-программируемых контроллерах (СПЛК) последнего поколения Simatic S-1200, микроконтроллеры (МК) последнего поколения фирмы Texas Instruments MSP430 и PIC16F877. Каждый из элементов интеллектуальной системы информационно-измерительных каналов предусматривает измерение наиболее характерных для данного вида объектов технологических параметров. ИС-ЦДП использует современные технологии диспетчеризации, сбора и управления, информационные технологии обработки большого массива данных, интерактивного управления и регулирования технологическими параметрами.

В настоящий момент реализованы три уровня системы, включающие объекты ТО-НС, ТО-КУ, ДП-МКЖКХ. На рисунке 2 изображена связь между компонентами трехуровневая структура интеллектуальной системы управления технологическими объектами. Клиент-серверная архитектура

построенная на базе СПЛК SIMATIC S7-1200 и микроконтроллеров MSP430 осуществляет сбор данных с измерительных датчиков, обработку информации и передачу их на сервер в двух режимах: автоматическом и ручном. Сеть персональных компьютеров ПК1-ПК9 предназначенная для сбора, обработки базы данных может использоваться как для исследований, так и для обучения в интерактивном режиме.

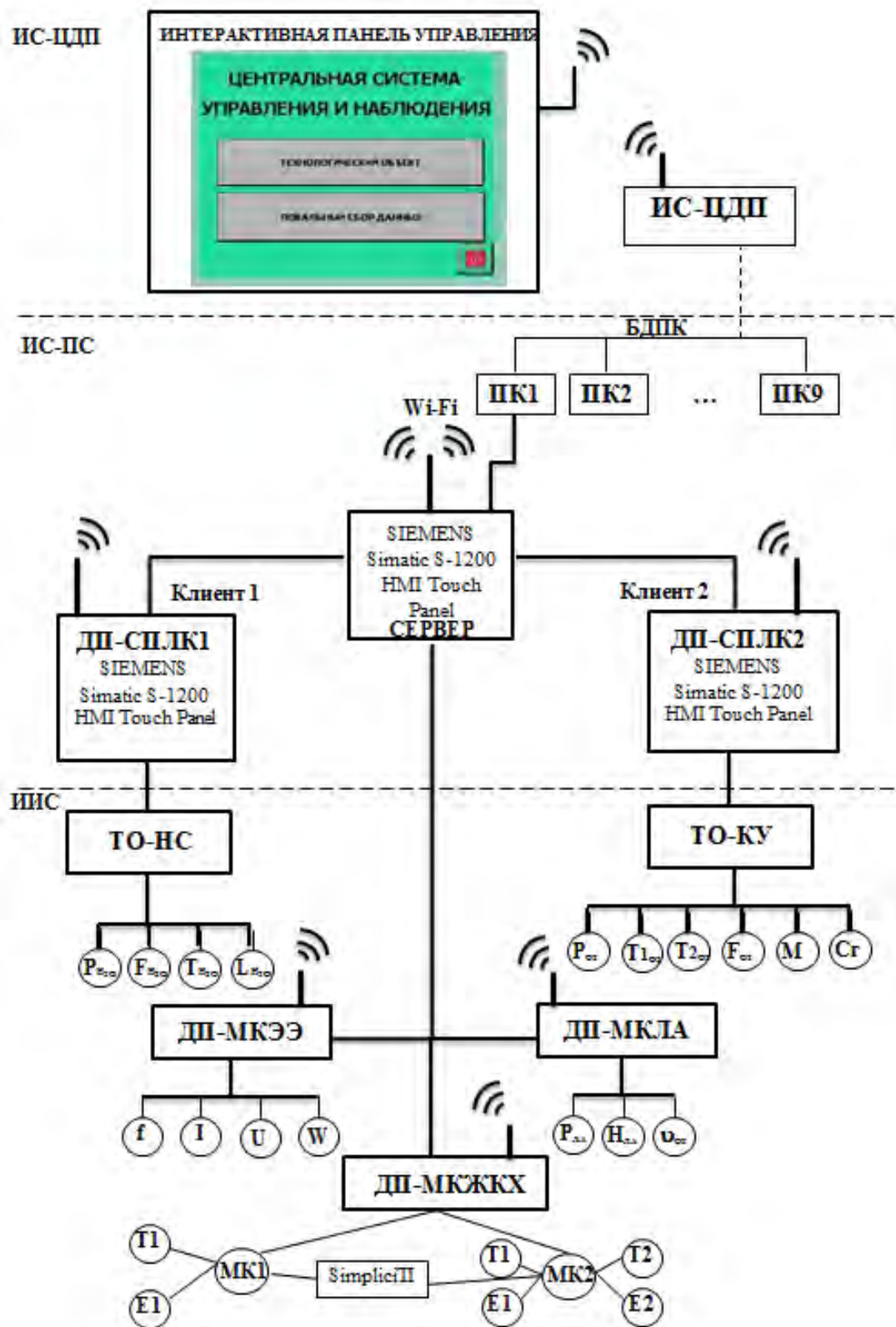


Рисунок 2

Контроллер SIMATIC S7-1200 обладает современными ПИД регуляторами, такими как функциональный блок CONT_C (регулятор непрерывного действия), который включает в себя ПИД – структуру с алгоритмом позиционирования [1, с. 33], и новейший PID_Compact может самостоятельно вычислить P-, I-, и D компоненты во время запуска (если настроен на "pretuning" - предустановку) [2, с. 59]. Также регулятор включает в себя режим для "тонкой настройки" и осуществляет регулирование необходимых параметров. Все полученные данные о системе, о технологическом объекте, системных ошибках, входных/выходных как дискретных, так и аналоговых сигналах, аварийных сообщениях, переходные характеристики, графики отображены на панели оператора и на всех HMI устройствах. Обмен данными между сервером и клиентом производится через беспроводную сеть Wi-Fi с помощью протокола передачи TCP/IP.

Для программирования СПЛК используется новейший программный комплекс TIA Portal, который интегрировал в себе три основных пакета Simatic Step 7, Simatic WinCC для разработки человеко-машинного интерфейса и визуализации процессов, и Startdrive для параметризации приводов. TIA Portal – это единая платформа, которая объединяет все необходимые инструменты для разработки систем автоматизации, обладает единой концепцией операторского управления для решения всех задач автоматизации с помощью общих служб (конфигурация, коммуникация, диагностика), использует автоматическое согласование данных и проекта, обладает мощными библиотеками, охватывающие все объекты автоматизации.

TIA Portal позволяет работать PID_Compact в удобном для пользователя режиме программирования и настраивать начальные параметры регулятора, в том числе возможность выбора структуры ПИ или ПИД. PID_Compact позволяет осуществлять выбор необходимых входных и выходных данных в зависимости от объекта, его свойств и сигналов, как показано на рисунке 3. Одним из преимуществ работы с PID_Compact возможность работать с блоком как в не активном, так и в онлайн режиме, и оптимизировать работу с регулятором исключив все не нужные параметры, что не влияет на работу регулятора [2, с.63].

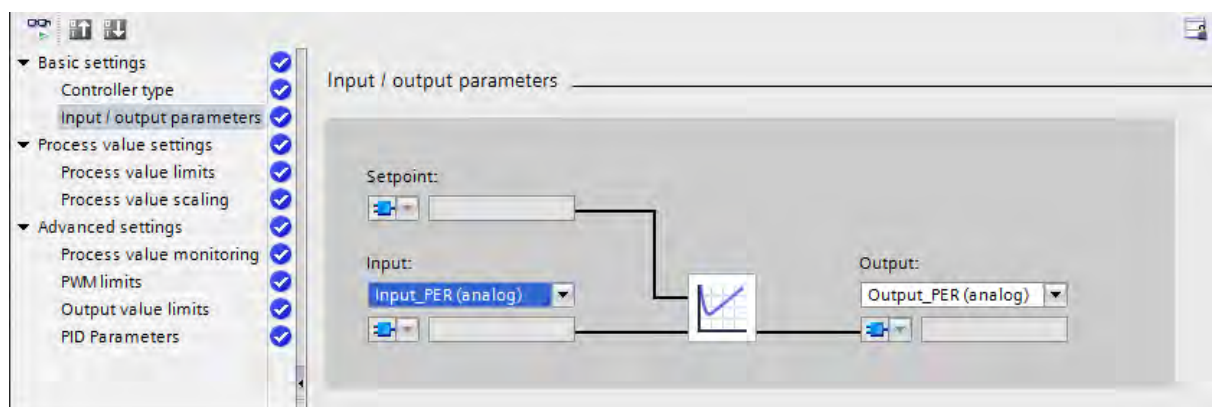


Рисунок 3

Проведена реализация интеллектуальной системы на базе робастного контроллера. Проведен ряд экспериментов по исследованию степени робастности функциональный блок CONT_C. Экспериментальный стенд позволяет создавать одновременно несколько возмущающих воздействий на регулируемый технологический объект, моделировать разной сложности нестандартные технологические ситуации. Результаты экспериментов визуализируются в виде графиков, сохраняются в виде архивов данных для последующей обработки. Реализованы контуры регулирования уровнем, давлением, расходом и температурой жидкости. На рисунке 3 приведены графики переходных процессов результатов эксперимента по проверке робастности регуляторов по управляющему и возмущающему воздействию.

Список литературы

1. Конесбаева А.А., Ким Е.С. Исследование и реализация робастных контроллеров для управления объектами с неизвестной или неполной математической моделью. Вестник Алматинского университета энергетики и связи, №2-25, 2014 с. 32-37.
2. Конесбаева А.А., Ким Е.С. Робастный контроллер на базе стандартного функционального блока PID_Compact программного комплекса Tia Portal фирмы SIEMENS. Вестник Алматинского университета энергетики и связи, №4-27, 2014 с. 59-65.
3. SIMATIC S7-1200 - новое семейство микроконтроллеров [Электронный ресурс]: // <http://iadt.siemens.ru> (дата обращения: 30.03.2015).

4. SIMATIC S7-1200 [Электронный ресурс]: // <http://www.siemens.com/simatic/printmaterial> (дата обращения: 30.03.2015).

A.A. KOPESBAYEVA, Y.S. KIM, A.M. AUEZOVA, Z.V. ABDYLINA

Almaty University of Power Engineering & Telecommunications

INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL OBJECTS BASED ON SIMATIC S7-1200 PLC

The proposed structure and the main components of experimental research platform of intellectual control systems of automatic process modern problems. Developed the basic components of a three-tier system of production management. Specified list of technical equipment providing the full spectrum of modern management system of enterprise automation. Developed example of the results of research and intellectual systems on the basis of freely-programmable logic controller Simatic 1200.

Keywords: automation, intellectual systems, freely programmable controller, the control point of data collection, microcontroller, industrial network.

References

1. Kopesbayeva A.A., Kim E.C. Study and implementation of robust controllers for objects with unknown or incomplete mathematical models. Vestnik Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi, №2-25, 2014 p. 32-37.
2. Kopesbayeva A.A., Kim E.C. Robust controller based standard function blocks PID_Compact of Tia Portal software by SIEMENS. Vestnik Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi, №4-27, 2014 p. 59-65.
3. SIMATIC S7-1200 - new family of microcontrollers [Electronic resource]: // <http://iadt.siemens.ru> (date of access: 30.03.2015).
4. SIMATIC S7-1200 [Electronic resource]: // <http://www.siemens.com/simatic/printmaterial> (date of access: 30.03.2015).

Надійшла 14.04.2015

Received 14.04.2015

УДК 621.771.065:65.011.56

А.А. ШАМРАЙ, главный специалист ООО «ДТЭК Энерго»
Научный центр «Квантум»

МОДЕЛЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО АГРЕГАТА

Исследованы система автоматического управления непрерывным станом холодной прокатки. Разработана адаптивная модель, позволяющая связать функционально зависимые подсистемы автоматического регулирования. Проведена проверка достоверности модели путем сравнения теоретических и экспериментальных данных. Приведен график, отображающий процесс регулирования толщины. Библ. 2, рис. 3.

Ключевые слова: стан холодной прокатки, регулирование толщины, адаптивная модель.

Непрерывный стан холодной прокатки, как объект автоматического регулирования, характеризуется рядом взаимосвязанных регулирующих воздействий и многих возмущающих факторов (изменение твердости и толщины подката, эксцентриситет валков прокатных клетей, изменение коэффициента трения в зоне деформации и т.д.).

В задаче по усовершенствованию функционала регуляторов стана холодной прокатки, главным образом, требуется повысить динамические возможности регуляторов и расширить диапазоны ограничений. А также объединить локальные системы автоматизации в единую систему технологической автоматизации, состоящую из связанных между собой непосредственно (а не через технологический процесс), функционально зависимых друг от друга подсистем.

© А.А. Шамрай, 2015

Для выяснения возможности снижения затрат энергии, проверяли гипотезу, что помимо обжатий, оказывает влияние положение нейтрального сечения, так как энергия на пластическую деформацию расходуется только в зоне отставания, а в зоне опережения полоса возвращает валкам часть ранее затраченной энергии. Поэтому для экономии электроэнергии необходимо сдвигать нейтральные сечения ближе к сечению входа полосы в валки. [1]

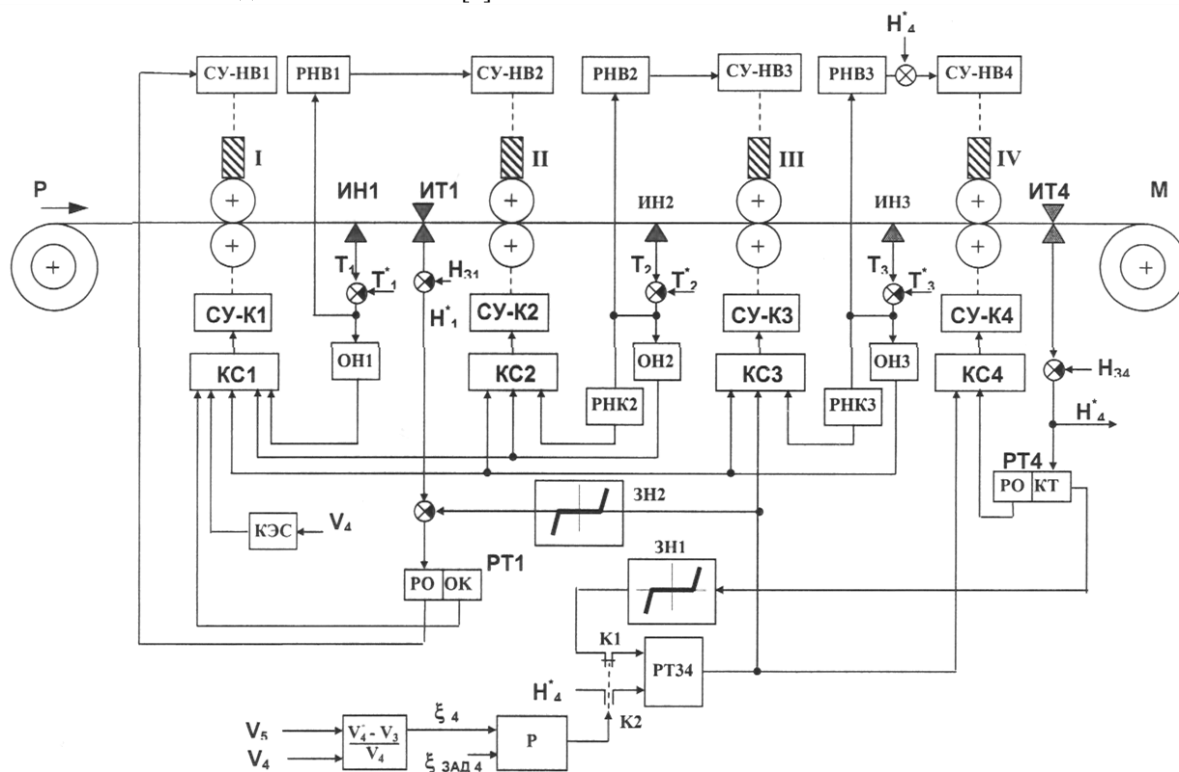


Рисунок 1

На рисунке 1 представлена функциональная схема комплексной системы автоматического регулирования толщины и натяжения стана «17900», где:

СУНВ1 - СУНВ4 – система управления нажимными винтами клетки 1...4; РНВ1 - РНВ3 – регуляторы натяжения с воздействием на нажимные винты последующей клетки; ОН1 – ОН3 – ограничители натяжения; РНК2, РНК3 – регуляторы натяжения с воздействием на предыдущую клетку; РТ1 – регулятор толщины во входной зоне стана; РТ4 – регулятор толщины с воздействием на клетку 4; РТ34 – регулятор толщины с воздействием на клетки 3,4; СУК1 – СУК4 – система управления клетью; КС1 – КС4 – компенсатор стана; КЭС – компенсатор эффекта скорости; ИН1 – ИН3 – измерители натяжения; ИТ1, ИТ4 – измерители толщины.

Математическая модель

Теоретической базой для изменения настроек и связей между регуляторами явилась оригинальная модель взаимосвязанных технологических, энергосиловых и конструктивных параметров многоклетьевого стана холодной прокатки. Математическая модель стана холодной прокатки является адаптивной моделью, величина параметров которой корректируются и уточняются по реальным их замерам в ходе прокатки с привязкой в базе данных к конкретному сортаменту.

Используя адаптивную модель энергоэффективной системы автоматического регулирования (САР) взаимосвязанных технологических, энергосиловых и конструктивных параметров, были рассчитаны оптимизированные режимы работы стана

Для линейной математической модели непрерывного стана справедлива следующая система уравнений:

$$\begin{cases} K_{U_1 T_{12}} \Delta U_1 + K_{U_2 T_{12}} \Delta U_2 + \dots + K_{U_i T_{12}} \Delta U_i + \dots + K_{U_q T_{12}} \Delta U_q = \Delta T_{12} \\ K_{U_1 T_{i,i+1}} \Delta U_1 + K_{U_2 T_{i,i+1}} \Delta U_2 + \dots + K_{U_i T_{i,i+1}} \Delta U_i + \dots + K_{U_q T_{i,i+1}} \Delta U_q = \Delta T_{i,i+1} \\ K_{U_1 T_{q-1,q}} \Delta U_1 + K_{U_2 T_{q-1,q}} \Delta U_2 + \dots + K_{U_i T_{q-1,q}} \Delta U_i + \dots + K_{U_q T_{q-1,q}} \Delta U_q = \Delta T_{q-1,q} \end{cases} \quad (1)$$

где $\Delta U_1, \dots, \Delta U_i, \dots, \Delta U_q$ – приращения управляющих воздействий (сигналов задания регуляторов напряжения якорей или регуляторов скорости двигателей клетей;

$K_{U_i T_{i,i+1}} = \frac{\Delta T_{i,i+1}}{\Delta U_i}$ – соответствующие передаточные коэффициенты.

Решение этой системы уравнений позволяет определить, каковы должны быть управляющие воздействия $\Delta U_i, i=1,2,\dots,q$, чтобы обеспечить заданные изменения межклетевых натяжений.

Для случая, соответствующего абсолютно жесткой механической характеристике. Такая характеристика имеется у привода, снабженного астатическим регулятором скорости. При наличии управляющего воздействия только со стороны изменения скорости приводных двигателей:

$$B_i = \frac{\Delta U_i}{C_{ei} n_{i0}} = \frac{\Delta n_{зад i}}{n_{i0}}, \quad (2)$$

$$\text{при } k < i-1 \quad A_{ik} = -\frac{k_{3k}}{H_{k0}} \prod_{m=k+1}^i \Phi_m - \frac{k_{3,k+1}}{H_{k+1,0}} \prod_{m=k+2}^i \Phi_m; \quad (3)$$

$$\text{при } k=i-1 \quad A_{ik} = -\frac{k_{3,i-0} \Phi_i}{H_{i-1,0}} - \frac{k_{3i}}{H_{i0}} - b_i; \quad (4)$$

$$\text{при } k=i \quad A_{ik} = -\frac{k_{3i}}{H_{i,0}} + b_i; \quad (5)$$

Здесь изменение задающего сигнала регулятора скорости $\Delta n_{зад i}$ соответствует изменению скорости привода на величину $\frac{\Delta U_i}{C_{ei}} = \Delta n_{зад i}$.

Изложенный алгоритм также дополняется другими известными зависимостями, позволяющими приблизить модель к реальному объекту.[2]

Высокая точность модели подтвердилась во время экспериментов и была достигнута за счёт особенностей, которые были учтены при построении САР. Проверку достоверности модели проведена путём сравнения расчётных и измеренных величин потребления электроэнергии. В результате была получена погрешность не превышающая 5-7%, что для таких сложных объектов считается очень высокой точностью.[3]

Для примера приведен регулятор толщины полосы по секундному объёму (PCO) в упрощенном виде. Вариант структурной реализации регулятора представлен на рисунке 2 в виде функциональной схемы PCO с интегральным РТО. Регулятор толщины полосы по секундному объёму позволяет измерять и регулировать толщину прокатываемой полосы без транспортного запаздывания непосредственно в очаге деформации.

Вычисление толщины полосы на выходе из клетки производится по соотношению (3) с использованием показаний измерителя толщины полосы ИТ1, установленного перед клетью, и измерителей скорости полосы ИС1 и ИС2 до клетки и после клетки

$$V_1 * H_1 = V_2 * H_2, \quad (6)$$

$$H_2 = H_1 * \frac{V_1}{V_2} \quad (7)$$

где V_1, V_2 - скорость полосы на входе и на выходе клетки; H_1 - толщина полосы на входе клетки; H_2 - вычисленная толщина полосы на выходе клетки.

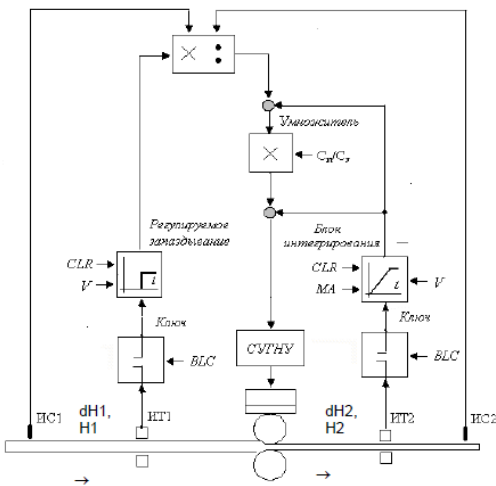


Рисунок 2

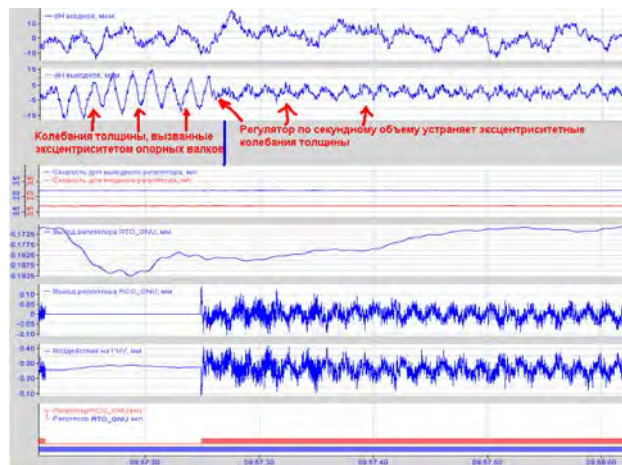


Рисунок 3

Поскольку, измерение выходной толщины ведется по скоростям полосы на входе и выходе клетки, то этот канал регулирования получается быстрым, без транспортного запаздывания, характерного для РТО. Благодаря этому удается устранять быстрые возмущения толщины, вызванные разнотолщинностью и изменением физических свойств подката, а также в значительной степени компенсировать эксцентриситетные колебания собственных опорных валков (см. рисунок 3. осциллограмма снята на стане «1200» ОАО НЛМК при прокатке стальной полосы толщиной 0,74 мм. С включенным РСО при прокатке.).

Результаты эксперимента по настройке регуляторов систем автоматизации стана.

Использование адаптивной модели энергоэффективной САР обеспечивает положительный результат. Моделирование перераспределения обжатий и натяжений приводит к экономии энергии в промежуточных клетях, что перекрывает несколько повышенный расход в последних клетях, приводя в целом по стану к экономии энергии от 4 до 8%.

Использование на уровне управления технологическим процессом мощной мультипроцессорной системы, объединяющей все функции управления и быстродействующие шины, связывающие контроллер технологической автоматизации с интеллектуальной периферией нижнего уровня (включая САР приводов) позволило, в результате объединения систем автоматизации, обеспечить повышение точности поддержания основных технологических параметров прокатки: скорости, натяжения полосы и стабильность процесса прокатки.

Список литературы

1. Гарбер Э.А., Кожевникова И.А., Трайно А.И., Кузнецов В.В., Павлов С.И. Новые методы моделирования процессов холодной прокатки, обеспечивающие улучшение качества холоднокатанных листов, экономию энергии и увеличение скорости непрерывных станов. Машины, технологии, материал, международный журнал. 2007. -№2-3. – с.108-111
2. Дружинин Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации. М., «Металлургия», 1975, 336с.
3. Шамрай А.А. Система автоматической коррекции скоростного режима непрерывной холодной прокатки полосы металла - Труды XI Международной научно-технической конференции «ПСЭ-2010»— Киев, 2010.

O.A. SHAMRAY

Scientific center «Kvantum»

MODEL OF POWER EFFECTIVE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF THE MULTI-ENGINE INDUSTRIAL UNIT

System of automatic control are investigated by a continuous of cold rolling mill. The being adaptive model, allowing to connect functionally dependent subsystems of automatic control is developed. An inspection of reliability of model by comparison of theoretical and experimental data is carried out. The schedule displaying process of regulation of thickness is provided. References 2, figures 3.

Key words: cold rolling mill, thickness regulation, adaptive model.

References

1. Garber E.A. Novel methods for cold rolling process modeling, proving cold rolled strip quality improvement, energy saving and continuous mill rolling speed increase. Mashiny, tekhnologii, material, mezhdunarodnyy zhurnal. 2007.-№2-3. – page 108-111
2. Druzhinin N.N. Continuous mills as object of automation. Moskva, «Metallurgia», 1975, 336с.
3. Shamray A.A. System of automatic correction of a high-speed mode of continuous cold rolling of a strip of metal - Works XI International scientific and technical conference «PPE-2010»— Kyiv, 2010.

УДК 621.771.065:65.011.56

O.A. ШАМРАЙ, головний спеціаліст ООО «ДТЕК Енерго»

Науковий центр «Квантум»

МОДЕЛЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ БАГАТОДВИГУННОГО ПРОМИСЛОВОГО АГРЕГАТУ

Досліджена система автоматичного управління безперервним станом холодної прокатки. Розроблена адаптивна модель, що дозволяє зв'язати функціонально залежні підсистеми автоматичного регулювання. Проведена перевірка достовірності моделі шляхом порівняння теоретичних та експериментальних даних. Приведено графік, що відображає процес регулювання товщини. Бібл. 2, рис. 3.

Ключові слова: стан холодної прокатки, регулювання товщини, адаптивна модель.

Надійшла 23.04.2015

Received 23.04.2015

Р.В. ВЛАСЕНКО, асп., О.В. БЯЛОБРЖЕСЬКИЙ, канд. техн. наук
Кременчуцький Національний університет ім. М. Остроградського

ОЦІНКА СКЛАДОВИХ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРИ РОБОТІ СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРУ ЗА СТАНДАРТОМ ІЕЕЕ 1459-2010

Наявність в промислових системах електроспоживання несинусоїдальних несиметричних навантажень вимагає нових підходів, щодо складових потужності та побудови сучасних компенсуючих пристроїв. Силовий активний фільтр забезпечує компенсацію реактивної потужності, зниження вищих гармонік та симетрування навантажень. В роботі проведено оцінку складових потужності за стандартом ІЕЕЕ 1459-2010 при роботі силового активного фільтру на несинусоїдальне несиметричне навантаження. Бібл. 7, рис. 2, табл. 1.

Ключові слова: силовий активний фільтр, ІЕЕЕ 1459-2010, теорія Фрізе.

Вступ. Безперервне зростання встановленої потужності нелінійних, несиметричних і різкозмінних навантажень не завжди супроводжується своєчасним впровадженням технічних рішень, спрямованих на забезпечення якості електроенергії, навіть в розвинених країнах Західної Європи [1].

Вплив несиметрії та несинусоїдальності на елементи систем електропостачання та електроспоживання відомий [2]. Найчастіше тривалі несиметричні і неврівноважені режими супроводжуються значними відхиленнями і коливаннями напруг, що викликаються перетоками реактивної потужності, наявністю струмів і напруг вищих гармонік. В даний час, на практиці не існує відмінностей в оцінці симетричного і несиметричного споживання енергії. Зазвичай використовуються тільки дані про активну і реактивну потужності, у кращому випадку враховуються напруги прямої та зворотної послідовностей [2], але цих даних для технічних фахівців недостатньо.

Для підвищення показників якості електричної енергії використовують різноманітні способи та заходи, основою яких є приведення струму до синусоїдальної форми та корекції коефіцієнта потужності. Ефективним технічним рішенням для компенсації реактивної потужності та зниження вищих гармонік є силові активні фільтри (САФ) [4]. САФ являє собою поєднання: 1) компенсатора реактивної потужності; 2) фільтра вищих гармонік; 3) симетруючого пристрою. Якість функціонування САФ оцінюється за певними показниками.

Традиційні вимірювальні прилади не враховують нові вимоги до методів оцінки якості електричної енергії, і використовують застарілі методи, які базуються на припущенні, що струм і напруга є синусоїдальними. Це призводило до значних похибок при розрахунку потужності. Важливі зміни в електроенергетиці, що відбулися в останні 50 років, обумовлені наступними факторами [3]: 1) широке впровадження досягнень електроніки в енергетичне обладнання; 2) обговорення в технічній літературі та подальший розвиток системи термінів, визначень, позначень, електричних величин; 3) експлуатоване вимірювальне обладнання призначене для синусоїдальних сигналів частотою 50/60 Гц; 4) ефективне використання мікропроцесорів і ЕОМ виробниками вимірювальних інструментів для побудови нового, точного і багатофункціонального вимірювального обладнання; 5) розуміння необхідності правильної кількісної оцінки спотворення.

В січні 2000 року ІЕЕЕ (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* – Інститут інженерів з електротехніки та електроніки) оголосив про створення стандарту ІЕЕЕ 1459-2000 для вимірювання потужності при синусоїдальній, несинусоїдальній мережі, в умовах балансу і дисбалансу. Десять років потому, в березні 2010 року, був опублікований стандарт ІЕЕЕ 1459-2010 з важливими змінами та поправками.

Метою статті є проведення оцінки складових потужності електричної енергії при роботі САФ з адаптивним релейним регулятором струму за стандартом ІЕЕЕ 1459-2010.

Функціональна схема трифазного САФ в структурі системи електроспоживання наведена на рис. 1. Силова частина САФ включає транзисторний перетворювач *VTI-6*, конденсатори *C1*, *C2* і буферний реактор *L1-3*. Реактор *L1-3* в схемі САФ є струмообмежуючим елементом, який завдяки явищу самоіндукції забезпечує формування заданого струму в процесі заряду і розряду конденсатору. Блок формування заданого струму САФ забезпечує розрахунок та генерацію струму, який повинен протікати в

силових колах САФ. Алгоритм роботи блоку базується на існуючих теоретичних уявленнях про енергообмінні процеси в електричних колах та відповідних теоріях потужності. Блок формування імпульсів управління САФ генерує напругу управління ключами перетворювача, яка відповідає визначеному заданому струму САФ.

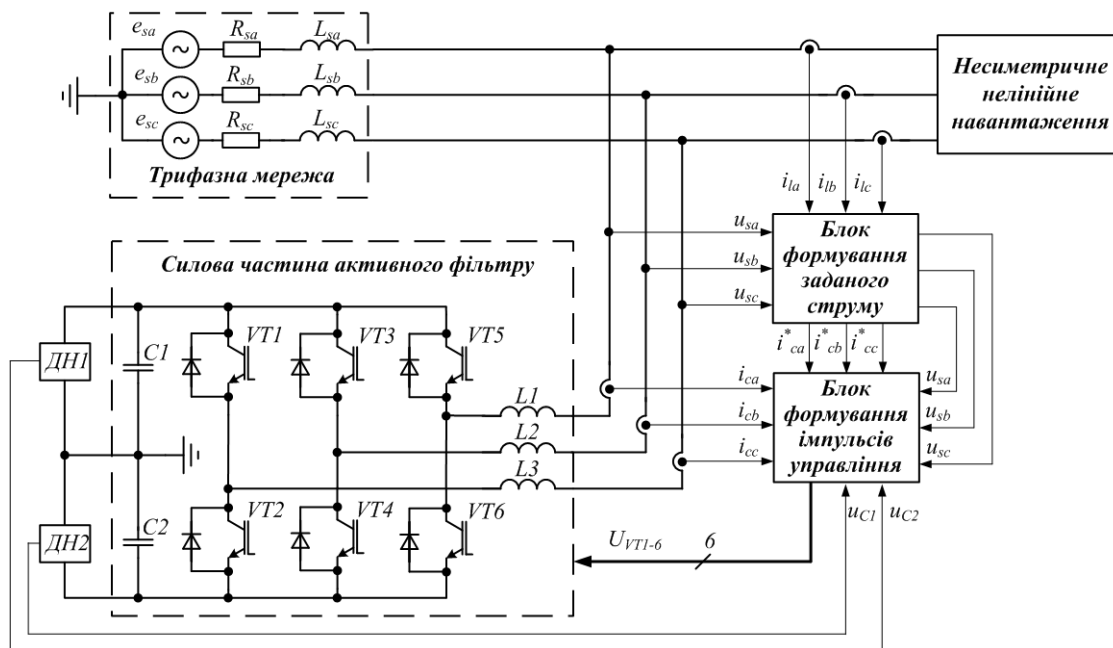


Рисунок 1

Серед методів формування імпульсів управління транзисторами САФ виділяють два основних: широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) та релейне регулювання струму (РРС). Реалізація управління методом ШІМ обумовлює порівняння модулюючої напруги за опорним сигналом фіксованої амплітуди і частоти. При цьому, похибка корегується ПІ-регулятором, параметри якого визначаються відповідно до оптимального режиму роботи [5]. Як зазначено у [5] ШІМ з ПІ-регулятором вимагає детерміновану математичну модель об'єкту управління, яку важко отримати. Зміна режиму навантаження вимагає перерахунку коефіцієнтів та постійних часу регулятора. РРС характеризується стабільністю, швидкою реакцією, точністю, що зумовлено виключно параметрами силової схеми та значенням зони гістерезису релейного елемента. Головним недоліком РРС є змінна частота комутації, що викликана постійним значенням зони гістерезису релейного елемента [6], що призводить до виникнення субгармонік. Для виключення цього недоліку, розроблений [6] адаптивний релейний регулятор струму (АРРС), в якому шляхом введення в блок формування імпульсів управління поточного значення напруги конденсаторів U_{dc1} , U_{dc2} та напруги мережі u_a , u_b , u_c забезпечується формування верхньої та нижньої межі зони гістерезису релейного регулятора [6].

Якість роботи САФ залежить від застосованого методу формування заданих струмів. Розповсюдженими методами визначення заданого струму $i_c^* \in PQ$ теорія та теорія Фрізе [7]. Але, дані теорії ефективні за умови, що мережа, та підключене до мережі навантаження симетричні. Виникнення при несиметрії задачі симетрування струмів потребує корегуванням режиму САФ.

Одним з варіантів оцінки складових несиметрії є застосування стандарту IEEE 1459-2010. Концепцією стандарту IEEE 1459-2010 [3] є відокремлення основної складової напруги U_1 та струму I_1 , окремо від вищих гармонік U_h , I_h та виділення в основній гармоніці складових прямої послідовності U_1^+ , I_1^+ [3]. При цьому активна потужність:

$$P = \sum_{a,b,c} (P_1 + P_H) = \sum_{a,b,c} \left[U_1 I_1 \cos \theta_1 + \left(U_0 I_0 + \sum_{h \neq 1} U_h I_h \cos \theta_h \right) \right], \quad (1)$$

де $\theta_h = \alpha_h - \beta_h$ – фазовий зсув гармоніки струму відносно гармоніки напруги.

Для несиметричних режимів [3] вводять ефективну напругу, яка визначається через діючі значення міжфазних напруг U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , та представляють ефективною напругою за основною гармонікою U_{e1} та ефективною напругою вищих гармонік U_{eH} .

$$U_e = \sqrt{(U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2)/9} = \sqrt{U_{e1}^2 + U_{eH}^2}; U_{e1} = \sqrt{(U_{ab1}^2 + U_{bc1}^2 + U_{ca1}^2)/9}; U_{eH} = \sqrt{U_e^2 - U_{e1}^2}. \quad (2)$$

Ефективний струм визначають аналогічним чином через діючі значення струмів фаз I_a, I_b, I_c , та представляють ефективним струмом за основною гармонікою I_{e1} та ефективним струмом вищих гармонік I_{eH} :

$$I_e = \sqrt{(I_a^2 + I_b^2 + I_c^2)/3} = \sqrt{I_{e1}^2 + I_{eH}^2}; I_{e1} = \sqrt{(I_{a1}^2 + I_{b1}^2 + I_{c1}^2)/3}; I_{eH} = \sqrt{I_e^2 - I_{e1}^2}. \quad (3)$$

Ефективну повну потужність розділяють на ефективну повну потужність за основною гармонікою та неактивну повну потужність:

$$S_e = 3U_e I_e = \sqrt{S_{e1}^2 + S_{eN}^2} = \sqrt{(3U_{e1} I_{e1})^2 + S_{eN}^2}, \quad (4)$$

причому в останню включають потужності, зумовлені спотворенням струму і напруги відповідно D_{e1}, D_{eU} та повну потужність гармонік S_{eH} :

$$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 - S_{e1}^2} = \sqrt{D_{e1}^2 + D_{eU}^2 + S_{eH}^2}, \quad (5)$$

$$D_{e1} = 3U_{e1} I_{eH}, D_{eU} = 3U_{eH} I_{e1}, S_{eH} = 3U_{eH} I_{eH}, \quad (6)$$

Для характеристики несиметричного режиму використовують повну потужність небалансу за основною гармонікою:

$$S_{U1} = \sqrt{S_{e1}^2 - (S^+)^2} = \sqrt{S_{e1}^2 - ((P^+)^2 + (Q^+)^2)}, \quad (7)$$

де S^+, P^+, Q^+ – повна, активна та реактивна потужності прямої послідовності за основною гармонікою:

$$P^+ = U^+ \cdot I^+ \cdot \cos(\theta^+), Q^+ = U^+ \cdot I^+ \cdot \sin(\theta^+), \quad (8)$$

де U^+, I^+ – напруга і струм прямої послідовності; θ^+ – кут зсуву по фазі напруги і струму [3].

Коефіцієнт потужності розділяють, визначаючи його окремо, для ефективної потужності та прямої послідовності:

$$PF = P / S_e, PF^+ = P^+ / S^+.$$

Виходячи з вище викладеного, авторами пропонується два варіанти корекції заданого струму компенсатора в залежності від причин несиметрії.

Варіант 1, коли до трифазної симетричної синусоїдальної мережі підключене трифазне несиметричне несинусоїдальне навантаження. При цьому, визначення активної потужності відбувається за виразом (8), а струм САФ з урахуванням (2):

$$i_c^* = i_l - i_a = i_l - (P^+ / U_e^2) u_s. \quad (9)$$

Варіант 2, коли до несиметричної трифазної мережі, якої підключене трифазне несиметричне несинусоїдальне навантаження. При цьому, як показують попередні експерименти, є недостатнім симетрування активної потужності мережі, визначенням її через пряму послідовність (8). Пропонується із отриманого активного струму навантаження виділити струм прямої послідовності:

$$i_c^{**} = i_l - i_a^+ = i_l - [(P^+ / U_e^2)]^+ u_s. \quad (10)$$

Для дослідження пропонованих рішень при роботі САФ за схемою (рис. 1) використана модель [6] в якій додатково введені блоки розрахунку відповідно до виразів (1-10). Параметри елементів схеми розраховані: нелінійне навантаження розрахункової потужності $P=14 \text{ кВт}$, $Q=20 \text{ кВар}$ – тиристорний перетворювач з активно-індуктивним навантаженням $R_{ld}=2 \text{ Ом}$; $L_{ld}=0,0116 \text{ Гн}$. Електропостачання здійснюється від трифазної електричної мережі з напругою $U_s=380 \text{ В}$ та частотою 50 Гц . Еквівалентні активний та реактивний опори мережі розраховані виходячи з допустимої втрати напруги на них 7% . За методикою [5] визначені параметри елементів САФ: частота комутації $f_c=15000 \text{ Гц}$; індуктивність $L=0,0054 \text{ Гн}$; ємність $C1=C2=40 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$; напруга $U_{dc1}=U_{dc2}=1000 \text{ В}$.

Для оцінки впливу алгоритмів формування заданого струму САФ виконано серію експериментів з дослідження електричних та енергетичних параметрів режиму системи: мережа – навантаження – силовий активний фільтр, для варіантів наведених в таблиці 1.

Таблиця 1

№	Конфігурація	Алгоритм заданого струму САФ
1	синусоїдальна симетрична напруга мережі - нелінійне симетричне навантаження (<i>LBG-NBL</i>)	<i>Fr</i> - теорія Фрізе
2	синусоїдальна симетрична напруга мережі - нелінійне несиметричне навантаження (<i>LBG-NUL</i>)	
3	синусоїдальна несиметрична напруга мережі - нелінійне симетричне навантаження (<i>LUG-NBL</i>)	<i>PQ</i> - <i>pq</i> -теорія
4	синусоїдальна несиметрична напруга мережі - нелінійне несиметричне навантаження (<i>LUG-NUL</i>)	<i>MF</i> - корекція теорії Фрізе (16)
5	несинусоїдальна несиметрична напруга мережі - нелінійне несиметричне навантаження (<i>NUG-NUL</i>)	

Нелінійне навантаження в моделі [6] реалізоване тиристорним випрямлячем, несиметрія навантаження (*NUL*) забезпечене шляхом введення в фазу А активного опору потужністю 4500 Вт. Несиметрія напруги джерела живлення (*LUG*, *NUG*) введена в фазу А амплітудою 38 В, несинусоїдальність напруги мережі (*NUG*) виконана третьою гармонікою напруги амплітудою 30 В.

Результати моделювання. Для оцінки роботи САФ обрані наступні показники (рис. 2), причому параметри мережі позначені індексом "s" а навантаження "ld":

- зниження реактивної потужності прямої послідовності (рис. 2, а): $\varepsilon_Q = ((Q_{1ld}^+ - Q_{1s}^+) / Q_{1ld}^+) \cdot 100\%$
- зниження спотворення синусоїдальності струму (рис. 2, б): $\varepsilon_{THDi} = ((THD_{el_ld} - THD_{el_s}) / THD_{el_ld}) \cdot 100\%$
- зниження потужності спотворення струму мережі D_{el} (рис. 2, в): $D_{el} = ((D_{el_ld} - D_{el_s}) / D_{el_ld}) \cdot 100\%$
- зниження потужності небалансу (рис. 2, з): $S_{UI} = ((S_{UI_ld} - S_{UI_s}) / S_{UI_ld}) \cdot 100\%$
- коефіцієнт гармонійних спотворень (рис. 2, д): $K_{HP} = (S_{en} / S_{e1}) \cdot 100\%$
- коефіцієнт несиметрії K_{AL} (рис. 2, е): $K_{AL} = (S_{U1} / S_{1}^+) \cdot 100\%$

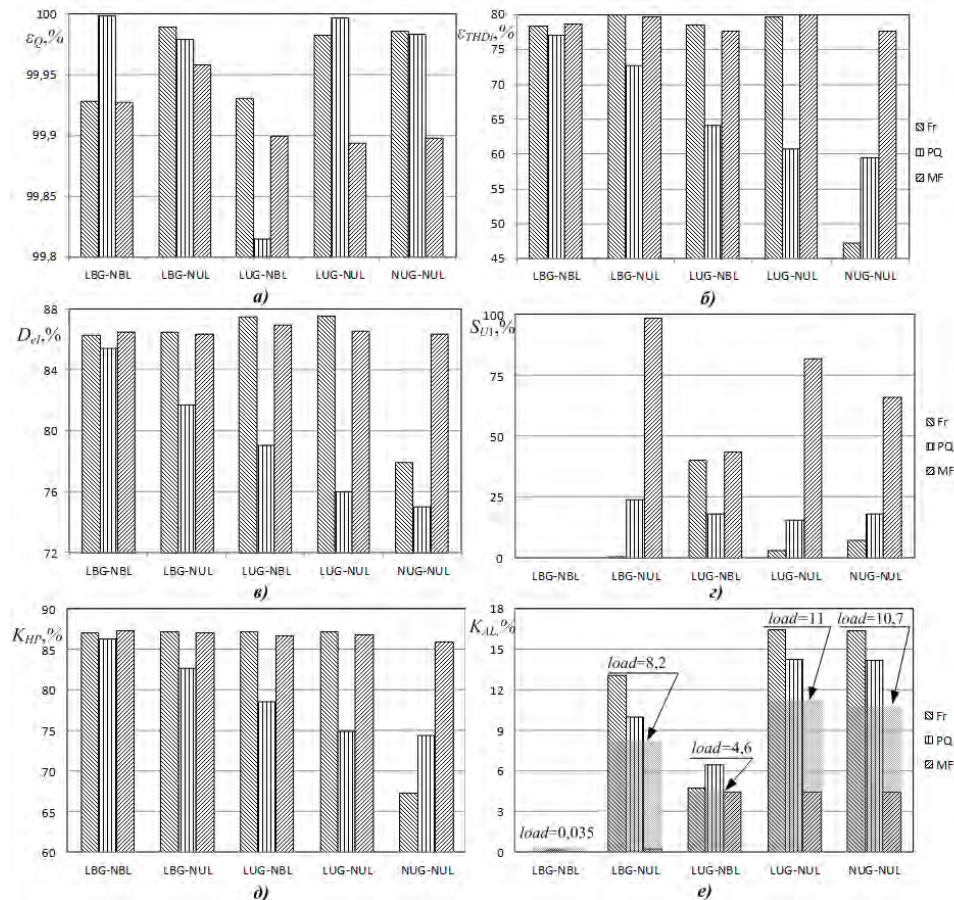


Рисунок 2

Ефективність компенсації реактивної потужності прямої послідовності (рис. 2, а) складає >99 % для всіх алгоритмів формування заданого струму САФ в усіх комбінаціях навантаження. Наявність вищих гармонік, несиметрія, як видно з рис. 2, б, зводять ефективність алгоритмів *Fr* та *PQ* до рівня нижче 60 %, а алгоритму *MF* до рівня вище 60 %.

на відміну від алгоритму *MF* (77 %). Аналогічна тенденція спостерігається при оцінці потужності спотворення гармоніками струму D_{el} . (рис. 2, *в*). Досить високі показники вирізняють запропонований алгоритм *MF* (42-94)%, на фоні алгоритмів *Fr* та *PQ*, при оцінці коефіцієнту несиметрії (рис. 2, *з*). Зниження сумарного негативного впливу S_{eN} , (рис. 2, *д*) порівняно з показниками (рис. 2, *в*) має подібну тенденцію. Це підтверджується значеннями коефіцієнту несиметрії (рис. 2, *е*), на якому практично для всіх конфігурацій та алгоритмів *Fr* та *PQ* вона підвищується, окрім алгоритму *MF*.

Висновки. В умовах симетричної напруги мережі та симетричного навантаження алгоритм формування струму САФ реалізований на підставі теорії потужності Фрізе чи *PQ*-теорії, забезпечує високу ступінь компенсації реактивної потужності $\varepsilon_Q > 99\%$, зниження рівня гармонік $\varepsilon_{THD} > 75\%$, але за наявності несиметрії ці показники знижуються. Задекларовані стандартом IEEE 1459-2010 методи визначення складових потужності, зокрема потужності прямої послідовності, використано для корегування алгоритму формування заданого струму САФ в умовах несиметрії.

Список літератури

1. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – 3-ие изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
2. Шидловський А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. – К.: Наукова думка, 1985. – 268 с.
3. IEEE Standard 1459-2010 Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions.
4. Давидов О.Ю., Бялобржеський О.В. Аналіз засобів компенсації реактивної потужності / Вісник КрНУ. – 2010. – №3. – С. 132–136.
5. Vahedi H., Sheikholeslam A., Tavakoli M. Reverse direction of hysteresis bandwidth calculation to fix the switching frequency employed in active power filter // World Applied Sciences Journal. – 2011. – №15 – P. 1007-1015.
6. Власенко Р.В., Бялобржеський О.В. Адаптивне управління релейним регулятором струму трифазного силового активного фільтру / Електротехніка та електроенергетика. – 2014. – №2 – С. 11-21.
7. Домнин, И. Ф., Жемеров Г.Г., Крылов Д.С., Сокол Е.И. Современные теории мощности и их использование в преобразовательных системах силовой электроники / Технічна електродинаміка, тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2004. – ч.1 – С. 81-90.

R.V. VLASENKO, O.V. BIALOBRZESKI

Kremenchuk Myhailo Ostrohradskyi National University

ESTIMATE POWER TO STANDARD IEEE 1459-2010 AT WORK ACTIVE POWER FILTER

Availability in industrial systems power consumption non-sinusoidal asymmetric loads require new approaches regarding the components power and construction modern compensating devices. Active power filter provides compensation reactive power, reducing higher harmonics and load balancing. This paper evaluated constituent power of standard IEEE 1459-2010 at working active power filter on non-sinusoidal asymmetrical load. Ref. 7, Fig. 2, Tab. 1.

Keywords: active power filter, IEEE 1459-2010, theory Fryze.

References

1. Zhezhelenko I.V., Saenko Yu.L. Power quality and control of industrial plants. / Moscow, Energoatomizdat, 2000. – 252 p. (Rus)
2. Shidlovskiy A.K., Kuznecov V.G. Improving the quality of energy in electric networks / Kyiv, Naukova dumka, 1985. – 268 p. (Rus)
3. IEEE Standard 1459-2010 Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions.
4. Davydov O.Yu., Bialobrzieski A.V. Analysis tools reactive power compensation // Visnyk KrNU. – 2010. – №3. – Pp. 132–136. (Ukr)
5. Vahedi H., Sheikholeslam A., Tavakoli M. Reverse direction of hysteresis bandwidth calculation to fix the switching frequency employed in active power filter // World Applied Sciences Journal. – 2011. – №15 – P. 1007-1015.
6. Vlasenko R.V., Bialobrzieski O.V. / Adaptive control relay regulator current of three-phase active power filter // Elektrotehnika ta elektroenergetyka. – 2014. – №2 – Pp. 11-21. (Ukr)
7. Domnin I.F., Zhemerov G.G., Krylov D.S., Sokol E.I. Modern theories of power and their use of power electronics converter systems // Tekhnichna elektrodynamika, tematychnyi vypusk "Problemy suchasnoyi elektrotehniky" – 2004. – part 1 – Pp. 81-90. (Ukr)

Р.В. ВЛАСЕНКО, асп., А.В. БЯЛОБРЖЕСКИЙ, канд. техн. наук

Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского

ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ МОЩНОСТИ ПО СТАНДАРТУ IEEE 1459-2010 ПРИ РАБОТЕ СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

Наличие в промышленных системах электроснабжения несинусоидальных несимметричных нагрузок требует новых подходов по составляющим мощности и построения современных компенсирующих устройств. Силовой активный фильтр обеспечивает компенсацию реактивной мощности, снижение высших гармоник и симметрирования нагрузок. В работе проведена оценка составляющих мощности по стандарту IEEE 1459-2010 при работе силового активного фильтра на несинусоидальную несимметричную нагрузку. Библ. 7, рис. 2, табл. 1.

Ключевые слова: силовой активный фильтр, IEEE 1459-2010, теория Фризе.

Надійшла 29.04.2015

Received 29.04.2015

**«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ:
СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ –PEMS'15»
«ENERGY MANAGEMENT:
THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT – PEMS'15»**

УДК 621.3:614.8

С. А. БОНДАРЕНКО канд. техн. наук, доц., докторант каф. ЕСС
В. М. КУТІН д-р техн. наук, професор каф. ЕСС
Вінницький національний технічний університет

**ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ЕЛЕКТРОТРАВМАТИЗМУ МЕТОДОМ
ПРОБІТ-АНАЛІЗУ ДЛЯ МЕНЕДЖМЕНТУ З ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ**

Запропоновано метод обліку особливостей пари «чинник–наслідки», відповідно до якого побудована функція ризику електротравматизму, яка дозволяє кількісно оцінити ризик ураження людини електричною енергією в електроустановках та дає можливість впровадити міжнародні стандарти з менеджменту професійного здоров'я і безпеки для мінімізації ризику електротравматизму на підприємствах паливо-енергетичного комплексу України.

Ключові слова: ризик, електротравматизм, електроустановка, електрична енергія, електробезпека.

Вступ. Рівень електротравматизму в Україні багаторазово перевищує рівень в технологічно розвинених країнах [1]. Вирішення зазначеної проблеми повністю відповідає вимогам світової спільноти, оскільки сьогодні в більшості високорозвинених країнах світу існує загальноприйняте і всім зрозуміле правило – вкладення коштів в заходи для збереження життя і здоров'я людини економічно вигідне – це чудовий вид інвестування.

Для створення ефективної системи електробезпеки на підприємствах паливо-енергетичного комплексу України проводиться робота по впровадженню міжнародних стандартів OHSAS 18001:2007 «Системи менеджменту професійного здоров'я і безпеки – Вимоги», ISO 50001:2011 «Система енергетичного менеджменту – вимоги та керівництво щодо застосування». Указані стандарти передбачають оцінювання професійного ризику здоров'ю. На даний час поняття професійного ризику для електротехнічного персоналу, що обслуговує електротехнічні установки має різне тлумачення і сенс, а показники, що використовуються, не піддаються зіставленню і порівняльній кількісній оцінці [2].

Мета дослідження. Знизити ризик електротравматизму та професійного захворювання в електроустановках надвисоких класів напруги шляхом удосконалення методу пробіт-аналізу.

Результати дослідження. Запропоновано комбінований критерій в якості оцінювання ефективності захисту системи «електроустановка–людина–навколишнє середовище», в якому використовуються як детерміновані, так і ймовірнісні критерії.

Детерміновані критерії показують значення параметра небезпечного фактора електротравматизму, при якому визначається певний рівень ураження людей.

Відповідно до [3-5], одним з основних факторів, що впливає на людину, яка взаємодіє з електроустановками промислової частоти, є величина поглинутої тілом електричної енергії, гранично допустиме значення якої не повинно перевищувати 0,36 Дж для людини середньостатистичних параметрів.

Відомо, що в загальному випадку одне і те ж значення небезпечного фактора (кількість поглиненої енергії) може викликати наслідки різної тяжкості у різних людей, тобто ефект ураження носить ймовірнісний характер.

Тому при визначенні характеристик вірогідності (випадковості) реалізації дії електричної енергії на людину в умовах недостатніх статистик, пропонується використовувати метод пробіт-функції. Ідея пробіт-аналізу належить американському ентомологу Ч. Бліссу, він вперше описав його в статті про вплив пестицидів на відсоток знищених шкідників [6]. Ч. Блісс запропонував для обліку відсотка знищених шкідників використовувати ймовірнісний блок – «Probability unit» або «rprobit» («пробитий»). Спочатку необхідність введення поняття «rprobit» була обумовлена прагненням уникнути роботи із статистичною інформацією. У той час біологи, для яких і призначався цей метод, були мало ознайомлені із статистичною обробкою результатів експерименту. В наш час ця причина втратила своє значення, проте, назви «пробіт»

і «пробіт-аналіз» стали звичними термінами, метод «пробіт-аналізу» отримав свій розвиток і широко застосовується в токсикології, фармакології, радіобіології, екології, пожежній безпеці і інших областях досліджень [7, 8].

Відомо, що пробіт-функція є математичною залежністю, яка пов'язує специфічні особливості негативної дії загрози на деякий об'єкт з розміром можливої шкоди. На практиці для більшості випадків загроз безпеки використовується вираз для пробіт-функції, який має вигляд [7]:

$$Pr = a + b \cdot \ln D, \tag{1}$$

a, b – коефіцієнти, які характеризують ступінь ураження об'єкта захисту від конкретної загрози; D – «оцінка негативної дії».

У випадку електротравмування, як параметр D приймається величина комплексного критерію небезпеки ураження електричною енергією, який показує в скільки разів електрична енергія, що поглинається тілом людини, перевищує допустиме значення (величина D повинна бути не нижче 0,1), тобто:

$$D = W_h / W_{h.don}. \tag{2}$$

З урахуванням цього вираз (1) прийме вигляд:

$$Pr = a + b \cdot \ln(W_h / W_{h.don}). \tag{3}$$

Якщо значення a, b та D відомі, тоді, за виразом (3), можна розрахувати значення пробіт-функції $f(Pr)$. Після того, як буде визначено значення пробіт-функції, обчислюється значення вірогідності реалізації загрози безпеці людині Q_i . Для розв'язання цієї задачі використовується функція помилок Гаусса, яку ще називають «ерік-функція», яка визначається, відповідно до [7], за формулою:

$$Q_i = f(Pr) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr} e^{-t^2/2} dt, \tag{4}$$

де пробіт-функція $f(Pr)$ є верхньою межею інтегралу, а сам вираз (4) вже не містить емпіричних коефіцієнтів.

На практиці для обчислення інтегралу (4) застосовують таблицю значень пробіт-функції [8].

Пояснимо використання таблиці на прикладі. Нехай необхідно знайти вірогідність реалізації загрози безпеки людині за відомим значенням пробіт-функції, $Pr = 5,15$. Даному значенню відповідає перетин рядка «50 %» і стовпця «6 %» таблиці, при якому вірогідність реалізації загрози безпеки людини в електроустановках дорівнює 56 %.

Якщо пробіт-функція приймає середні значення, наприклад, $Pr = 5,165$, вірогідність реалізації загрози безпеці людині може бути визначена за виразом:

$$Q(5,165) = \frac{Q(5,15) + Q(5,18)}{2} = \frac{56\% + 57\%}{2} = 56,5\%.$$

Таблиця 1 – Значення ймовірності травмування людини від дії електричної енергії в залежності від величини пробіт-функції

Умовна ймовірність травматизму $Q_i, \%$	Величина пробіт-функції Pr									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
–	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Обчислення значення ймовірності реалізації загрози безпеці людини, яка взаємодіє з електроустановками, можливо як для смертельного випадку, так і для різних рівнів втрати працездатності: незначного, легкого, середнього та важкого. В цих випадках у виразах пробіт-функцій будуть різні коефіцієнти a і b .

Згідно із гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 [9], небезпечні (екстремальні) умови праці від дії електричного поля промислової частоти починаються при перевищенні допустимих норм в 40 разів, тому за величину D приймається значення 41. При заданій величині D , відповідно до таблиці для визначення значень пробіт-функції, коефіцієнт a приймається рівним 2,5, а значення $b = 0,7$. Таким чином, вираз для ризику електротравматизму, визначеного по методу пробіт-функції, прийме вигляд:

$$R = 2,5 + 0,7 \cdot \ln(W_{h.} / W_{h. don.}). \quad (5)$$

Менеджмент електробезпеки на підприємствах паливо-енергетичного комплексу України повинен містити перелік послідовно логічно зв'язаних функцій управління: ідентифікація та оцінка ризику, планування та виконання планових заходів з електробезпеки, оцінка та аналіз ризику після вжитих заходів та засобів, ухвалення рішення і вдосконалення системи управління електробезпекою. Даний цикл повинен здійснюватися на всіх ієрархічних рівнях системи управління підприємств енергетичної галузі [2]. В залежності від ступеня ризику визначеного за виразом (5) повинні передбачатися черговість та час проведення заходів та дії щодо зниженню ризику електротравматизму.

Висновки.

Застосування комбінованого критерію електротравматизму дає можливість підвищити рівень електробезпеки від ураження людини електричною енергією та впровадити міжнародні стандарти з менеджменту професійного здоров'я і безпеки на підприємствах паливо-енергетичного комплексу України.

Перелік літератури.

1. Фандеев Александр. Охрана праці ... Під напругою / Александр Фандеев // Охрана праці. – 2012. – № 10. – С. 10–11.
2. Бондаренко Є. А. Менеджмент системи електробезпеки щодо мінімізації ризику дії електромагнітного поля на людину в електроустановках надвисокої напруги /Бондаренко Є. А.// КІП. "ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія". – 2014. – № 2. – С. 14-21.
3. Бондаренко Є. А. Гранично допустимі значення напруг дотику та струмів промислової частоти / Бондаренко Є. А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2011. – № 2. – С. 31-34.
4. Бондаренко Є. А. Методика нормування допустимого часу перебування людини в електричному полі промислової частоти / Є. А. Бондаренко // Стандартизація, сертифікації, якість. – Харків : ДП «Укр. НД НЦ». – 2012. – № 5 – С. 26–28.
5. Бондаренко Є. А. Застосування методика визначення допустимих рівнів напруг дотику та струмів для забезпечення електробезпеки / Є. А. Бондаренко // Електротехніка та електроенергетика (Запорізький національний технічний університет). – 2013. – № 1. – С. 27–31.
6. Bliss C. I. The Method of Probits / C. I. Bliss // Science. – 1934. – Vol. 79. – № 2053. – P. 409–410.
7. Основные направления оценки рисков рабочей среды: [пер. с лат.] / сост.: Валдис Калькис, Иммант Кристиньш, Ж. Роя. – Рига: SIA «Jelgavas tipografija», 2005. – 72 с.
8. Белов П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере : учеб. пособ. / Петр Григорьевич Белов. – М. : Издательский центр «Академия». 2003. – 512 с.
9. Охрана праці в Україні : Нормативна база. (4-те вид, змін. і допов.) / упорядник О. М. Роїна. – К. : КНТ, 2008. – 544 с.

E. BONDARENKO, V. KUTIN

**State Institution of Higher Education «Vinnitsa National Technical University»
ESTIMATION OF RISK OF THE ELECTRO TRAUMATISM BY THE METHOD IT IS
PROBABILITY - ANALYSIS FOR MANAGEMENT FROM THE ELECTRO SECURITY**

In article the method of the account of features of pair "factor-consequence" according to which function of risk of an electro traumatism is constructed is offered. This function allows estimating quantitatively risk of defeat of the person electric energy in electro installations and gives the chance to introduce the international standards of management of professional health and safety for minimization of risk of an electro traumatism at the enterprises fuel-power of a complex of Ukraine.

Keywords: risk, electro traumatism, electro installation, electric energy, electro security.

References

1. Fandeev, A. "Labour safety... Under a voltage", Ohorona pratsi, 2012; vol. 10, pp. 10-11.

2. Bondarenko, E. A. "Management of electro security systems for minimization of risk from influence of the electromagnetic field on the person in electro installations of ultrahigh voltage", Kiev, ENERGETYKA: ekonomika, technologiyyi, ecologiya, 2014; vol. 2 (36), pp. 14-21.
3. Bondarenko, E. A. "Permissible values of pick-up voltage and currents of industrial Frequency", Visnyk Vinnitskoho politechnichnoho institutu, 2011; vol. 2, pp. 31-34.
4. Bondarenko, E. A. "Methodology of quota setting of person staying in electric field of industrial frequency". Standartizatsia, sertifikatsia, iakist, Kharkiv, 2012; vol. 5, pp. 26-28.
5. Bondarenko, E.A. "Application of technique of maximum permissible levels of contact voltage and currents for electric safety". "Electrotechnic and electroenergetic", (ZapNTU), 2013; vol. 1, pp. 27-31.
6. Bliss C. I. The Method of Probits / C. I. Bliss // Science. – 1934. – Vol. 79. – № 2053. pp. 409-410.
7. Valdis Kalikis, Imant Kristinsh and Roya, Zh Main trends of the estimation risk worker of the ambience. Riga: SIA «Jelgavas tipografija», 2005. – p. 72.
8. Belov, P. G. Белов П. Г. Sistemniy analiz i modelirovanie opasnykh protsesov v tekhnosfere [The system analysis and modelling of dangerous processes in a technosphere], Akademiya, Moscov, Russia. 2003. – p.512.
9. Roina O. M. Ohorona pratsi of Ukraine Kyiv, Ukraine. 2008. – p.544.

УДК 621.3:614.8

Е. А. БОНДАРЕНКО канд. техн. наук, доц., докторант каф. ЭСС

В. М. КУТИН д-р техн. наук, профессор каф. ЭСС

Винницкий национальный технический университет

ОЦЕНКА РИСКА ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА МЕТОДОМ ПРОБИТ-АНАЛИЗА ДЛЯ МЕНЕДЖМЕНТА С ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Предложен метод учета особенностей пары «фактор–последствия», в соответствии с которым построена функция риска электротравматизма, которая позволяет количественно оценить риск поражения человека электрической энергией в электроустановках, и дает возможность внедрить международные стандарты менеджмента профессионального здоровья и безопасности для минимизации риска электротравматизма на предприятиях топливно-энергетического комплекса Украины.

Ключевые слова: риск, электротравматизм, электроустановка, электрическая энергия, электробезопасность.

Надійшла 25.06.2015

Received 25.06.2015

О.Г. БУРДО, д-р техн. наук, проф., **С.Г. ТЕРЗИЕВ**, канд. техн. наук, **Ю.О. ЛЕВТРИНСКАЯ**, асп.
Одесская национальная академия пищевых технологий

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИКИ УКРАИНЫ

Проведен анализ энергетической ситуации в мире, в странах постсоветского пространства, в Украине. Показан парадоксальный характер энергетических проблем. Обсуждаются вопросы зависимости уровня комфорта и экологии от потребления энергетических ресурсов. Показана связь качества жизни человека с уровнем потребления энергии. Дан анализ распределения энергетических ресурсов в мире. Прогнозируется возможный пересмотр рынка энергоресурсов. Сравниваются модели энергетической политики и стратегии государства. Подчеркивается высокая рентабельность централизованного управления энергообеспечением на муниципальном уровне. Рассмотрены проблемы научного потенциала и развития энергетического менеджмента. Анализируются соответствия цен на энергоносители с уровнем тепловой защиты зданий, принципами инвестирования в энергетические проекты. Показана актуальность вопроса рыночного подхода к выбору источников энергии в условиях слияния энергобизнеса и власти. Обсуждаются проблемы соответствия энергетической политики Украины с обязательствами по газовому договору с Россией. Рассматривается роль энергии в технологической цепочке агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, энергия, энергетический менеджмент, энергобизнес, энергодефицит

Введение

Дефицит энергии в мире стремительно растет. Все регионы планеты столкнулись с проблемами обеспечения энергией промышленных отраслей и муниципальных предприятий [1-4]. При этом, темпы восприятия людьми новой философии природопользования, эффективного расхода энергетических ресурсов существенно отстают. Особенно это заметно на постсоветском пространстве. В эпоху СССР страна была пресыщена дешевыми энергоресурсами. Это не воспитывало бережного отношения к энергии, не прививало уважения к джоулю, ватту. Новые экономические принципы, капитализация промышленного производства и коммунальной сферы ярко высветили серьезные противоречия между чрезвычайно низкой культурой использования энергии и быстро растущими ценами на энергоносители. Жители этих стран еще плохо понимают, что энергия – это товар, эффективное использование которого при производстве товаров и услуг даст прибыль, а расточительное сделает банкротом. Системному подходу к исследованию энерготехнологических проблем не обучают при подготовке молодых специалистов. При этом отсутствует опыт поколений в решении задач эффективного использования энергии.

Слияние энергобизнеса и власти, политика государств на энергосбережение, а не на энергоэффективность, не стимулировали внедрение прогрессивных энерготехнологий [5]. Экономика стала рушиться в результате роста цен на энергоносители и эксплуатации старых технологий, принципиально рассчитанных на потребление дешевых энергоресурсов. В результате – острейший экономический и энергетический кризис.

Все эти вопросы анализируются в настоящей работе. Показан парадоксальный характер этих проблем.

Цель и задания

Ресурсы и комфорт. С 1900 по 2000 г. потребление энергии в мире увеличилось почти в 15 раз – с 21 до 320 экДж. В настоящее время структура потребления первичных источников энергии в мире следующая: нефтепродукты - 34.9%, уголь - 23.5%, природный газ - 21.1%, ядерное топливо 6.8%, возобновляемые источники - ветер, солнце, гидро- и биотопливо - 13.7%. За 50 лет выбросы углекислого газа в атмосферу возросли в 4.5 раза и сегодня составляют 20×10^{12} м³/год.

В мире в производстве полезно используется только 1/3 сырья. Поэтому, проблема эффективного использования ресурсов является глобальной. Энергетическая мощность мирового производства растет стремительней, чем объем промышленного производства. Энергоносители стали наиболее дефицитным ресурсом в мире.

Естественно стремление слаборазвитых стран повысить уровень комфорта до западных стандартов. Естественно желание европейца улучшить жизненные показатели. Однако для этого требуется увеличить расход ресурсов, в первую очередь – энергии. Добыча энергоносителей, их переработка неизбежно оказывают отрицательное влияние на среду обитания человека. Повышение качества жизни приводит к росту нагрузки на окружающую среду. Парадоксально, но стремление к комфорту неизбежно без ухудшения условий среды обитания. Какой он – разумный баланс, можно ли разумней использовать энергоресурсы? Как расходовать только совершенно необходимое количество энергии при сохранении достигнутого уровня комфорта и, даже, повышать его.

Энергетика, основанная на ископаемом топливе, создает очень много экологических проблем.

Без энергии нельзя сохранить нашу цивилизацию, однако существующие методы производства энергии и высокие темпы роста ее потребления приводят к разрушению окружающей среды.

Энергия – и уровень жизни человека. Вся история развития человечества свидетельствует о том, что есть четкая корреляция между уровнем потребления энергии, продолжительностью и качеством жизни. Если первобытный человек потреблял энергию только с пищей (2Мкал), то в развитой стране один человек стал потреблять энергии в 100 раз больше, а продолжительность его жизни выросла в среднем с 20 до 70 лет, из которых 50% тратится на досуг, творчество, созидание [5].

Современная эпоха характеризуется стремительным ростом уровня потребления энергии, особенно в высокоразвитых странах. Каждые 12 лет количество потребляемой энергии удваивается. При этом рост производства увеличивается вдвое только каждые 15 лет. Объясняется это несоответствие растущим уровнем комфортности на производстве и в быту. Исходя из этого, несложно сделать прогноз роста уровня потребления энергии одним человеком в индустриально развитых странах (рис.1).

Современное человечество бездумно расходует запасы ценнейшего сырья, которое понадобится будущим поколениям для переработки в препараты, материалы и различные средства. Быстро растущее потребление энергоносителей при постоянном уменьшении их запасов в недрах планеты вызывает серьезное беспокойство. Поэтому, группой европейских ученых была разработана глобальная прогнозная модель развития человечества, которая получила название «модель римского клуба».

При разработке модели учитывались такие определяющие показатели общества как запасы органического топлива, смертность, рождаемость, население планеты, производство товаров, объем услуг, нагрузка на окружающую среду. Определялись тенденции их изменения за 70 лет развития человечества.

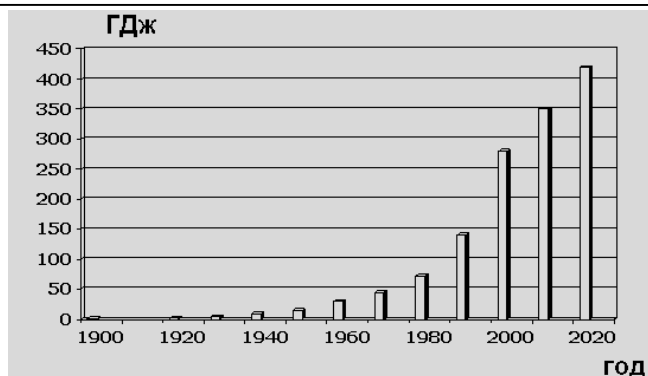


Рисунок 1 - Рост уровня потребления энергии.

Дальше строились сценарные модели по принципу «что ожидать, если будет развитие таким». Всего составлено 12 сценариев. Первый (самый пессимистичный) сценарий определял, что, если все тенденции сохранятся и не будут найдены дополнительные источники энергии, то в 2030г. человечество ожидает острейший энерго–экологический кризис.

Последующие сценарии проводились с нарастающим оптимизмом. Авторы предполагали, что со временем будут найдены новые источники энергии, снизится нагрузка на окружающую среду. Авторы не указывали пути, как это сделать, просто рассматривались ситуации, если это произойдет. В этих ситуациях кризисы смягчались и отодвигались во времени. Последний сценарий являлся стабилизационным, были установлены уровни анализируемых параметров, которые обеспечат устойчивое и стабильное существование общества.

Модель «Римского клуба» свидетельствует, что в ближайшее столетие проблемы энергии, экологии и пищи будут основными для человечества.

Распределение энергоносителей. Распределяются энергоносители между странами крайне не равномерно [5]. Практически 80% населения Земли довольствуются только 20% используемой в мире энергии.

Жители стран бывшего СССР привыкли потреблять энергию по меркам высокоразвитых стран. Однако по степени индустриального развития этим странам отводятся одни из последних мест в мире. Уровень комфортности жизни основного населения стран далеко не соответствует европейским нормам. Высокий уровень потребления энергии и низкий уровень комфорта свидетельствуют о расточительстве при использовании энергоносителей.

Население Земли будет стремительно растет, но только 15% из них будут проживать в изобильных странах. 72% жителей планеты будут составлять китайцы, индусы и африканцы. Прогнозируется, что XXI век станет веком Китая и Индии. Население этих стран увеличится к 2020 году на 1,3 – 1,4 миллиарда человек. Китайский валовой национальный продукт (ВНП) превысит к 2020 году ВНП западных стран. В 2012 году Китай по ВНП переогнал Японию, а в 2030г. - догонит США. По прогнозам ежегодный прирост ВНП Китая будет в пределах 7,4 – 10,7% без тенденций к замедлению роста (рис.2).

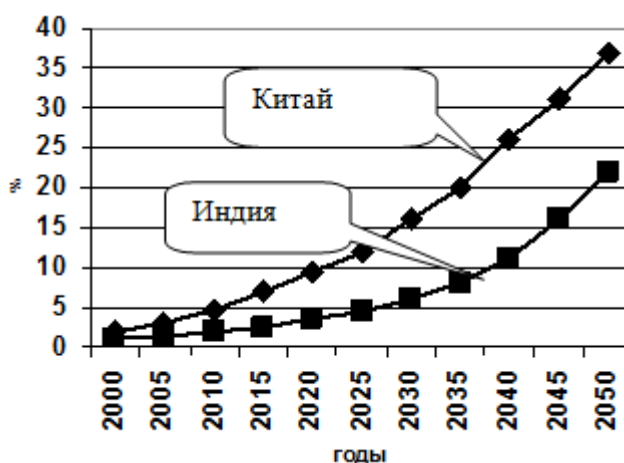


Рисунок 2 - Рост (в %) ВНП Китая и Индии по сравнению с США.

Индийский ВВП будет расти на 20% быстрее китайского и станет сопоставим с мощностью европейской экономики. Это станет фактором нестабильности, но обеспечит прирост и ныне огромного дешевого рынка трудовых ресурсов. Уровень жизни Китая и Индии не достигнет западных норм. Можно прогнозировать агрессивную политику этих стран за пересмотр рынка энергоносителей.

К 2020г. структура энергоносителей на рынке [5] мало изменится по сравнению с сегодняшней ситуацией. Потому основная задача для производителей энергии и участников энергетического бизнеса – существенное сокращение расходования энергетических ресурсов. Энергоменеджмент может быть использован, как эффективный инструмент для рационального использования энергии без сокращения объемов производства.

Материал и результаты исследований.

Украина начала строить независимое государство при энергорасточительной экономике. Удельные затраты энергии на единицу ВВП не на проценты, а в разы превышали уровни развитых стран. При этом Украина из энергетически обеспеченной и энергорасточительной резко оказалась энергетически дефицитной, но осталась энергорасточительной. Парадоксально, но удельные затраты энергии в экономике страны до 1997г. не снижались, а росли. Валовой продукт, который приходится на одного украинца, в 45 раз ниже, чем в Японии, почти в два раза ниже, чем в Республике Беларусь. Соответственно, наихудшие показатели и в показателях удельной энергоёмкости экономики.

Важно в сложившихся условиях определиться с направлением в энергетической политике государства. Украина выбрала путь - энергосбережение. Основные моменты этого пути украинцы переживают. Это нормирование расхода, регламентация уровня потребления; отключения энергии при дефиците. Но известен другой путь - энергоэффективность: высокая культура энергопользования, энергетический мониторинг, развитие мотивации снижения расхода энергии, формирование и реализация программы повышения энергоэффективности. По пути энергоэффективности пошла Беларусь, которая при одинаковых стартовых условиях сейчас по удельной энергоёмкости экономики выгодно отличается от Украины.

Стоимость энергоносителей в Украине стремительно растет, однако энергия до сих пор не стала товаром, не признано, что эффективное использование энергии даст прибыль, а расточительное – сделает банкротом. Мы продолжаем «бороться» за энергосбережение. Переход от политики «энергосбережения» к политике «энергоэффективности» проходит крайне медленно.

Стратегической задачей в энергообеспечении является создание системы управления и формирование программы развития энергоэффективности. Стратегия предполагает реализацию механизмов частичного самофинансирования проектов. Доход от внедрения проектов первого этапа инвестируется в проекты второго этапа. Доход от внедрения проектов второго этапа инвестируется в проекты третьего этапа.

Первый этап формируется из беззатратных и малозатратных проектов. Второй этап включает, в основном, малозатратные проекты. Это совершенствование тепловой изоляции, установка теплоутилизаторов. Экономия до 20%, а срок окупаемости проектов -1...1,5 года. Здесь же реализуются работы по установке дополнительных измерителей, срок окупаемости которых 2-3 месяца.

Проекты третьего этапа требуют серьезных инвестиций для установки систем автоматического регулирования, внедрения новых энергоэффективных технологий, оборудования. Однако никакая программа работать не будет, если отсутствуют специалисты. Поэтому, важным элементом стратегии должны быть вопросы подготовки квалифицированных энергоменеджеров, повышение культуры энергопользования у служащих и руководителей предприятий, регионов и пр.

Украина является энергодефицитной и энергорасточительной страной, однако до сих пор не сформирована энергетическая стратегия государства, основанная на корректном исследовании энергетической ситуации в стране. Не решаются вопросы формирования новой философии природопользования у населения и у руководителей.

Научная база и энергетический менеджмент. Энергетический менеджмент – стройная инженерная дисциплина, которая появилась в 70-е годы прошлого столетия. Именно благодаря энергоменеджменту в Европе удалось успешно преодолеть первую волну энергетического кризиса. В основе энергетического менеджмента - системный подход к проблеме использования энергии. Это дает возможность правильно выбрать приоритеты, четко координировать работы. Управление осуществляется специальным центром энергетического мониторинга. Затраты на организацию центра энергетического мониторинга возвращаются быстро.

Опыт Европы показывает, что рентабельность таких центров на уровне города достигает 500%. Центр уверено и стабильно пополняет местный бюджет при одновременном повышении качества услуг в теплоснабжении. Так, в Штутгарте такой центр состоит из 6 инженеров и 6 техников, обслуживает здания общей площадью 2 млн. кв. м. Центр работает около 30 лет, за которые обеспечил экономию 200 млн. □ на энергии, на 40% уменьшил потребление тепловой энергии.

Вопросами энергоэффективности следует заниматься не с приходом зимы, а постоянно на протяжении года. Система энергетического мониторинга включает последовательные этапы: энергетический аудит – обоснование приоритетных проектов (программа) – внедрение проектов – аудит.

Украина во время первого энергетического кризиса была энергообеспеченной страной с дешевыми энергетическими ресурсами, она не столкнулась с проблемами Европы в обеспечении энергией. Поэтому, энергетический менеджмент не изучался и не применялся. В настоящее время Украина стала энергодефицитной страной с дорогими энергоносителями, однако энергетический менеджмент остается невостребованным, ему практически не учат, его возможности не используют.

Украина располагает квалифицированной научной базой, способной решать сложнейшие теплофизические проблемы, однако до сих пор не освоены практические приемы энергетического менеджмента.

Стоимость тепловой энергии и эффективность отопительных систем. Уровень тепловой защиты зданий в европейских странах в 1,5...1,8 раз (а в странах Скандинавии в 2...2,5 раза) выше, чем в Украине. Более того, низкая энергетическая эффективность архитектурно-конструкторских решений (в основе которых была заложена низкая стоимость энергетических ресурсов) усугубляется неумением эксплуатировать здание. Отсутствие приборов учета потребления энергии дает возможность поставщикам тепловой энергии завышать счета за реально потребленную тепловую энергию.

Совершенствование конструкций ограждений предполагает три вида тепло модернизационных работ: устранение неплотностей наружных окон и дверей; усиление тепловой защиты наружных стен, перекрытий, установка теплоотражательных экранов за батареями отопления и демонтаж ограждений батарей.

Корректная оценка эффективности тепловой модернизации возможна только на основе детального анализа данных энергетического аудита, строгого технико-экономического обоснования ряда проектов и выбора приоритетных проектов.

Стоимость энергоносителей в Украине стремительно растет, однако удельные затраты на отопление зданий остаются выше, чем в северных странах.

Инвестиции в энергетические проекты и системный подход. Важно понимать, что общая эффективность системы обеспечения энергией определяется всеми элементами, и, в первую очередь, элементами с наименьшей энергетической эффективностью.

Выбор приоритетов должен обосновываться технико-экономической оценкой проектов. Поучителен опыт Дании, где отдали приоритет проектам утепления зданий. Результат реализации этих проектов оказался неожиданным. Снижение объема потребляемой в зданиях энергии привело к повышению удельных тепловых потерь в сетях. Поставщики тепловой энергии отреагировали на это снижением температуры и повышением стоимости теплоносителя.

Основные потери энергии в Украине, как правило, у потребителей, однако, основные инвестиции направляются на новые генераторы энергии.

Рыночная экономика и источники энергии. Украинец привык занимать 4 место в мире по потребления природного газа. Впереди только россияне, американцы и англичане. При этом собственные запасы природного газа в Украине крайне ограничены.

Вместе с тем, Украина располагает мощнейшими в мире запасами каменного угля. Эффективное использование угля как основного вида топлива встречается с рядом проблем.

Во-первых – коммунальные предприятия и производители уже привыкли к более простому в эксплуатации природному газу.

Во-вторых – переход на твердое топливо требует серьезных конструктивных модернизаций котельного оборудования.

В-третьих – эксплуатация котельных агрегатов на угле связана с решением комплекса экологических задач.

В-четвертых – технологии добычи каменного угля в Украине не соответствуют современным нормам.

Серьезное снижение за годы независимости собственной добычи нефти определяет ее дефицит. Если восстановится уровень ее добычи, то собственные нужды будут удовлетворены только на 15%.

В Украине сохранилась и функционирует достаточно мощная система обеспечения электрической энергией. Практически половину электроэнергии получают на атомных станциях. Альтернативные источники энергии, несмотря на экологическую привлекательность, не смогут в ближайшей перспективе решить ощутимые задачи в энергетическом балансе страны. Вместе с тем, в научном плане проблемами ветроэнергетики, гелио- и геотермальной энергетики следует заниматься. Внедрять проекты по альтернативным источникам энергии следует на основе тщательного технико-экономического анализа.

Основной источник топлива в Украине - уголь, однако подавляющее число технологий ориентируется на природный газ.

Следует помнить, что прошлое Украины в стране пресыщенной дешевыми энергетическими ресурсами. А это не развивало уважения к энергии, способствовало формированию пренебрежительного

отношения к задачам энергоэффективности. Пока в стране не будет преодолен барьер чрезвычайно низкой культуры энергопользования, никакие программы энергосбережения работать не будут. Поэтому, одним из приоритетных направлений энергетической политики государства, власти должно стать обучение культуре энергопользования всех слоев населения: от первых лиц регионов, предприятий до студентов и школьников. Однако для поставщиков энергетических ресурсов низкая эффективность использования энергии – это повышенная прибыль. По оценке экспертов Украина ежегодно переплачивает за газ до 4млрд.\$, недополучает за транзит – 3,5млрд.\$, а штрафные санкции за сокращение объема закупок – 4,2млрд. \$.

Пока энергобизнес не будет отделен от власти, все заявления, которые направлены на снижение уровня потребления энергии, останутся простыми декларациями.

Энергосбережение и газовый договор. В настоящее время в Украине определился новый энергетический парадокс. Действующий газовый договор с основным поставщиком - с Россией оговаривает обязательный объем потребляемого в год газа. Снижение объема предусматривает серьезные (300%) штрафные санкции. В такой ситуации обозначилось новое противоречие, связанное с последовательным снижением объемов импортируемого газа, что предусмотрено всеми программами энергосбережения. Политика энергосбережения становится совершенно абсурдной. Вместе с тем, политика энергоэффективности получает дополнительные козыри.

Усилия Правительства направлены на реализации проектов (многие из которых были утверждены до принятия действующего газового договора с Россией), цель которых снизить до 2030 года на 70% объем импортируемого газа. Ведутся работы по повышению уровня собственной добычи газа, организации доставки и использования сжиженного газа, повышению в 2,2 раза в топливном балансе государства доли угля и электроэнергии, освоению технологий добычи сланцевого газа и разработки на шельфе Черного моря. Жесткая политика экономии потребления газа позволила ощутимо снизить закупки газа, и в этом году их объем уменьшился практически на 30%. Вместе с тем, денежные долги Украины Газпрому накапливаются и достигли на настоящий момент значительной суммы.

Новые договорные обязательства Украины требуют оперативного пересмотра самой энергетической концепции государства. При прежней политике государства на энергосбережение, на перевод экономики страны на собственные энергоносители без оперативной корректировки инновационных принципов Украину, как независимое государство, ждет полный крах. Требуются глубокие обоснования приоритетных инновационных проектов, которые учитывали бы и новые отношения на рынках энергоносителей. Должно стать всем понятно, что концепция «энергия - это товар», лежит в основе энергетической политики экономики и определяет как экономический успех, так и банкротство. Следует стремительно наращивать химические производства, где природный газ является сырьем. Для нужд аграрного сектора – это производство удобрений. Тогда новая формула расхода газа будет представлять сумму увеличенного потребления газа как сырья и уменьшенного расхода газа как энергоносителя.

В такой постановке направление на энергоэффективные технологии, на производство неэнергоемких продуктов и материалов сохраняется.

Украина обязалась приобретать у России 52 млрд. куб.м. газа ежегодно, однако инвестиции идут на снижение закупок, а не на технологии переработки газа как сырья.

Производство продовольствия является энергоемкой отраслью во всех индустриально развитых странах. Производство продуктов питания в Украине требует затрат энергии в 2...4 раз больше, чем в Европе. Исторические предпосылки тормозят процесс повышения энергетической эффективности как в стране в целом, так и на предприятиях пищевых отраслей в частности.

Предприятия АПК лидируют по количеству потребляемых энергетических ресурсов среди различных ведомств. До 19% топливно-энергетических ресурсов в стране расходуется предприятиями АПК. Обработка 1га требует в Украине затрат 80 кг условного топлива, а 1кг мяса – 12 кг у.т., для производства 1л молока необходимо 0,5л нефти. Если сравнить энергетическую ценность потребляемых человеком продуктов с энергией, которая требуется на полевые работы и на переработку сырья, то энергетический КПД такой схемы низкое (рис.3).

Низкая энергетическая эффективность производства продуктов питания в Украине предполагает серьезные резервы для снижения расхода энергии. На первом этапе следует выйти на уровень лучших производств в отрасли, передовых фирм мира, т.е. сделать так, как у них.

При этом до 40% энергии в пищевых технологиях может экономиться за счет простых, беззатратных и малозатратных методов.

Еще плохо понимается то, что инвестировать энергоэффективные проекты экономически выгодно. Эти инвестиции окупаются на протяжении достаточно короткого времени за счет того, что ежесекундно снижаются расходы энергии, цена которой установилась на мировом уровне. На первом этапе модернизаций не так много затрат требуется для того, чтобы существенно снизить расходы энергии на действующем оборудовании. Огромные резервы здесь в ликвидации привычных для нас прямых потерь ресурсов. Именно они зачастую дают до 75% потерь энергии. Но и в новых, современных технологиях

пока находятся экономически выгодные технические и организационно – технические решения по снижению расхода энергетических ресурсов.



Рисунок 3 - Энергетическая эффективность пищевой цепочки.

Эффективность преобразования энергии в АПК – не более 10%, однако подавляющее число производств ориентируется на устаревшие энергоемкие технологии.

Можно установить и другие парадоксальные факторы в принципах и в развитии энергообеспечения различных секторов экономики.

Выводы

Первый этап программ повышения энергетической эффективности производств должен базироваться на методах энергетического менеджмента. Однако второй – требует поиска нетрадиционных решений и подходов, которые носили бы революционный характер и дали бы возможность радикально снизить потребление энергии. Именно такой путь, результаты которого сложно переоценить, открывают нанотехнологии.

Перевод пищевых технологий на прогрессивные принципы, особенно на нанотехнологии, открывает новые возможности выгодно совершенствовать производство при существенном снижении расхода ресурсов [6 - 8]. Нанотехнологии способны решить серьезное противоречие современности – обеспечить энергией стремительно растущее население планеты при повышении продолжительности и качества жизни человека, при уменьшении нагрузки на среду обитания и при заметном снижении запасов ископаемого топлива.

Список Литературы

1. Energy efficient cities : assessment tools and benchmarking practices / World Bank ; ed. R.K. Bose. – Washington : The World Bank, 2010. – XVIII, 227 p
2. Energy resources, energy policy and democratic development in the Baltic Sea region / ed. M.-B. Schartau. – Gdansk : Wydaw. Uniw. Gdanskiego ; Berlin : Nordeuropa-Inst. der Humboldt-Univ. zu Berlin, 2004. – 59 p
3. Gromadzki, G. Energy game : Ukraine, Moldova and Belarus between the EU and Russia /G. Gromadzki, W. Konończuk; Stefan Batory Found. – Warsaw: Stefan Batory Found., 2007.– 47 p
4. Winds of change : East Asia's sustainable energy future / Xiaodong Wang [et al.] ; World Bank. – Washington : The World Bank, 2010. – XVII, 154 p
5. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.
6. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.
7. Бурдо О.Г. Нанотехнологии. Флагманские, перспективные и фундаментальные проекты в АПК //Наук. праці Од. націон. акад. харчових технологій. – Одеса: 2006. – Вип.28, Т2. – с.242-251.
8. Бурдо О.Г. Пищевые нанотехнологии – Херсон: 2013 – 294с.

O.G. BURDO, S.G. TERZIEV, Yu.O. LEVTRINSKAYA
Odessa National Academy of Food Technologies

ENERGY PROBLEMS OF UKRAINIAN ECONOMY

The analysis of the energy situation in world, countries of former Soviet Union and Ukraine was carried out. Paradoxical character of energy problems had been shown. The questions of comfort level and ecology according to consuming energy recourses had discoursed. Connect between quality of life and level of energy consumption are displayed in this article. We had analyzed energy recourses distribution in the world. It was prognoses possible review of energy resources market. We compared models of energy policy and strategy of the stat. High profitability of centralize energy supply management at the municipal level had been underlined. It was considered science potential problems and development of energy management. Accordance of energy prices to level of

building thermal protection has been analyzed. Also was analyzed price accordance for different projects. We had tried to show actuality of the market approach question for choice energy sources in conditions energy business and government incorporation. The problems of Ukraine energy politic conformity with responsibility about gas contract with Russia had been tabled, Also, we examined the role of energy in technological chain agro-industrial complex.

Key-words: energy efficiency, energy, energy management, energobusiness, energy deficit

References

1. Energy efficient cities : assessment tools and benchmarking practices / World Bank ; ed. R.K. Bose. – Washington : The World Bank, 2010. – XVIII, 227 p
2. Energy resources, energy policy and democratic development in the Baltic Sea region / ed. M.-B. Schartau. – Gdansk : Wydaw. Uniw. Gdanskiego ; Berlin : Nordeuropa-Inst. der Humboldt-Univ. zu Berlin, 2004. – 59 p
3. Gromadzki, G. Energy game : Ukraine, Moldova and Belarus between the EU and Russia /G. Gromadzki, W. Konończuk; Stefan Batory Found. – Warsaw: Stefan Batory Found., 2007.– 47 p
4. Winds of change : East Asia's sustainable energy future / Xiaodong Wang [et al.] ; World Bank. – Washington : The World Bank, 2010. – XVII, 154 p
5. Burdo O.G. Energeticheskiy monitoring pischevyih proizvodstv – Odessa: Poligraf, 2008 – 244s. [in Russian]
Burdo O.G. Energy monitoring of food productions – Odessa: Poligraf, 2008 – 244s.
6. Burdo O.G. Evolyutsiya sushilnyih ustanovok – Odessa: Poligraf, 2010 – 368s.
Burdo O.G. Evolution of drying machines– Odessa: Poligraf, 2010 – 368s. [in Russian]
7. Burdo O.G. Nanotehnologii. Flagmanskіe, perspektivnyie i fundamentalne proekty v APK //Nauk. pratsl Od. natslon. akad. harchovih tehnologiy. – Odesa: 2006. – Vip.28, T2. – s.242-251. [in Russian]
Burdo O.G. Nanotechnologies. Forward, perspective and fundamental directions in agro-industrial complex //Nauk. pratsl Od. natslon. akad. harchovih tehnologiy. – Odesa: 2006. – Vip.28, T2. – s.242-251.
8. Burdo O.G. Pischevyie nanoenergotehnologii – Herson: 2013 – 294s. [in Russian]
9. Burdo O.G. Food nanotechnologies – Herson: 2013 – 294s.

Надійшла 13.05.2015

Received 13.05.2015

УДК 620.9:658.29

Г.Б. ПАРАСКА д-р техн. наук, професор, О.А. МИКОЛЮК канд. екон. наук, доцент
Хмельницький національний університет

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

У статті розглядаються сучасні проблеми розвитку енергетичної системи України. Здійснено аналіз паливно-енергетичного балансу розвинених країн. Проаналізовано динаміку вітчизняних тарифів на природний газ та електроенергію. Визначено чинники масштабного застосування та пріоритетність впровадження енергоефективних заходів щодо ведення господарської діяльності та споживання паливно-енергетичних ресурсів в цілому. Проаналізовано проблеми теплопостачання та запропоновано використання енергоефективних систем опалення на основі споживання електричної енергії.

Ключові слова: енергопостачання, енергозбереження, електроенергія, теплова енергія, тариф.

Вступ. Аналіз сучасного розвитку енергетичних систем України свідчить про наявну кризу енергозабезпечення та відсутність чіткої стратегії розвитку, збалансованості енергопостачання. Реалії сьогодення не найкращим чином впливають на економіку країни, в тому числі і на енергогосподарство нашої держави. За роки незалежності Україна залишалась значно залежною (близько 50 %) від поставок природного газу. Важливим завданням на сьогодні є безперебійне енергопостачання з одночасним вирішенням проблеми енергоресурсозбереження.

Згідно Закону України «Про енергозбереження» одним з основних принципів державної політики у сфері енергозбереження є пріоритетність вимог енергозбереження при здійсненні господарської, управлінської або іншої діяльності, пов'язаної з видобуванням, переробкою, транспортуванням, зберіганням, виробленням та використанням паливно-енергетичних ресурсів [1].

Саме тому дуже важливо впроваджувати заходи, щодо енергозбереження для підвищення ефективності використання паливо енергетичних ресурсів.

Постановка завдання. Одним з найважливіших завдань сьогодення є вирішення проблем теплопостачання з одночасним вирішенням проблеми енергоресурсоощадження. Системи опалення, які широко використовуються на цей час, знаходяться у стані глибокої кризи, а більша частина теплових мереж потребують реконструкції. Використання централізованого опалення призводить до значних тепловтрат при транспортуванні теплоти до споживача.

Перспективним напрямком у цьому питанні є впровадження систем електричного опалення на противагу традиційного газового [2]. Україна є потужним виробником електричної енергії, країна повністю забезпечує себе електроенергією та експортує її до країн Європи. Електроенергію в Україні виробляють теплові, гідравлічні, гідроаккумулятивні та атомні станції не враховуючи ще деякі типи альтернативних електростанцій, які дають екологічну електрику. Також у перспективі набуде поширення використання екологічно чистої енергії сонця і вітру. З появою електрики використання різних систем електричного опалення для обігріву приміщень всіх типів стало звичним явищем та ставатиме все більш актуальним.

Мета роботи полягає у дослідженні перспектив використання систем електричного опалення. Для досягнення зазначеної мети необхідно виконати аналітичне дослідження доцільності масштабного застосування електричного опалення, визначити основні проблеми широкого впровадження систем електроакумуляції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками публікується значна кількість наукових і практичних робіт, в яких висвітлюються питання ефективного використання енергії та енергозбереження і, в тому числі, із впровадженням систем електричного опалення. Практично усі дослідники і практики [1-12] підкреслюють важливу потенційну роль електроенергії для розвитку і виживання людства у плані енергетичної та екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу Опалення є однією з найбільш витратних складових інженерного забезпечення. Централізоване опалення знаходиться в стані «глибокої кризи». За оцінками фахівців, енерговтрати при такому опалюванні досягають 40 % (у розвинених країнах – 2 %), і більше 70 % тепломереж вимагають серйозної реконструкції. Тому сьогодні очевидний перехід від централізованих систем опалювання або до мінікотельних (на групу будинків або на один будинок), або до індивідуальних систем [3].

Зауважимо, що особливістю паливно-енергетичного балансу розвинених країн є значна витрата електроенергії для опалювальних цілей. За наявними даними, у Франції електроопалюванням обладнано близько 40 % усіх будівель, в Іспанії і Фінляндії – 30 %, в Норвегії – відомому світовому виробнику і постачальнику газу – більше 80 % [1].

Враховуючи нагальне вирішення питань із зниження енергозалежності України перспективним напрямком у цьому питанні є впровадження систем електричного опалення. Україна вже зараз виробляє 58 % електроенергії на атомних станціях і займає третє місце у світі по її споживанню на душу населення, що зумовлює впровадження електротехнологій в опалювання найближчим часом.

Основним завданням вітчизняної електроенергетики має стати максимальне освоєння внутрішнього ринку, залучення нових споживачів, у тому числі і за рахунок розвитку електричного обігріву. Дослідження показують, що потенціал споживання електроенергії надзвичайно великий, адже на електроопалення поки що припадає лише 1 % спожитої електроенергії.

У таких умовах найбільш раціональним вирішенням даної проблеми є активне використання електричного опалення, що передбачає вибір оптимального обладнання відповідної системи опалення.

Вибір обладнання повинен здійснюватися по критерію мінімізації сумарних витрат, які включають як експлуатаційні, так і капітальні витрати. До виконання інженерного проекту доцільно розробити багатоваріантне техніко-економічне обґрунтування (ТЕО), з визначенням капітальних, експлуатаційних сумарних (за весь період експлуатації) витрат і термінів окупності [4].

Наприклад, теплопостачання будівлі або виробничого приміщення може бути здійснено за допомогою кількох альтернативних систем [5]:

- теплопостачання від міських теплових мереж;
- індивідуальна котельня із звичайним газовим котлом, індивідуальна котельня з конденсаційним газовим котлом;
- електроопалення, електроопалення з нічним акумулюванням, електроопалення із тепловим насосом;
- використання сонячних колекторів для приготування гарячої води;
- газові інфрачервоні обігрівачі, електричні інфрачервоні обігрівачі.

Розвиток сучасних технологій в галузі перетворення електричної енергії в теплову, які мають кращі показники в теплоакумуляційному забезпеченні споживачів сприяв широкому впровадженню таких систем як теплові насоси і теплові генератори в усіх індустріально розвинутих країнах, що спонукає до

пошуку шляхів більш широкого їх застосування і в Україні [6]. Перспективним в цьому плані є застосування автономних теплоакумуючих електронагрівальних приладів, які акумулюють енергію вночі по пільговим тарифам та віддають її протягом дня. Це пов'язано з тим, що постійне збільшення ціни за теплопостачання залежить від ціни на природний газ. В таких умовах електроопалення з використанням низьких нічних тарифів з неефективного стає економічно вигідним і конкурентоспроможним порівняно з іншими видами індивідуального опалення. А оскільки приблизно половина електроенергії, що виробляється в Україні, постачається від неманеврених атомних станцій, то це ще багато років буде утримувати нічні тарифи на електроенергію від зростання, заохочуючи до споживання електроенергії в нічні години [7]. В основі роботи опалювальної теплоакмуляційної системи лежить принцип накопичення тепла в теплових акумуляторах, які нагріваються від електричної енергії. Накопичивши тепло теплові акумулятори не споживаючи електроенергію віддають тепло в приміщення, таким чином опалюють його, за рахунок цього і досягається значна економія електроенергії. За допомогою системи автоматики можна задати і підтримувати необхідний температурний режим в приміщенні. Схема теплоакмуляційної системи зображена на рис.1.

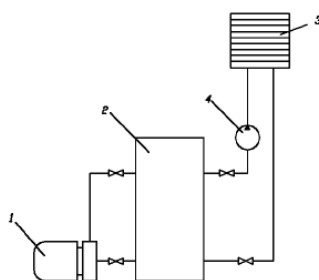


Рисунок 1 - Система опалення з тепловим акумулятором: 1 -ТГА, 2-тепловий акумулятор, 3-тепловий конвектор, 4 - циркуляційний насос [8]

Головними елементами вказаної системи є теплогенератор ТГА-15, тепловий акумулятор 2 на основі теплоємності робочого середовища, тепловий конвектор 3 з вентилятором, циркуляційний насос 4.

Оптимальний варіант системи опалення будівель, споруд та приміщень повинен здійснюватися з урахуванням ціни природного газу, електричної енергії, капітальних витрат, графіків теплових та електричних навантажень і цілої низки факторів на основі виконання багатоваріантного техніко-економічного обґрунтування.

Враховуючи тенденцію постійних змін цін на природний газ та електричну енергію багатоваріантне ТЕО повинно це враховувати. На сьогодні існує тенденція випередження ціни на електричну енергію ціною на газ, тому потрібно детально розглянути і уважно зважити раціональність і доцільність кожного можливого запропонованого варіанту. Для цього прослідкуємо динаміку тарифів на природний газ та електроенергію (табл.1-2).

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика старих та нових тарифів на природний газ, що відпускається населенню

№ з/п	Диференціація цін	Ціна за 1 м ³ з ПДВ, грн	
		до 03.03.2015	з 03.03.2015
1	У разі використання природного газу для приготування їжі та/або підігріву води у багатоквартирних будинках:		
		за наявності газових лічильників	1,182
	за відсутності газових лічильників	1,299	
2	За умови, що обсяг споживання природного газу не перевищує 2500 м ³ на рік:		
		за наявності газових лічильників	1,089
	за відсутності газових лічильників	1,197	
3	За умови, що обсяг споживання природного газу не перевищує 6000 м ³ на рік:		
		за наявності газових лічильників	1,788
	за відсутності газових лічильників	1,965	
4	За умови, що обсяг споживання природного газу перевищує 6000 м ³ на рік:		
		за наявності газових лічильників	3,645
	за відсутності газових лічильників	4,011	

Таблиця 2 - Порівняльна характеристика старих та нових тарифів на електроенергію, що відпускається населенню

Категорії споживачів	Старі тарифи (до 01.06.2014)	Нові тарифи (з 01.06.2014)	Нові тарифи (з 01.04.2015)
	(з ПДВ), коп. за 1 кВт·год		
Електроенергія, що відпускається: Населенню:			
до 150 кВт·год електроенергії на місяць (включно)			
	28,02	30,84	36,60
понад 150 кВт·год до 800 кВт·год електроенергії на місяць (включно)			
	36,48	41,94	63,00
понад 800 кВт·год електроенергії на місяць			
	95,76	134,04	140,70

Таким чином, аналіз зміни структури тарифів на споживання природного газу та електроенергії має чітку тенденцію до зростання. Це в першу чергу відображено у відсоткових співвідношеннях: від 600% - 700% - на природний газ та від 100% - 150% на електроенергію. Економія на тарифах відповідних паливно-енергетичних ресурсів очевидна – на користь використання електроенергії.

Модернізація електричних мереж дасть можливість забезпечити споживача якісною електроенергією і теплом за рахунок використання малопотужних електричних опалювальних систем. Ці системи можна швидко і ефективно впровадити на негазифікованих територіях. Монтаж таких опалювальних систем в установленому порядку, тобто з виконанням технічних умов і проекту, дозволить споживачеві отримати понижений тариф на електроенергію.

Таким чином, аналіз зміни структури тарифів на споживання природного газу та електроенергії має чітку тенденцію до зростання. Це в першу чергу відображено у відсоткових співвідношеннях: від 600% - 700% - на природний газ та від 100% - 150% на електроенергію. Економія на тарифах відповідних паливно-енергетичних ресурсів очевидна – на користь використання електроенергії.

Модернізація електричних мереж дасть можливість забезпечити споживача якісною електроенергією і теплом за рахунок використання малопотужних електричних опалювальних систем. Ці системи можна швидко і ефективно впровадити на негазифікованих територіях. Монтаж таких опалювальних систем в установленому порядку, тобто з виконанням технічних умов і проекту, дозволить споживачеві отримати понижений тариф на електроенергію.

Електрокотельні можуть замінити існуючі комунальні газові котельні і теплоелектроцентралі (ТЕЦ), більшість яких також спалюють газ. Особливо ефективно розпочинати будівництво електрокотельні на місці і замість ТЕЦ. У цьому разі інвестиції окупляться дуже швидко. З одного боку, більшість працюючих в Україні ТЕЦ фізично і морально застаріли і потребують глибокої модернізації або зняття з експлуатації. З іншого — ТЕЦ спалюють газ для виробництва не лише тепла, а й електроенергії, якої на ринку в останні роки та у найближчій перспективі надлишок. При цьому всі ТЕЦ неконкурентоспроможні через вищу, ніж на ТЕС, ГЕС і АЕС, собівартість електроенергії. Тариф на виробництво електроенергії на найкращих в Україні київських ТЕЦ в 1–6 разів вищий, ніж у середньому по ТЕС України. А тариф для однієї з найбільш застарілих Зуєвської ТЕЦ учетверо вищий, ніж на ТЕС, та в 11 разів перевищує тариф для АЕС України. Виведення з енергоринку ТЕЦ (особливо найдорожчих) дасть колосальний економічний вигравш, який може бути використаний як інвестиційний ресурс для будівництва електрокотельні і забезпечить їхню окупність у найкоротші терміни. Наприклад, будівництво електрокотельні замість тієї ж Зуєвської ТЕЦ тільки за рахунок різниці в вартості електроенергії окупиться за лічені місяці.

Ще один аргумент на користь електрокотельні замість ТЕЦ — їх повна гармонія з навколишнім середовищем. Адже вони як промислові об'єкти чистіші за газові ТЕЦ і на порядок кращі за ТЕЦ на вугіллі. Отже, ці об'єкти ідеально підходять для розміщення поблизу і в населених пунктах. Будівництво електрокотельні на базі існуючих ТЕЦ заощадить час, необхідний для відведення земельного майданчика та будівництво теплових комунікацій для передачі тепла споживачам і т.ін. Як правило, спрощується робота з приєднання нових об'єктів до електричних мереж [9].

Слід зауважити ефективність теплоакмулюючої котельні із використанням нічого тарифу. Є кілька аргументів на користь саме такого шляху використання електроенергії для опалення житлових і господарських приміщень.

По-перше, це наявність вільних генеруючих потужностей, резерв яких і на АЕС, і особливо на ТЕС величезний. Використання встановлених потужностей у 2013 р. не перевищувало 65 і 33% відповідно. Останніми роками в Україні був профіцит енергетичного вугілля. Через події на Донбасі виникли ускладнення з вугіллям, однак, будемо сподіватися, що вони тимчасові. Проблема вугілля у коротко- і

середньостроковій перспективі можна вирішити і в інший спосіб, зокрема, за допомогою імпорту. Оскільки в нічний час навантаження енергосистеми скорочується на 25–30% проти пікових вечірніх годин, це створює нічний резерв потужності розподільчих мереж, що дає можливість приєднувати електростанції без додаткових витрат часу і коштів на їх модернізацію.

По-друге, це прийнятні терміни будівництва електростанцій. Наприклад, мостіньську електростанцію було збудовано менш як за півроку. Отже, практичних результатів можна досягти вже до наступного опалювального сезону. Принцип побудови електростанцій модульний, оскільки існує можливість вибору одиничної потужності базових агрегатів та їх кількості на об'єкті. Це дає змогу збільшувати потужність котельні у два, три і більше разів без значного збільшення часу на її будівництво.

Важливим питанням для будь-якого проекту є його вартість і час окупності. Питомі капіталовкладення на будівництво електростанцій оцінюються фахівцями на рівні 400–450 дол. за кВт встановленої потужності. Це у разі менше порівняно з іншими варіантами заміщення газу вугіллям або альтернативними видами палива. Додатковим плюсом є можливість застосовувати типові рішення при проектуванні та будівництві електростанцій.

Щодо особливостей теплонакопичувача слід зауважити, що накопичення теплової енергії відбувається вночі, коли діє дешевий тариф на електроенергію (з 23-ї до 6 год.), а віддача тепла – цілодобово. Теплонакопичуючі брикети з високоякісного матеріалу магнетиту зберігають тепло до моменту віддачі приміщенню практично без втрат. Це робить даний вид опалення економічно вигідним. До того ж не потрібно витрачати кошти на дорогі будівельні роботи – прокладку труб, купівлю котла тощо – усе те, що необхідне при проведенні газового опалення.

Потужність теплонакопичувача підбирається з розрахунку 50-60 Вт потужності приладу на 1 кв. м площі приміщення при теплових втратах на рівні 60-70 Вт/кв.м та висоті стелі до 3 м. Бажана температура в приміщенні встановлюється за допомогою зручного у використанні терморегулятора. Система накопичення тепла в приладах слідує, щоб було накопичено рівно стільки теплової енергії, скільки потрібно для обігріву приміщення протягом робочого дня. Тепло віддається за допомогою вбудованого безшумного вентилятора потужністю лише 15 Вт. Електричне опалення безпечне для здоров'я, воно не спалює кисень і не забруднює навколишнє середовище.

Електричні автономні системи сьогодні успішно експлуатуються за кодоном. Цей вид опалення розповсюджений у США, Канаді, Західній Європі. Електроопалення у Франції вже займає до 40% ринку енергоносіїв, а Швеція прийняла державну програму повного переходу опалення на електроенергію до 2016 року.

В Україні вже реалізовані перші проекти з оснащення приміщень акумулюючими обігрівачами. Такі обігрівачі широко використовують для опалення адміністративних установ, шкіл, магазинів, приватних будинків, квартир і дач, а також виробничих приміщень [10].

Встановлення багатотарифних приладів обліку та перехід на розрахунки за спожиту електроенергію за тарифами, які диференційовані за періодами часу, дозволяє споживачам заощаджувати на оплаті спожитої електроенергії за рахунок найбільшого споживання електричної енергії у період доби, в який діє найменший тарифний коефіцієнт.

Наприклад, вночі при мінімальному навантаженні енергосистеми встановлюються знижені коефіцієнти для оплати за спожиту електроенергію, завдяки чому вартість спожитої в нічний період електроенергії значно зменшується.

Відповідно до Порядку застосування тарифів на електроенергію, що відпускається населенню і населеним пунктам, затвердженого постановою Національної комісії регулювання електроенергетики України від 10.03.1999 р. №309 (зі змінами та доповненнями) розрахунки населення за спожиту електроенергію за тарифами, що диференційовані за періодами часу, здійснюються за такими тарифними коефіцієнтами: при розрахунках за електроенергію за двозонними тарифами:

- 0,7 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23-ї години до 7-ї години);

- повний тариф в інші години доби.

При розрахунках за електроенергію за трizonними тарифами:

- 1,5 тарифу в години максимального навантаження енергосистеми - піковий період (з 8-ї години до 11-ї години і з 20-ї години до 22-ї години);

- повний тариф у напівпіковий період (з 7-ї години до 8-ї години, з 11-ї години до 20-ї години, з 22-ї години до 23-ї години);

- 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23-ї години до 7-ї години).

Такий облік може здатися складним на перший погляд. Але сучасні лічильники дозволяють вести багатотарифний облік електроенергії без будь-яких особливих труднощів. Такі лічильники програмуються особливим чином і потім самостійно перемикаються на той чи інший тариф, в залежності від періоду доби.

Крім того, їх інтерфейс дозволяє проглянути детальну звітність про те, коли і як витрачалася електроенергія і скільки за неї доведеться заплатити.

Багатотарифний облік електроенергії довів свою економічну ефективність і тому використовується в більшості розвинених країн світу і поступово стає популярним і в нашій країні.

Висновки. Доцільність широкомасштабного застосування електричного опалювання в Україні обумовлена наступними чинниками:

- економічніше газового і центрального опалення ;
- можливість накопичення тепла вночі при використанні пільгового тарифу;
- незалежність від постійного дорожчання газу;
- простота і швидкість монтажу;
- прогріває приміщення швидко і рівномірно;
- більш високий комфорт при меншій температурі повітря.

Таким чином, сучасна реальність доводить необхідність змінювати відношення до проблем енергозбереження, але для цього необхідно об'єднати зусилля для активізації руху на шляху енергоефективності, інноваційних пропозицій, впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

Список літератури

1. Закон України «Про енергозбереження», Відомості Верховної Ради України. – 1994. – №30. – ст. 283.
2. Шацков А. О., Монах С. І. Перспективи і проблеми впровадження інфрачервоного опалення в Україні // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури, – 2013. – Вип. 3. – С. 141 – 145.
3. Сравнение различных способов отопления зданий [Электронный ресурс] / <http://energointel.com.ua/>
4. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2006. – № 9. – Режим доступа : http://esco_ecosys.narod.ru/2006_9/art_157.htm.
5. Никитин Е. «Энергетический менеджмент – эффективный инструмент энергоресурсосбережения» // «Энергосбережение» №6 (128), 2010 – С. 4–6.
6. Степаненко В. «Запорожье через 15 лет» // «Энергосбережение» №5 (127) – С. 9–11.
7. Ткаченко А.М., Мусатова М.В. Економічні аспекти використання інфрачервоного опалення на промисловому підприємстві//Вісник економічної науки України, 2011/№1, С.151-153.
8. Дубовський С.В. Сучасний стан, техніко-економічні передумови та перспективи розвитку низькотемпературного забезпечення на основі теплових насосів // Відновлювальна енергетика. – 2007. – № 4. – С. 6 – 32.
9. Корінчевська Т.В., Снежкін Ю.Ф. Техніко-економічні показники електронагрівальних теплових акумуляторів // Наукові праці, випуск 45, Т.3– С. 27–32.
10. Чи можна замінити газ електрикою [Электронный ресурс] / http://gazeta.dt.ua/energy_market/chimozhna-zamistiti-gaz-elektrikoyu-.html
11. Як електричне опалення вирішить «газові» проблеми у Житомирській області [Электронный ресурс] / http://www.zhitomir.info/news_67959.html
12. С.Ф. Ковальов, М.С. Овчаренко, А.А. Папченко. Досвід використання систем опалення на основі тепло генеруючих агрегатів // Восточно-Европейский журнал передовых технологий (59) 2012. – С.58. – 60.

G.B. PARASKA, O.A. MIKOLYUK

Khmelnickiy national university

ESTIMATION EFFICIENCY OF USE ELECTRIC SYSTEMS HEATING

The modern problems of development of the power system of Ukraine are examined in the article. A fuel and energy statement of the developed countries analysis is carried out. The dynamics of domestic tariffs is analysed on natural gas and electric power. Certainly factors of scale application and priority of introduction of energyeffective measures on the conduct of economic activity and consumption of fuel and energy resources. The problems of supply of heat are analysed and the use of the energyeffective systems of heating is offered on the basis of consumption of electric energy.

Keywords: energy supply, energy-savings, electric power, thermal energy.

References

1. Zakon Ukrayini «Pro energozberezhennya», Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukrayini. – 1994. – №30. – st. 283.
2. Shatskov A. O., Monah S. I. Perspektivi i problemi vprovadzhennya infrachervonogo opalennya v Ukrayini // Visnik Donbaskoyi natsionalnoyi akademiyi budivnitstva i arhitekturi, – 2013. – Vip. 3. – S. 141 –145.
3. Sravnenie razlichnyh sposobov otopleniya zdaniy [Elektronnyy resurs] / <http://energointel.com.ua/>
4. Elektronnyy zhurnal energoservisnoy kompanii «Ekologicheskie sistemy». – 2006. – № 9. – Rezhim dostupu : http://esco_ecosys.narod.ru/2006_9/art_157.htm.

5. Nikitin E. «Energeticheskiy menedzhment – effektivnyy instrument energoresursosberezheniya» // «Energoberezhenie» №6 (128), 2010 – S. 4–6.
6. Stepanenko V. «Zaporozhe cherez 15 let» // «Energoberezhenie» №5 (127) – S. 9–11.
7. Tkachenko A.M., Musatova M.V. Ekonomichni aspekti vikoristannya infrachervongo opalennya na promislovomu pidpriemstvi // Visnik ekonomichnoyi nauki Ukraini, 2011/№1, S.151-153.
8. Dubovskiy S.V. Suchasniy stan, tehniko-ekonomichni peredumovi ta perspektivi rozvitku nizkotemperaturnogo zabezpechennya na osnovi teploviy nasosiv // Vidnovlyvalna energetika. – 2007. – № 4. – S. 6 – 32.
9. Korinchevska T.V., Snezhkin Yu.F Tehniko-ekonomichni pokazniki elektronagrivalnih teploviy akumuliyatoriv // Naukovi pratsi, vipusk 45, T.3– S. 27–32.
10. Chi mozhna zamistiti gaz elektrikoyu [Elektronnyy resurs] / http://gazeta.dt.ua/energy_market/chi-mozhna-zamistiti-gaz-elektrikoyu-.html
11. Yak elektrichne opalennya virishit «gazovi» problemi u Zhitomirskiy oblasti [Elektronnyy resurs] / http://www.zhitomir.info/news_67959.html
12. S.F. Kovalov, M.S. Ovcharenko, A.A. Papchenko. Dosvid vikoristannya sistem opalennya na osnovi teplo generuyuchih agregativ // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyh tehnologiy (59) 2012. – S.58. – 60.

УДК 620.9: 658.29

Г.Б. ПАРАСКА д-р техн. наук, профессор, О.А. МИКОЛЮК канд. экон. наук, доцент
Хмельницкий национальный университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

В статье рассматриваются современные проблемы развития энергетической системы Украины. Осуществлен анализ топливно-энергетического баланса развитых стран. Проанализирована динамика отечественных тарифов на природный газ и электроэнергию. Определены факторы масштабного применения и приоритетность внедрения энергоэффективных мероприятий по ведению хозяйственной деятельности и потребления топливно-энергетических ресурсов в целом. Проанализированы проблемы теплоснабжения и предложено использование энергоэффективных систем отопления на основе потребления электрической энергии.

Ключевые слова: энергоснабжение, энергосбережение, электроэнергия, тепловая энергия, тариф.

Надійшла 02.06.2015

Received 02.06.2015

УДК 504.064.36:658.26

РОЗЕН В.П.¹, докт. техн. наук, проф. ДАВИДЕНКО Н.В.²

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна

² Луцький національний технічний університет, Україна

ФОРМУВАННЯ МНОЖИНИ ХАРАКТЕРИСТИК ФАКТИЧНОГО РЕЖИМУ ВОДОСПОЖИВАННЯ В СИСТЕМАХ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Обговорюються питання аналізу фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання як початкового етапу планування енергоефективного режиму водоподачі. Метою дослідження є формування принципів комплексного аналізу добового водоспоживання та урахування впливу сезонних і кліматичних чинників. Для опису графіка добового водоспоживання сформовано сукупність характеристик, яка містить класичні та морфометричні показники. Для виявлення впливу кліматичних чинників запропоновано враховувати параметри, що характеризують погодні умови. Для виявлення сезонних особливостей дослідження добових графіків водоспоживання запропоновано здійснювати з урахуванням пори року та періодів добового циклу. Описані принципи комплексного аналізу графіка добового водоспоживання на основі бази даних добового водоспоживання, попередньо створеної в межах системи моніторингу режимів системи водопостачання, сприятимуть виявленню прихованих спільних рис у водоспоживанні.

Ключові слова: добовий графік водоспоживання, показники нерівномірності, морфопараметри.

Вступ. В останні роки для великих промислових об'єктів вкрай актуальним є завдання мінімізації витрат електроенергії в процесі виробництва. До числа підприємств, для яких економія електроенергії є одним з найбільш важливих факторів виживання та розвитку, належать водопостачальні підприємства міст. У сучасних міських системах водопостачання витрати на подачу води (пов'язані з підтриманням робочого стану трубопроводів і оплати електроенергії) є головною складовою сумарних експлуатаційних витрат. У структурі собівартості чистої води, відпущеної споживачам, від 30 до 70 відсотків, залежно від регіону і величини населеного пункту, припадає на вартість електроенергії, що витрачається на перекачування води насосними станціями [1].

Питання підвищення енергоефективності функціонування систем комунального водопостачання (СКВ) на сьогодні є одним із пріоритетних напрямків розвитку науково-прикладних досліджень з енергоресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві (ЖКГ). Одним з критеріїв оптимізації діяльності підприємства є зменшення витрати електроенергії в процесі виробництва. В якості основного шляху економії енергоресурсів в системах водопостачання пропонується зниження непродуктивних витрат і втрат води, шляхом заміни та модернізації застарілого обладнання, вдосконалення обліку, контролю, регулювання робочих параметрів роботи елементів системи водопостачання. Проте, задача підвищення енергоефективності систем водопостачання не може стосуватися вдосконалення лише конструкцій та режимів роботи окремих його елементів - вона повинна вирішуватись комплексно, з урахуванням усіх особливостей функціонування складових даної системи. Проблема підвищення ефективності СКВ базується на вирішенні таких задач [2]: розробка енергозберігаючих систем та алгоритмів управління, засобів підвищення енергетичної та технологічної керованості об'єктів системи, систем ідентифікації нестійких або аварійних режимів роботи, сервісних автоматизованих засобів підвищення керованості кавітаційними процесами та зниження динамічних навантажень тощо.

Сучасна система комунального водопостачання, що має складну, територіально розосереджену структуру, в процесі експлуатації піддається впливу багатьох факторів. Один з головних чинників, що визначають режим роботи водопровідних споруд, - це водоспоживання міста, яке є змінною величиною [3]. Оскільки процеси водоспоживання в мережі мають випадковий характер, то часто виникають такі ситуації, за яких режими роботи насосних станцій не є оптимальними.

Важливим фактором енергозбереження є своєчасна реконструкція об'єктів водопостачання на тлі змінених умов водоспоживання, а також прогнозування змін, які можуть виникнути в найближчому майбутньому [4]. Актуальним напрямком в реконструкції об'єктів підприємств комунального водопостачання є підвищення ефективності та економічності роботи міських систем водопостачання на основі розвитку інформаційних систем моніторингу та управління водопостачанням міст, які є важливою складовою частиною загальної системи енергоменеджменту водопостачальних підприємств і дозволяють вивести роботу підприємств на якісно новий технологічний рівень [4]. Існує значна кількість технічних рішень, що базуються на застосуванні інформаційно-керуючих систем, логічних частотно-керованих приводів і систем моніторингу в області водопостачання та водовідведення. Оптимізація роботи насосного та водопровідного обладнання неможлива без створення сучасної інформаційно-аналітичної системи моніторингу та управління процесами водопостачання міста. Новітні методи та технології управління енергоефективністю СКВ передбачають: впровадження альтернативних методів регулювання технологічних параметрів насосних станцій, розробку систем оптимального управління та гідродинамічного захисту в аварійних режимах функціонування, автоматизація процесів оперативного управління режимами водопостачання, а також використання сучасних математичних методів моделювання у задачах прогнозування енергоспоживання, добового і погодинного водоспоживання та планування обсягів подачі води [2]. Незважаючи на велику кількість робіт у сфері підвищення ефективності функціонування систем комунального водопостачання, науковому аналізу фактичного режиму водоспоживання в міських водопроводах та планування водоподачі із застосуванням методів математичної статистики, а також розробці показників для опису нерівномірності графіка водоспоживання та параметрів частоти повторюваності і тривалості пікових витрат води (добових, годинних) приділяється недостатньо уваги. Разом з тим такі дослідження представляють інтерес для уточнення режимів водоподачі та оперативного управління режимами насосних станцій з метою підвищення енергоефективності систем водопостачання.

Мета та завдання. Формування принципів комплексного аналізу та опису характерних особливостей фактичного добового водоспоживання з урахуванням його нерівномірності протягом доби та впливу сезонних і кліматичних чинників для удосконалення процесу моніторингу енергоефективності режимів роботи системи комунального водопостачання.

Матеріали та результати дослідження. Забезпечення надійності та ефективності функціонування централізованих систем комунального водопостачання є головною вимогою, що висувається до міських інженерних систем, особливо в умовах переходу до ринкової економіки і реформи ЖКГ. Найбільш

важливими є завдання оперативного управління підсистемами водопостачання за фактом підтримки ефективних і оптимальних режимів, що дозволяють забезпечити економію електроенергії та води, а також задачі розпізнавання позаштатних режимів і аварійних ситуацій. Важливим елементом управління водопостачанням є встановлення оптимальних експлуатаційних режимів по кожному об'єкту системи комунального водопостачання. Цільовою функцією оптимізації технологічних режимів насосної станції є мінімізація її енергетичних витрат при забезпеченні безперебійної подачі води споживачу і за умови дотримання заданого напору в контрольних точках водопровідної мережі відповідно до реального режиму водоспоживання [5].

Витрату води з мережі визначають за сумарними ступінчастими графіками водоспоживання. Такі графіки мають декілька багатогодинних рівнів (режимів), навколо яких відбувається незначне коливання годинних витрат води. Для ефективного регулювання режимів роботи на кожній станції розробляється організаційне та технологічне забезпечення - режимні карти і типові графіки, які регламентують умови різних способів регулювання залежно від реальних режимів водоспоживання [5]. Один із способів отримання графіка характерних режимів полягає у сортуванні графіка водоспоживання з наступним його усередненню на кількох характерних інтервалах. Оптимальним значенням подачі води насосною станцією на заданому відрізку є усереднене на цьому відрізку водоспоживання. Отриманий графік з меншою кількістю ступенів є основою для багаторежимної оптимізації систем подачі та розподілу води, а процес оптимізації зводиться до вибору моментів часу переключення, де графік водоспоживання усереднюється на деякому періоді [6]. Підготовка детального погодинного плану подачі води визначає в кінцевому результаті оптимальні гідравлічні параметри роботи системи: тиску на колекторах насосних станцій другого і третього підйому, тиск в розподільній мережі, рівні в резервуарах питної води [3]. Тобто, режим подачі води в місто (і, відповідно, режими роботи насосних станцій 2-го підйому, на які припадає лівова частка обсягів перекачування) безпосередньо визначається поточною потребою у величині водорозбору. Від точності прогнозу добового і погодинного водоспоживання залежатиме ефективність режиму роботи насосних станцій і регулюючих вузлів, гідравлічні параметри розподільчої мережі міста [3]. Прогнози водоспоживання можуть бути використані як для виявлення днів і годин максимального (мінімального) водоспоживання, так і для вироблення енергозберігаючої технології оперативного управління режимами насосних станцій. Отже, наявним є безпосередній зв'язок завдання планування витрат електроенергії із завданням добового і годинного прогнозування міського водоспоживання [1]. Визначення ефективної витрати електроенергії, необхідної для функціонування системи водопостачання міста, повинне бути виконане з урахуванням прогнозного значення водоспоживання міста, яке є основою для планування подачі води в мережу водопостачання та відіграє важливу роль в процесі управління ефективністю електроспоживання.

Для систем міського водопостачання, де домінуючу роль відіграє господарсько-питне водоспоживання, поняття «нормальної» подачі встановити не так просто. На характер водоспоживання впливає низка факторів - сезони, температура зовнішнього повітря, державні та релігійні свята, програми телепередач, тощо [3]. Коефіцієнти нерівномірності водоспоживання визначаються шляхом осереднення, виходячи з досвіду роботи різних міських водопроводів. Цей досвід узагальнюється і створюються нормативні коефіцієнти нерівномірності водоспоживання. В реальних умовах водоспоживання населених пунктів по сезонах і місяцях відхиляється від середнього. Протягом доби споживання води також нерівномірне. У нічний час споживання води менше, ніж в денний; у передсвяткові та передвихідні дні витрата більша, ніж у інші дні тижня. Отже, існує нерівномірність добового і годинного водоспоживання. Споживання води населенням протягом року також нерівномірне. Це пов'язано зі зміною укладу життя населення; сезонним відключенням опалення, гарячого водопостачання, а також зміною температури зовнішнього повітря. Дослідження [3] також підтверджують вплив аномальних температур зовнішнього повітря на подачу води в місто.

Сезонні коливання, зазвичай, не перевищують 15 ... 20% [3]. У той же час добові коливання значні, так як більше 70% води споживається в день. Якщо навіть припустити, що обсяг річного водоспоживання міста встановлений досить точно (відповідно до фактичних потреб жителів), то зміни витрати води в межах року і особливо в межах доби складно передбачити достатньо точно.

Тому, актуальним завданням є розробка підходів та методів, які б дозволяли враховувати випадковий характер водоспоживання, виявити вплив на нерівномірність водоспоживання соціальних, кліматичних та сезонних чинників та на його основі здійснювати оптимальне планування водоподачі та витрат електроенергії водопровідними станціями як складової системи моніторингу ефективності енерговикористання в системі комунального водоспоживання.

Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про режими роботи об'єктів системи комунального водопостачання, використання методів інтелектуального аналізу даних для вивчення постійно зростаючих обсягів інформації та виявлення прихованих закономірностей, що визначають формування технологічних режимів елементів системи

водопостачання. Залежності з невеликою кількістю вхідних і вихідних змінних отримують шляхом обробки великих обсягів даних моніторингу режимів роботи систем водопостачання [4].

Основним режимним показником процесу водопостачання є графік водоспоживання (ГВС). Один із можливих підходів до формування графіка характерних режимів для багаторежимної оптимізації режиму роботи об'єктів СКВ є попереднє створення бази даних добового водоспоживання в межах системи моніторингу режимів системи водопостачання. На основі створеної бази даних можливе здійснення аналізу добового ГВС, тобто дослідження основних параметрів графіка для пошуку спільних рис у водоспоживанні та побудови сімейства типових графіків водоспоживання. Останні мають стати основою для побудови сімейства графіків характерних режимів водоподачі. Сімейство типових ГВС повинне бути диференційованим відповідно до сезонів року і відображати специфіку водоспоживання в робочий, передвихідний, вихідний, передсвятковий та святковий дні. Системи автоматизованого управління та системи моніторингу дозволяють накопичити достатній об'єм адекватного статистичного матеріалу для виконання такого розбиття.

Для опису добового графіка водоспоживання слід враховувати основні параметри: середнє водоспоживання, максимальне (мінімальне) водоспоживання протягом доби, час, який відповідає максимальному (мінімальному) водоспоживанню; а також додаткові параметри: дисперсія та середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт форми, коефіцієнт максимуму, коефіцієнт заповнення та коефіцієнт нерівномірності графіка водоспоживання, які вважаються класичними показниками нерівномірності добових графіків

Середнє значення добового водоспоживання:

$$Q_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \quad (1)$$

де n – кількість точок фіксації значень водоспоживання; q_i – значення водоспоживання в момент фіксації часу $i \in [1, n]$.

Дисперсія ГВС та середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - Q_c)^2; \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (3)$$

Коефіцієнт форми, коефіцієнт максимуму, коефіцієнт заповнення, коефіцієнт нерівномірності ГВС:

$$K_\phi = \frac{Q_{ck}}{Q_c}; \quad K_M = \frac{Q_{max}}{Q_c}; \quad K_\phi = \frac{Q_c}{Q_{max}}; \quad K_H = \frac{Q_{min}}{Q_{max}}, \quad (4)$$

де Q_{max} - максимальне значення добового водоспоживання; Q_{min} - мінімальне значення добового водоспоживання; Q_{ck} - середньоквадратичне значення водоспоживання:

$$Q_{ck} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n q_i^2}{n}}. \quad (5)$$

Добовий ГВС повністю відображає процес водоспоживання в часі і всі інші показники є похідними від нього. Природа графіка водоспоживання дозволяє представити його у вигляді кругової часової діаграми – діаграми радарного типу (ДРТ). Фігура графіка утворює замкнений багатокутник - фігуру, обмежену замкнутою ламаною без самоперетинів, що задана своїми вершинами з координатами (x_i, y_i) в порядку обходу. Відстань від центру координат (x_0, y_0) до вершини багатокутника відповідає значенню об'єму води, що споживається в даний момент часу. Морфометрія є інструментом аналізу фігур різної форми. Використання морфометричного опису дозволяє отримати різнобічну детальну оцінку ГВС та його нерівномірності [7]. Виділяють дві групи морфометричних параметрів: базові (X, Y координати; периметр; площа; координати центра ваги; округлість; компактність; видовження; випуклість) та похідні (радіус вписаного та описаного кіл; довжина, ширина; головна вісь видовження; додаткова вісь видовження; периметр випуклості; площа випуклості; компактність випуклості; кут осей видовження).

Опишемо морфопараметри, використання яких є доцільним для аналізу нерівномірності графіка водоспоживання [7].

Периметр ДРТ (Perimetr):

$$P = \sum_{i=1}^{24} d_i = \sqrt{(x_{24} - x_1)^2 + (y_{24} - y_1)^2} + \sum_{i=1}^{23} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}. \quad (6)$$

де x_i, y_i - координати вершини багатокутника, що відповідає водоспоживанню в i -ту годину доби.

Площа ДРТ (Area):

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{23} (x_i + x_{i+1})(y_i - y_{i+1}) \right|. \quad (7)$$

Координати центра ваги ДРТ (Weight Center):

$$\begin{cases} x_y = \frac{\sum_{i=2}^{24} \left(\frac{x_i - x_{i-1}}{2 \cdot (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)} \right)}{1,5 \cdot \sum_{i=1}^{24} (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)}; \\ y_y = \frac{\sum_{i=2}^{24} \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{2 \cdot (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)} \right)}{1,5 \cdot \sum_{i=1}^{24} (x_i \cdot y_{i-1} - x_{i-1} \cdot y_i)}. \end{cases} \quad (8)$$

Зміщення центра ваги ДРТ x_y, y_y відносно центра координат x_0, y_0 :

$$d = \sqrt{(x_0 - x_y)^2 + (y_0 - y_y)^2}. \quad (9)$$

Округлість (Circularity):

$$M_1 = \frac{R_{\min}}{R_{\max}}, \quad (10)$$

де R_{\min} – радіус вписаного кола ДРТ; R_{\max} – радіус описаного кола ДРТ. Центри кіл співпадають з центром ваги ДРТ.

Компактність (стисненість, нерозрихленість) (Compactness):

$$M_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{P^2}. \quad (11)$$

Видовження (Elongation):

$$M_3 = \frac{L_2}{L_1}. \quad (12)$$

де L_1 - довжина головної осі видовження діаграми - найдовшої осі, що проходить через центр ваги ДРТ; L_2 - довжина додаткової осі видовження діаграми - перпендикуляра до головної осі.

Випуклість (Convexity):

$$M_4 = \frac{S_e}{S}. \quad (13)$$

де S_e - площа випуклого корпусу, описаного навколо ДРТ.

Зміщення координат центра ваги x_c, y_c відносно центру координат x_0, y_0 зростає з ростом нерівномірності ДРТ, тобто є характеристикою, що реагує на будь-які піки чи провали ГВС. Округлість характеризує добову нерівномірність ГВС через відношення між значеннями найбільшого та найменшого водоспоживання протягом. Компактність дозволяє врахувати проміжні значення ГВС, здійснюючи їх лінійну апроксимацію, та детально охарактеризувати загальну добову нерівномірність як відношення всіх піків та провалів ДРТ – більш стрімкі перепади значень призводять до росту величини профілю графіка. Видовження дозволяє оцінити співвідношення між об'ємами водоспоживання у нічний період та пікового водоспоживання. Випуклість є інтегральною характеристикою, що враховує не одне максимальне значення, а їх множину визначену випуклою фігурою та зумовлену нерівномірністю ГВС. Значення випуклості відображає характеристику нерівномірності, що має певну аналогію з коефіцієнтом максимуму та коефіцієнт заповнення графіка, але охоплює множину максимумів графіка водоспоживання, тому більш точно описує характер нерівномірності. Морфопараметри округлість, компактність, видовження та випуклість використовують для аналізу нерівномірності ГВС [7]. Якщо вони прямують до нуля, то нерівномірність добового графіка водоспоживання є значною. З наближенням їх значень до одиниці графік є рівномірним.

Для виявлення сезонних особливостей водоспоживання дослідження добових ГВС необхідно здійснювати з урахування пори року: зима, літо та осінь-весна.

Дослідження [3] підтверджують вплив аномальних температур зовнішнього повітря на подачу води в місто. Для виявлення змін у добовому водоспоживанні, пов'язаних із зміною кліматичних умов (особливо для літнього періоду), доцільно враховувати параметри, що характеризують зовнішнє середовище, зокрема: максимальне (мінімальне) значення добової температури, середньодобову температуру повітря, а також кількість та тривалість опадів протягом доби.

Аналіз графіків добового водоспоживання дозволяє стверджувати, що добовий цикл містить чітко виражені періоди основного водоспоживання (денний час доби), періоди фонового водоспоживання (нічний час) та перехідні періоди, причому відмінність у ГВС проявляється, зазвичай, у денні години доби. Тому для підвищення достовірності виявлення характерних особливостей добових ГВС аналіз всіх його параметрів необхідно здійснювати також окремо для нічного та денного періоду доби.

Виявлення характерних особливостей добового споживання води з метою формування сімейства типових графіків водоспоживання доцільно здійснювати з використанням об'єктно-орієнтованої формалізації процедури комплексного аналізу ГВС з урахуванням основних, додаткових та морфометричних параметрів графіка, а також кліматичних факторів, сезонності та періодів добового циклу. При цьому об'єкти середовища моделюються за допомогою класів – моделей з об'єднаними характеристиками, властивостями і правилами існування. Архітектуру комплексної оцінки добового графіка водоспоживання наведено на рис. 1.



Рисунок 1 Архітектура комплексного аналізу показників добового графіка водоспоживання

Комплексний аналіз параметрів добових ГВС з урахуванням пори року та періодів добового циклу створює передумови для виявлення прихованих спільних рис у водоспоживанні та формування сімейства типових графіків, які відображатимуть специфіку водоспоживання в передвхідний, вихідний, передсвятковий, святковий та робочий дні, а кліматичні показники дозволятимуть врахувати вплив зовнішнього середовища.

Висновки. Характеристика особливостей фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання повинна базуватись на виявленні прихованих закономірностей та спільних рис у графіках добового водоспоживання, які повністю відображають процес водоспоживання в часі і є основним режимним показником процесу водопостачання. Опис графіка водоспоживання доцільно здійснювати з урахуванням сукупності показників, які відображають нерівномірність процесу водоспоживання протягом доби і містять класичні та морфометричні параметри нерівномірності графіка. Внесення до розгляду характеристик, що описують зовнішнє середовище, а також врахування пори року та періоду доби сприятиме виявленню впливу на характер водоспоживання, сезонних, кліматичних та соціальних чинників. Сукупний аналіз характеристик добового використання води в системах комунального водопостачання з урахуванням нерівномірності графіка водоспоживання, кліматичних показників, сезону та періодів добового циклу дозволяє отримати важливу інформацію щодо особливостей водоспоживання, яка є основою для планування ефективних режимів водоподачі та забезпечення енергоефективної роботи всієї системи та її структурних елементів.

Список літератури

1. Ексаев А.Р. Долгосрочное планирование расхода электроэнергии на основе прогноза водопотребления города [Електронний ресурс] / А.Р. Ексаев, В.М. Задачин // ЖКХ. – 2005. - Режим доступу: <http://www.citycom.ru/publications/aug-2005.php>
2. Романенко С.С. Інноваційні підходи в задачах підвищення ефективності гідротранспортних комплексів [Текст] / С.С. Романенко, Т.В. Коренькова // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. – 2011. - № 1/2011 (1). – С. 108-109.
3. Шушкевич Е. В. Эффективное управление системой подачи и распределения воды Московского мегаполиса [Текст] / Е.В. Шушкевич // Водоснабжение и санитарная техника. - 2011. - № 1. – С. 24-30.
4. Романчук С.М. Мониторинг и анализ данных в процессе управления водоснабжением города Донецка [Текст] / С.М. Романчук // Системний аналіз у науках про природу та суспільство. - 2011. - Вип. 1. - С. 133-143.
5. Романчук С. М. Алгоритмы управления технологическими режимами водоснабжения городов [Текст] // Вісник Донецького національного університету. Сер. А: Природничі науки. – 2014. – № 1. С. 103-110.
6. Карамбиров С.Н. Многорежимная оптимизация систем подачи и распределения воды [Електронний ресурс] / С.Н. Карамбиров // Проблемы научного обеспечения развития эколого-экономического потенциала России (сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции 15-19 марта 2004 г.). – Москва, 2004. - С.70-73. - Режим доступу: <http://ieek.timacad.ru/science/ht/10/2004/sb-04.htm>
7. Коменда Т.І. Морфометричні методи і моделі оцінки та зменшення нерівномірності навантажень систем електропостачання: монографія [Текст] / Т.І. Коменда, Н.В. Коменда. – Луцьк, Луцький НТУ, 2012. – 112 с.

ROZEN V.P.,¹ DAVYDENKO N.V.²

¹ National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute"

² Lutsk National Technical University

FORMING PLURAL OF CHARACTERISTICS OF THE REAL REGIME OF WATER CONSUMPTION IN MUNICIPAL WATER SUPPLY SYSTEMS

The issues of analysis of factual water consumption regime in municipal water supply systems as the initial stage planning of energy-effective mode of water supply are discussed in the article. The aim of the investigation is forming principles of complex analysis of diurnal water consumption and the consideration of impact of seasonal and climatic factors. Herewith, previous creation of diurnal water consumption database is assumed within the monitoring system of operation modes of municipal water supply system. A major indicator of regime is selected diurnal water consumption graph.

The totality of characteristics, which contains the basic parameters of diurnal water consumption, as well as classical and morphometric indicators of irregularity graph, is formed to describe the graph of diurnal water consumption. To identify the influence of climatic factors was proposed to consider parameters characterizing weather conditions. To identify the seasonal features was suggested to make the investigation of diurnal graphs of water consumption with the consideration of seasons and periods of diurnal cycle.

Described principles of complex analysis of graph of diurnal water consumption will promote detection hidden common features in the water consumption. This will allow to perform construction the family of typical graphs water consumption.

Keywords: diurnal water consumption graph, indicators of irregularity, morfoparametrics.

1. Yeksaiev A.R. Long-term planning of power expense based on forecast water consumption of the city / Zhytlovo-Komunalne Khospodarstvo, 2005.
2. Romanenko S.S. Innovative approaches in the tasks of increasing the efficiency of hydrotransport complexes / Problemy energoresursozberezhennia v elektrotehnichnyh systemakh. Nauka, osvita i practyca, 2011, no 1/2011 (1), pp. 108-109.
3. Shushkevich Ye. V. Effective management of water delivery and water distribution system Moscow megacity / Vodospabzhenie i sanitarnaia tekhnika, 2011, no 1, pp. 24-30.
4. Romanchuk S.M. Monitoring and data analysis in the process of Donetsk water supply management / Systemnyi analiz u naukakh pro pryrodu ta suspilstvo, 2011, Vypusk 1, pp. 133-143.
5. Romanchuk S.M. Control algorithms of urban water supply mode / Visnyk Donetskooho natsionalnoho universytetu. Ser. A: Pryrodnychi nauky, 2014, no. 1. pp. 103-110.
6. Karambirov S.N. Multi-regime optimization of water delivery and water distribution systems / Problemy nauchnogo obespecheniya razvitiya ekologo-ekonomicheskogo potentsiala Rosii. – Mosckow, 2004, pp. 70-73.
7. Komenda T.I. (2012) Morphometric methods and models evaluating and decreasing irregularity loads of power supply systems: monograph, Lutckyi NTU, Lutck, Ukraina.

УДК 504.064.36:658.26

РОЗЕН В.П.¹, докт.техн.наук, проф., ДАВЫДЕНКО Н.В.²

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

²Луцкий национальный технический университет

ФОРМИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА ХАРАКТЕРИСТИК ФАКТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Обсуждаются вопросы анализа фактического режима водопотребления в системах коммунального водоснабжения как начального этапа планирования энергоэффективного режима водоподачи. Целью исследования является формирование принципов комплексного анализа суточного водопотребления и учета влияния сезонных и климатических факторов. Для описания графика суточного водопотребления сформировано множество характеристик, которое содержит классические и морфометрические показатели. Для выявления влияния климатических факторов предложено учитывать параметры, характеризующие погодные условия. Для выявления сезонных особенностей исследование суточных графиков водопотребления предложено осуществлять с учетом времени года и периодов суточного цикла. Описанные принципы комплексного анализа графика суточного водопотребления на основе базы данных суточного водопотребления, предварительно созданной в рамках системы мониторинга режимов водоснабжения, способствуют выявлению скрытых общих особенностей в водопотреблении.

Ключевые слова: суточный график водопотребления, показатели неравномерности, морфопараметры.

Надійшла 01.06.2015

Received 01.06.2015

УДК 621.1.016.7(075.8) К—64 536.7(075.8)

КОНСТАНТИНОВ С. М. канд. техн. наук, професор

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»

МЕХАНІЗМ ОТРИМАННЯ РОБОТИ В ТЕРМОДИНАМІЧНІЙ СИСТЕМІ

Однією з важливих задач технічної термодинаміки є визначення характеру перетворення енергії всередині робочого тіла під час виконання ним роботи. Це важко зробити, коли невідома структура енергії робочого тіла, немає чітко визначеного фізичного змісту ентропії, невідомо джерело ентропії і його потужність. Щоб дати відповіді на ці і низку інших запитань, необхідно знайти структуру енергії робочого тіла, провести аналіз змін, які мають місце у цій структурі за різних умов проходження термодинамічних процесів.

Ключові слова: робоче тіло, вільна енергія, перетворення, зв'язана енергія та робота.

Механізмом отримання роботи називається сукупність перетворень складових енергії робочого тіла під час виконання ним роботи. Для виявлення механізму отримання роботи необхідно побудувати структуру енергії робочого тіла. Для цього необхідно представити таку діаграму, на якій би були нанесені всі термодинамічні параметри стану робочого тіла, а не тільки два, як це має місце на діаграмах $p-v$ і $T-s$ [1],[2],[3],[4].

Така діаграма має дати можливість одночасного проведення аналізу змін всіх складових енергії робочого тіла під час виконання ним роботи.

Розглядається ідеальний газ.

Запишемо параметри стану робочого тіла у такому вигляді:

T – абсолютна температура, К;

p – абсолютний тиск, Н/м²;

v – питомий об'єм, м³/кг;

$u = Tc_v$ – питома внутрішня енергія, Дж/кг;

$h = Tc_p$ – питома ентальпія, Дж/кг;

s – питома ентропія, Дж/(кг · К);

Також $c_v = \frac{u}{T}$, Дж/(кг · К) і $c_p = \frac{h}{T}$ Дж/(кг · К) теж мають властивості параметрів стану і яляють

собою потік енергії хаотичного руху. Ентропія s , згідно з її розмірністю Дж/(кг · К), теж являє собою потік енергії, але невідомо якої.

Теплоємність c_v – це внутрішня енергія, яка припадає на 1К температури робочого тіла. c_p – це ентальпія, яка припадає на 1К температури робочого тіла. Використовуючи абсолютну температуру T , як незалежну змінну і питомий потік енергії « e », як функцію, можна побудувати діаграму, на якій будуть представлені всі складові енергії робочого тіла (рис. 1), [5].

У прямокутній системі координат по осі ординат відкладаємо абсолютну температуру T , К, а по осі абсцис питомі потоки енергії c_p, c_v, s , Дж/(кг · К), відповідні точки 4; 5; 6 на діаграмі.

З точки «а» (рис. 1) проводимо ізотерму $T=const$. З точок 4; 5; 6 проводимо перпендикуляри до перетину їх з ізотермою $T=const$: точки 1, 2; 3.

На діаграмі Константінова представлена структура енергії робочого тіла, що знаходиться в термодинамічному стані, який характеризується точкою 1 (рис. 1).

На діаграмі отримуємо декілька площ, які еквівалентні відповідним питомим складовим енергії робочого тіла: *пл. (0-а-2-5)* = $T_1 \cdot c_v = u_1$ – внутрішня енергія, *пл. (0-а-3-4)* = $T_1 \cdot c_p = h_1$ – ентальпія, *пл. (2-3-9-8)* = $T_1 \cdot R = pv$ – потенційна енергія тиску, так як відрізок 4-5 = $c_p - c_v = R$. Згідно з рівнянням стану ідеального газу $pv = RT$.

З діаграми видно, що внутрішня енергія « u » складається з двох частин:

пл. (6-1-2-5), яка називається вільною енергією, офіційна назва енергія Гельмгольца, позначається літерою f для маси 1 кг робочого тіла, від англійського слова *free* – вільний, літерою F для маси m кг і вимірюються відповідно в Дж/кг і Дж. Друга площа *(0-а-1-6)*, яка дорівнює $Ts = b$, називається зв'язаною енергією (англ. – bound), питома для 1кг і $TS = B$, для маси m кг, вимірюються відповідно в Дж/кг і в Дж.

Таким чином внутрішня енергія записується у вигляді:

$$u = f + Ts = f + b, \text{ Дж/кг}, \quad (1)$$

$$U = F + TS = F + B, \text{ Дж}. \quad (2)$$

Ентальпія складається з трьох частин, як видно на діаграмі рис. 1.

$$h = f + Ts + pv = u + pv. \quad (3)$$

Площа (6-1-2-5) + пл. (5-2-3-4) = пл. (6-1-3-4) = g називається вільною ентальпією або енергією Гіббса.

Тоді

$$h = g + Ts \quad (4)$$

або

$$H = G + TS. \quad (5)$$

У 1875 році Гельмгольц (1821-1894) записав геніальну гіпотезу, що внутрішня енергія неоднорідна, складається з двох частин: вільної енергії F і зв'язаної енергії TS [6],[7], тобто

$$U = F + TS.$$

Гельмгольц не дав визначення фізично змісту цих величин.

Гіббс (1839-1903), мотивуючи тим, що в термодинамічних розрахунках часто зустрічається сума $u + pv$, позначив її літерою h і назвав «ентальпія». Пізніше (1878 рік) Гіббс [8],[9] ввів поняття «вільна ентальпія» і тоді

$$H = G + TS,$$

але також не визначив фізичний зміст вільної ентальпії..

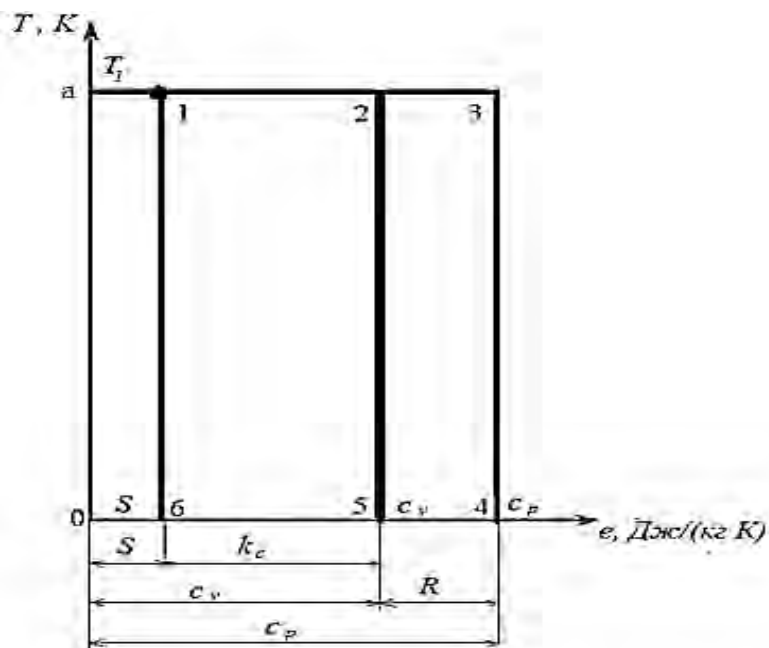


Рисунок 1 - Діаграма Константінова

На діаграмі (рис. 1) всі ці положення об'єднані і графічно доведений взаємозв'язок між цими величинами, які являють собою складові частини енергії робочого тіла. Тобто, представлені не як гіпотези, а як фактичні положення, які можливо визначити конкретними числовими значеннями.

Звідси впливає перший закон термодинаміки, як закон збереження енергії стосовно до термодинамічної системи. Простішою термодинамічною системою є робоче тіло. Тоді перший закон термодинаміки формулюється таким чином:

Енергія ізольованої термодинамічної системи залишається незмінною незалежно від того, які термодинамічні процеси в ній проходять.

Математично перший закон термодинаміки записується таким чином:

$$H=U+pV=F+Ts+pV=const,$$

або в диференціальному вигляді

$$dH=dU+d(pV)=dF+d(Ts)+d(pV)=0.$$

Подальший аналіз діаграми Константінова дав можливість визначити фізичний зміст всіх складових енергії робочого тіла для будь-якого його термодинамічного стану.

Крім того, на діаграмі видно нову величину у вигляді відрізка (6-5), яку автор позначив k_c і назвав «коефіцієнт глибини термодинамічного процесу».

$$k_c=c_v-s=\frac{f}{T}, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}). \quad (6)$$

З рис.1 впливає фізичний зміст k_c :

це питома вільна енергія, яка віднесена до 1 К температури робочого тіла.

Далі буде показано, що під час завершення термодинамічного процесу $k_c=0$.

Структуру енергії робочого тіла, яка зображена графічно на рис. 1, можна записати з допомогою фізичних символів. Таку структуру автор назвав «енергетична модель робочого тіла». Для ізольованої системи така модель представлена на (рис.2).

На рис. 3 представлена розгорнута енергетична модель робочого тіла у загальному вигляді для неізольованої термодинамічної системи. Стрілки на рис.3 вказують на можливий напрям переміщення енергій під час підведення теплоти і не є еквівалентними символу дорівнює. Під час аналізу механізму виконання роботи в конкретних умовах ця модель приймає вигляд у відповідності до цих умов. Енергія робочого тіла, як живий організм, реагує на умови, в яких воно «працює»: постійний об'єм, постійний тиск та інше. Під час зміни будь-якої складової енергії у цій моделі, змінюються всі інші.

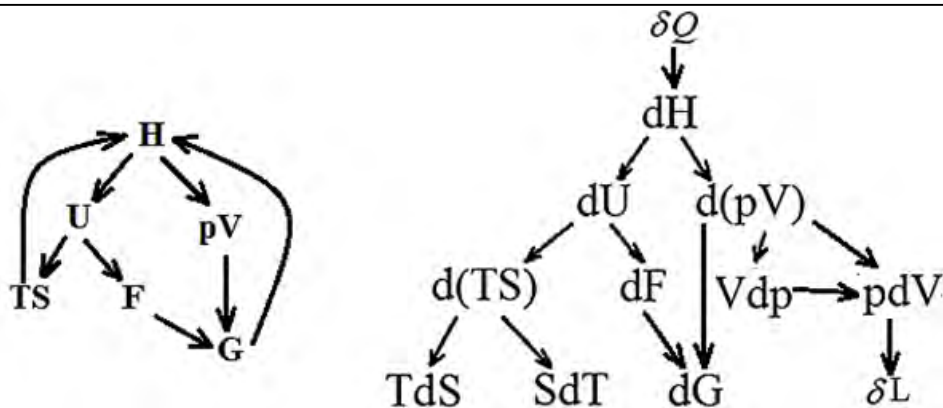


Рисунок 2. Енергетична модель робочого тіла Рисунок 3. Розгорнута енергетична модель робочого тіла

З діаграми Константінова випливають відповіді і на інші важливі питання. У чому полягає фізичний зміст ентропії? Що є джерелом ентропії? І низка інших. Фізичний зміст ентропії полягає у наступному: ентропія – це питома зв’язана енергія, яка віднесена до 1К температури робочого тіла і яка під впливом теплоти не перетворюється в роботу.

Джерелом зв’язаної енергії, а тим самим і ентропії, є вільна енергія, яка під впливом теплоти перетворюється у зв’язану енергію і під час цього робоче тіло виконує роботу.

Згідно з другим законом термодинаміки система, яка виконує роботу, має складатись з трьох тіл: гарячого джерела теплоти T_1 , робочого тіла, яке виконує роботу, і холодного джерела теплоти T_2 , $T_1 > T_2$. Схема такої системи зображена на рис.4.

Точка 1 на діаграмі характеризує початковий стан робочого тіла (ідеальний газ). Від гарячого джерела до робочого тіла підводиться теплота q'_1 , проходить ізотермічний процес 1-2'. Внутрішня енергія і ентальпія залишаються постійними, площі 0-а-2-5 і 0-а-3-4. Під час проходження ізотермічного процесу 1-2', робоче тіло виконує роботу l' , яка дорівнює, $\int_1^{2'} pdv$, хоча для ізотермічного процесу $pv = \text{const}$ і $d(pv) = 0$.

Що ж змінюється? У чому ж полягає механізм отримання роботи?

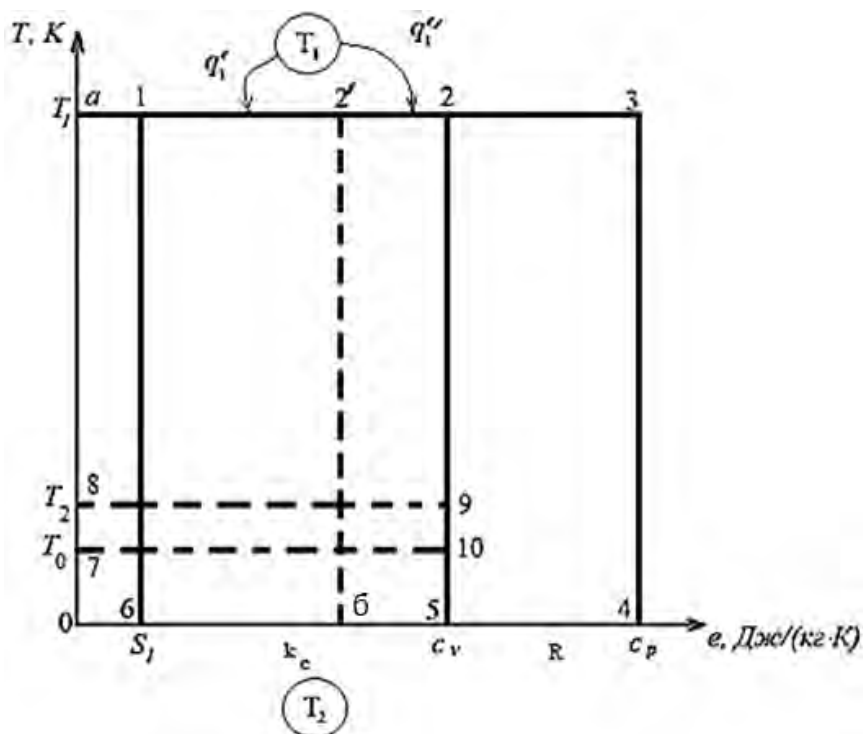


Рисунок 4 - Механізм отримання роботи в діаграмі Константінова.

З діаграми (рис. 4) видно, що змінюється структура внутрішньої енергії: зменшується вільна енергія з еквіваленту площі 1-2-5-6 до площі 2'-2-5-б, тобто на величину площі 1-2'-б-6. На цю величину зростає зв'язана енергія до площі 0-а-2'-б. Відповідно зростає ентропія на величину еквівалентну відрізьку б-6 за рахунок зменшення на цю величину коефіцієнта повноти протікання термодинамічного процесу k_c .

Звідси випливає, що спорідненими величинами є: вільна енергія f – зв'язана енергія T_s ; ентропія s – коефіцієнт k_c .

Спорідненими називаються величини, зміна яких проходить у різних напрямках: збільшується одна – зменшується друга і навпаки.

Кількість підведеної теплоти відповідає кількості зменшення вільної енергії:

$$q' = -\Delta f = \Delta T_s. \quad (7)$$

Розглянемо як змінюється потенційна енергія тиску робочого тіла

$$d(pV) = pdV + Vdp = 0,$$

тоді

$$pdV = -Vdp. \quad (8)$$

Тобто

$$l = l_n. \quad (9)$$

Таким чином, на цьому етапі енергія робочого тіла u і h залишаються кількісно незмінними, а робота виконується за рахунок зміни якості енергії робочого тіла. Тому помилково склалась впевненість, що теплота виконує роботу.

З рис. 4 видно, що теплота не діє безпосередньо на ентропію.

Вираз Клаузіуса:

$$dS = \frac{\delta Q}{T},$$

записаний Клаузіусом інтуїтивно, є тільки кількісним виразом. Тому 150 років не можуть сформулювати фізичний зміст ентропії.

Під якістю енергії розуміють роботу, яка може бути виконана робочим тілом під час підведення до нього теплоти.

Розглянемо стан робочого тіла в точці 2'. У цьому стані робоче тіло має внутрішню енергію, еквівалентну площі 0-а-2-5, u'_2 , яка складається з двох частин: вільної енергії – площа 2'-2-5-б (f'_2) і зв'язаної енергії – площа 0-а-2'-б ($T_s'_2$).

$$u'_2 = f'_2 + T_s'_2. \quad (10)$$

Ентальпія робочого тіла складається з трьох частин: f'_2 , $T_s'_2$ і потенційної енергії тиску – площа 2-3-4-5, яка кількісно залишилась незмінною, порівняно з станом 1, а якісно змінилась, так як частина наявної роботи – vdp перейшла в зовнішню роботу pdv .

На жаль, на діаграмі (рис. 4) графічно не відображається якісна зміна потенційної енергії тиску.

Розглянемо стан робочого тіла в точці 2 (Рис. 4).

Діаграма Константінова дозволяє визначити всі структурні складові енергії робочого тіла в будь-якому стані, а також напрям і характер термодинамічного процесу, який може виконувати робоче тіло з даного стану.

Зокрема, у випадку, що розглядається, стан 2', рис.4., діє принцип мінімуму термодинамічного потенціалу, для даного випадку, вільної енергії, згідно з яким термодинамічний процес під час постійної температури і підведення теплоти має проходити в бік зменшення вільної енергії. Завершується цей процес під час досягнення мінімального значення вільної енергії $f_{min} = 0$.

Таким чином, з стану 2' робоче тіло, під час підведення теплоти q_1'' , продовжує виконувати ізотермічний процес 2'-2. У стані 2 вся вільна енергія перейшла в зв'язану, $f_2 = 0$, і ізотермічний процес завершується.

У ізотермічному процесі 1-2 внутрішня енергія робочого тіла кількісно залишалась постійною, $\Delta U = 0$. Робота у цьому процесі виконувалась за рахунок зміни якості внутрішньої енергії. Це перший етап механізму виконання роботи робочим тілом. У стані 2 завершується підведення теплоти до робочого тіла. Із стану 2 робоче тіло може продовжувати процес виконання роботи, але в якому напрямку? Принцип залишається той же – у бік зменшення значення відповідного термодинамічного потенціалу. Так як вільна енергія $f_2 = 0$, то наступним потенціалом розглядається внутрішня енергія « u », мінімальним значенням якого є $u_{min} = u_0$, де u_0 – внутрішня енергія робочого тіла під час температури навколишнього середовища. Це положення збігається з другим законом термодинаміки, який говорить що у мимовільному процесі робоче тіло не може бути охолоджено нижче температури самого холодного тіла у навколишньому просторі.

Таким чином, приходимо до висновку, що робоче тіло з стану 2 виконує процес без теплообміну з навколишнім середовищем, тобто адіабатний процес. Цей факт ще раз підтверджує положення, що не теплота виконує роботу, а робоче тіло, тобто речовина згідно парадигми.

Механізм отримання роботи в енергетичній установці можна представити з використанням фізичних символів у вигляді:

$$\delta Q = -dF = TdS + SdT = pdV + Vdp = \delta L \quad (11)$$

Із рівняння (11) видно, що теплота не впливає безпосередньо на зв'язану енергію, і тому між ними нема фізичного зв'язку, а є тільки кількісний. Рівняння (11) для різних основних термодинамічних процесів має різний вигляд, тобто, механізм отримання роботи в різних процесах підведення теплоти різний. Так, для ізотермічного процесу ($T = const$) ми бачимо, що $dT = 0$ і $d(pV) = pdV + Vdp = 0$. Таким чином, $-Vdp = pdV$.

З урахуванням зазначеного вище:

$$\delta Q = -dF = TdS = -Vdp = pdV = \delta L \quad (12)$$

Для ізобарного процесу ($p = const$):

$$\delta Q = -dF = TdS + SdT = pdV = \delta L \quad (13)$$

Для ізохорного процесу ($V = const$):

$$\delta Q = -dF = TdS + SdT = d(pV) = Vdp = -\delta L \quad (14)$$

Для адіабатного процесу ($S = const$):

$$-dU = SdT = -Vdp = kpdV = \delta L \quad (15)$$

Висновки.

Механізм отримання роботи в енергетичній установці полягає в тому, що робота виконується робочим тілом у два етапи під час переходу робочого тіла з стану 1 у стан 10 (рис.4). У першому етапі, в ізотермічному процесі, під час підведення теплоти, робота виконується за рахунок зміни якості внутрішньої енергії робочого тіла шляхом переходу вільної енергії у зв'язану енергію, у другому етапі – в адіабатному процесі, за рахунок зменшення кількості внутрішньої енергії. Якщо кінцевим станом робочого тіла є стан рівноваги з навколишнім середовищем і теплота підводиться в ізотермічному процесі, то в такому комплексному процесі робоче тіло виконує максимальну роботу, тобто виділяється ексергія.

Список літератури.

1. Константинов С.М. Технічна термодинаміка: Підручник. / С.М. Константинов, – К.: «Політехніка» при НТУУ «КПІ», 2001. – 368с.
2. Константинов С.М. Збірник задач з технічної термодинаміки та теплообміну: Навч. Посіб./ С.М. Константинов, Р.В. Луцик. – К.: «Освіта України», 2009. – 543с.
3. Константинов С.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник./ С.М. Константинов, Є.М. Панов. – К.: «Золоті Ворота», 2012. – 592 с.
4. Константинов С.М. Процессы и параметры идеальных и реальных газов./ С.М. Константинов. – К.: КТИЛП, 1983. – 110 с.
5. Константинов С. М. Система координат Константинова для побудови термодинамічних діаграм процесів перетворення енергії. \ С.М. Константинов .Свідотцтво про реєстрацію авторського права на твір, №58775, 20. 02. 2015р.Держслужба інтелектуальної власності України.
6. Хромов Ю.А. Физики. \ Ю.А. Хромов . Биографический справочник. – М.: Наука, 1983. 400 с.
7. Ландау Л.Д. Статистическая физика. Часть 1./Л.Д. Ландау, Е.М.,Лифшиц. -Издание 3-е дополненное.– М.: Наука, 1976– 584с.–(Теоретическая физика, том V).
8. Гиббс Дж.В. Термодинамические работы./Дж.В. Гиббс. Перевод с англ. Под ред. Семенченко. – М.- Л.: Гостехиздат, 1950.
9. Гиббс Дж.В. Термодинамика. Статистическая механика. / Дж.В. Гиббс. – М.: Наука, 1982. – 584с.

S.M. KONSTANTINOV

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

OBTAINS WORK A THERMODYNAMIC SYSTEM

One of the important tasks of technical thermodynamics is to determine the nature of energy conversion within the working during the performance of work. It's hard to do when the unknown structure of energy working body, there is clearly defined physical meaning of entropy, unknown source of entropy and it's power. To provide answers to these and a number of other questions need to find the structure of energy working body, to analyze the changes that take place in this structure under different conditions of thermodynamic processes.

Key words: working, body, free energy, conversion, bound energy, work.

References

1. Konstantinov S.M. *Tekhnichna termodynamika: Pidruchnyk.* / S.M. Konstantinov, – K.: «Politekhnik» pry NTUU «KPI», 2001. – 368s.
2. Konstantinov S.M. *Zbirnyk zadach z tekhnichnoyi termodynamiky ta teploobminu: Navch. Posib.* / C.M. Konstantinov, R.V. Lutsyk. – K.: «Osvita Ukrainy», 2009. – 543s.
3. Konstantinov S.M. *Teoretychni osnovy teplotekhniki* : Pidruchnyk. / C.M. Konstantinov, Ye.M. Panov. – K.: «Zoloti Vorota», 2012. – 592 s.
4. Konstantynov S.M. *Protsessy u parametry uideal'nykh y real'nykh hazov.* / C.M. Konstantynov. – K.: KTYLP, 1983. – 110 s.
5. Konstantinov S. M. *Systema koordynat Konstantinova dlya pobudovy termodynamichnykh diaqram protsesiv peretvorenniya enerhiyi.* \ S.M. Konstantinov. *Svidottstvo pro reyestratsiyu avtors'koho prava na tvir*, #58775, 20. 02. 2015r. *Dersluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrainy.*
6. Khromov Yu.A. *Fyzyky.* \ Yu.A. Khromov. *Byohrafycheskyy spravochnyk.* – M.: Nauka, 1983. 400 s.
7. Landau L.D. *Statystycheskaya fizyka. Chast' 1.* / L.D. Landau, E.M., Lyfshyts. – Yzdanye 3-e dopolnennoe. – M.: Nauka, 1976– 584s. – (Teoretycheskaya fizyka, tom V).
8. Hybbs Dzh.V. *Termodynamicheskiye raboty.* / Dzh.V. Hybbs. *Perevod s anhl. Pod red. Semenchenko.* – M.-L.: Hostekhyzdat, 1950.
9. Hybbs Dzh.V. *Termodynamyka. Statystycheskaya mekhanyka.* / Dzh.V. Hybbs. – M.: Nauka, 1982. – 584s.

КОНСТАНТИНОВ С. М. канд. техн. наук, профессор

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

МЕХАНИЗМ ПОЛУЧЕНИЯ РАБОТЫ В ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Одной из важных задач технической термодинамики является определение характера преобразования энергии внутри рабочего тела во время выполнения им работы. Это трудно сделать, когда неизвестна структура энергии рабочего тела, нет четко определенного физического смысла энтропии, неизвестно источник энтропии и его мощность. Чтобы ответить на эти и ряд других вопросов, необходимо найти структуру энергии рабочего тела, провести анализ изменений, которые имеют место в этой структуре в различных условиях прохождения термодинамических процессов.

Ключевые слова: рабочее тело, свободная энергия, преобразования, связанная энергия и работа.

УДК 504.064.36:658.26

ДАВИДЕНКО Л.В., канд. техн. наук, доцент,
Луцкий национальный технический университет

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВА ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА

Обговорюються питання організації моніторингу енергоефективності як елемента системи управління ефективністю енерговикористання. Метою дослідження є формування принципів удосконалення процесу моніторингу енергоефективності підприємства водопровідно-каналізаційного господарства. Розроблено алгоритм моніторингу енергоефективності, який забезпечує інтеграцію його функцій, процедур порівняльного аналізу та сучасних тенденцій побудови систем контролю та планування енергоспоживання. Описано принципи реалізації функцій моніторингу енергоефективності та їх складових з урахуванням завдань системи моніторингу, а також специфіки організації режиму ефективного енерговикористання в системі водопостачання-водовідведення. Сформульовані принципи побудови системи моніторингу енергоефективності охоплюють процедури, які дозволяють враховувати досягнення об'єкта дослідження і кращі практики в сфері енергоефективності, що сприяє прийняттю результативних управлінських рішень спрямованих на підвищення енергоефективності підприємства.

Ключові слова: ефективне енерговикористання, система моніторингу енергоефективності.

Вступ. Вирішення проблем енергозбереження вимагає дієвого управління на всіх рівнях господарювання: державному, регіональному, на рівні підприємств та їх підрозділів, на рівні окремих технологічних процесів та енергоємних установок. Однією з важливих складових процесу управління енергозбереженням та підвищення енергоефективності суспільного господарства є здійснення систематичного контролю за рівнем ефективності використання палива та енергії. Обліку та контролю споживання енергетичних ресурсів на сучасних підприємствах приділяється значної уваги, тому питання побудови систем моніторингу технологічних процесів та обліку енергоспоживання в різних сферах господарювання не втрачають своєї актуальності.

Об'єктивне, обгрунтоване вирішення завдання кількісної оцінки, контролю та аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів для різних технологічних і виробничо-господарських об'єктів є необхідною умовою досягнення помітних практичних результатів у сфері енергозбереження. Рациональне управління всім господарським комплексом будь-якого підприємства вимагає впровадження комплексної системи моніторингу показників, що відображають співвідношення витрат енергетичних ресурсів до корисного ефекту від їх використання стосовно окремих установок, технологічного процесу та підприємства в цілому [1]. В загальному випадку, моніторинг трактується як систему заходів спостереження та контролювання, що певним чином проводяться для оцінювання стану об'єкту дослідження, аналізу процесів, що відбуваються, та своєчасного виявлення тенденцій його зміни. Проте, моніторинг енергоефективності будь-якої виробничої системи повинен забезпечити визначення її стану та ефективності організації технологічного процесу, створити передумови для удосконалення та підвищення якості функціонування системи та її складових, стати основою для розробки та реалізації методів керування та планування ефективного режиму роботи [2]. Тобто, система моніторингу енергетичної ефективності повинна будуватись не лише як технічна система обліку та контролю енергоспоживання, але й як система, що забезпечує управлінський аспект процесу підвищення енергоефективності. Крім того, одним із завдань, прописаних в «Дорожній карті» проекту реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2035 року [3] є створення системи збору, аналізу та використання даних про кінцеве споживання енергоресурсів для формування порівняльної бази щодо ефективності використання енергоресурсів співставної із міжнародною практикою. Це, в свою чергу, вимагає поєднання процедур порівняльного аналізу з функціями енергетичного моніторингу. При цьому під час розробки систем енергетичного моніторингу та методів реалізації його функцій важливим є врахування індивідуальних особливостей об'єкта дослідження (характеру виробничої діяльності підприємства, особливостей організації технологічних процесів, режимів роботи структурних елементів).

Таким чином, розробка системи моніторингу ефективності енерговикористання, яка б забезпечувала реалізацію основних функцій моніторингу та можливість співставлення результатів енерговикористання з міжнародною практикою, враховувала специфіку об'єкту дослідження та сприяла прийняттю дієвих управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності є актуальною задачею, яка потребує обов'язкового вирішення для будь-якого підприємства, в тому числі й для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства (ПВКГ).

Мета та завдання. Удосконалення процесу моніторингу енергоефективності ПВКГ шляхом інтеграції функцій енергетичного моніторингу та порівняльного аналізу, а також врахування сучасних тенденцій побудови систем контролю та планування (КіП) енергоспоживання.

Матеріали та результати дослідження. Мірою енергозбереження є енергетична ефективність, тобто оцінка здатності енергогосподарства в цілому, виробничого процесу, енергоустановки і окремих її елементів виконувати свої функції при мінімальних витратах енергетичних та інших видів ресурсів. Енергоефективність - це один з найбільш чутливих індикаторів стану справ з точки зору і технічного рівня виробництва, і рівня менеджменту, і фінансового стану підприємства.

Підприємство водопровідно-каналізаційного господарства представляє собою складний комплекс, який складається з великої кількості різних елементів, що споживають певні види енергії та ресурсів для реалізації технологічного процесу, характеризуються певними вихідними умовами, знаходяться на різних ієрархічних рівнях і мають свої особливості функціонування.

Енергоефективність будь-якої складної виробничої системи як її синтетична характеристика є ознакою, яка характеризує здатність об'єкта дослідження ефективно функціонувати в певних умовах. Енергоефективність як ознака, що відображає потенційну властивість об'єкту оцінювання, належить до числа характеристик, які безпосередньо не спостерігаються і не вимірюються, тобто є прихованими. Визначення рівня енергоефективності виробничої системи та її об'єктів можливе лише на підставі деякої сукупності спостережуваних або вимірюваних ознак, кожна з яких відображає певні аспекти ефективності енергоспоживання, причому як з точки зору ефективності вихідного стану об'єкта, так і ефективності його функціонування.

Проведення моніторингу енергоефективності передбачає підвищення рівня ефективності використання зовнішніх та внутрішніх ресурсів, результатом чого є зміна якості стану та функціонування

виробничої системи, визначення можливостей впровадження енергозберігаючих заходів та технологій, досягнення запланованих завдань по економії електроенергії, мінімізацію негативних наслідків.

Моніторинг стану енергетичної ефективності та енергозбереження - це безперервне (періодичне) спостереження за показниками використання енергоресурсів та реалізацією організаційних, технічних, технологічних та інших заходів, спрямованих на зменшення обсягу енерговикористання за умови збереження відповідного корисного ефекту від їх використання, включаючи завдання оцінки і прогнозу стану контрольованих об'єктів і процесів [1]. Це комплекс заходів, спрямованих на реалізацію основних функцій: спостереження, оцінювання стану об'єкту, прогнозування та контролювання, конкретизованих специфікою об'єкту дослідження та поставленими задачами Моніторинг є одним з елементів системи управління енергоспоживанням та енергозбереженням і особливості (цілі, завдання, об'єкти тощо) системи управління зумовлюють додаткові вимоги до способу виконання моніторингу, а також системи показників енергоефективності, які підлягають моніторингу.

Для спрощення вирішення задачі щодо організації моніторингу ефективності енерговикористання на підприємстві водопровідно-каналізаційного господарства проблему енергоефективності слід розглядати як таку, що складається з підпроблем різних рангів: ефективності енерговикористання окремих виробництв (водопостачання, водовідведення); окремих технологічних процесів (підготування води; транспортування води, відведення води, очищення стоків); окремих ієрархічних рівнів (перший підйом, другий підйом); окремих структурних елементів (водозабірних споруд, насосних станцій) і агрегатів (насосів), а також ефективності управління та організації технологічного процесу як в цілому по підприємству, так і для окремих елементів. Той факт, що вирішення проблеми підвищення рівня енергоефективності спрямовано на стабілізацію функціонування або удосконалення системи, що має ієрархічну структуру, обумовлює ієрархічність і самої проблеми, яка проявляється в тому, що кожна проблема є сукупністю підпроблем, і в той же час може розглядатися як частина більш складної проблеми. Це дозволяє стверджувати, що для кожного рівня проблеми енергоефективності існують свої цілі і завдання (обов'язково підпорядковані єдиній вищій меті), своя структура підпроблем, а отже і деяка множина показників енергоефективності, що забезпечує достатній ступінь деталізації для даного рівня.

Для забезпечення реалізації основних функцій енергетичного моніторингу ПВКГ (спостереження, оцінювання стану об'єкту, прогнозування та контролювання) необхідним є розроблення відповідних підходів та методів, які б дозволяли враховувати умови вихідного стану та особливості функціонування системи водопостачання-водовідведення та її об'єктів; показники технічної, технологічної, енергетичної ефективності, що мають вплив на електроспоживання; забезпечували можливість виявлення джерел нераціональних витрат електроенергії та негативних тенденцій, а також сприяли прийняттю дієвих рішень щодо підвищення енергоефективності всієї системи та її структурних елементів [2]. Проте, не залежно від рівня ієрархії проблеми реалізація моніторингу енергоефективності для водопостачального підприємства потребує послідовного виконання певних дій згідно з алгоритмом, наведеним на рис. 1. Оскільки моніторинг є одним із необхідних способів підвищення рівня енергоефективності всього підприємства та його структурних елементів, то ця діяльність повинна здійснюватися на постійній основі з урахуванням того, що інформація, отримана в результаті моніторингу, впливає на прийняття правильного управлінського рішення, а отже, і на результат в цілому. Причому, основним принципом функціонування системи моніторингу енергоефективності повинна бути безперервність (циклічність) організації пооб'єктного контролю та урахування отриманої інформації для подальшого удосконалення виробничого процесу та планування режимів ефективного енергоспоживання.

Реалізація кожної з функцій енергетичного моніторингу – це є окрема задача, яка потребує ґрунтовного вивчення особливостей функціонування системи водопостачання-водовідведення та її структурних елементів, формування сукупності показників енергоефективності для кожного конкретного випадку, побудови прогнозних математичних моделей та розробки алгоритмів контролю ефективності енергоспоживання залежно від постановки задачі та об'єкту дослідження [2]. Проте варто сформулювати загальні принципи реалізації цих функцій для ПВКГ.

1. Спостереження та збір даних. Для аналізу ситуації на підприємстві та оцінки рівня енергоефективності необхідні об'єктивні показники, джерелом яких має стати система моніторингу, побудована на сучасних системах обліку, збору, зберігання і обробки даних. Під час проведення моніторингу виникає необхідність одержання інформації, репрезентативної щодо різних об'єктів. Тому, відповідно до ієрархічної структури підприємства повинні бути визначені межі моніторингу: агрегат, структурний елемент, технологічний процес, ієрархічний рівень, виробництво, підприємство.

Одним з важливих етапів створення системи моніторингу ефективності енерговикористання є формування сукупності показників енергоефективності для кожного рівня ієрархії ПВКГ з урахуванням структуризації цілей для вибраної постановки задачі дослідження. Розподіл кількісних показників енергоефективності за рівнями ієрархії забезпечує можливість швидкого отримання необхідної інформації згідно меж моніторингу.

Для опису об'єктів нижчого рівня необхідним є детальне урахування їх технічних характеристик та особливостей функціонування, зокрема, паспортних даних агрегатів, відповідності проектних рішень фактичним умовам їх роботи, ефективності організації режиму енерговикористання тощо. На рівні підприємства достатньою є сукупність показників енергоефективності, які відображають загальну тенденцію ефективності енерговикористання не потребуючи детального врахування характеристик нижчих рівнів. Сформована сукупність показників повинна відображати зміну рівня енергоефективності в результаті впровадження заходів і проектів з підвищення енергоефективності.

Невід'ємною частиною вирішення не лише питання енергозбереження, а й отримання необхідної інформації про об'єкт дослідження є енергоаудит підприємства, проведення якого (крім виявлення джерел нерациональних витрат енергоресурсів та розробки заходів з енергозбереження) забезпечує можливість визначення низки показників, які не обліковуються існуючими на підприємстві засобами обліку енергоресурсів, але характеризують технічний стан об'єкту та ефективність його функціонування.

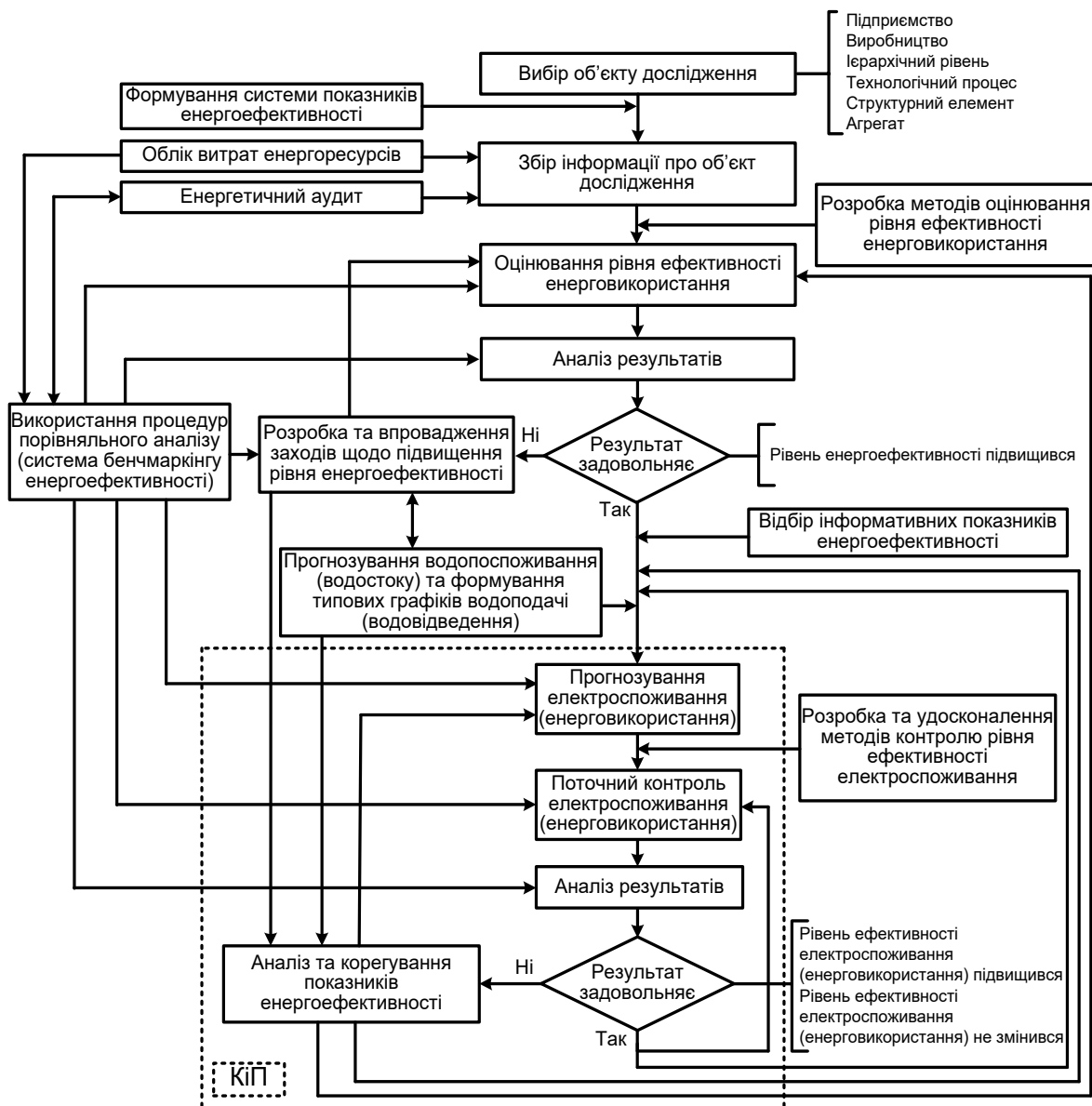


Рисунок 1 – Алгоритм моніторингу енергоефективності ПВКГ

2. Оцінювання рівня ефективності енерговикористання. Існує багато підходів до оцінювання ефективності енерговикористання, що спираються на нормування витрат енергоресурсів, визначення питомих витрат, використання енергетичних балансів тощо. Однак, не існує комплексних показників енергоефективності, які б відрізняли одне підприємство від іншого як за зовнішніми параметрами, так і за внутрішніми (показниками енерговикористання, методами управління режимом роботи та режимом електроспоживання, організації режиму роботи). Тому виникає потреба пошуку підходу та розробки

методів оцінювання рівня енергоефективності, які б забезпечували можливість комплексного урахування всіх аспектів проблеми дослідження енергоефективності об'єктів ПВКГ та сприяли виявленню причин неефективного енерговикористання, недоліків в організації технологічного процесу та управлінні режимом роботи вибраного об'єкту дослідження.

Енергоефективність - комплексна категорія, для якої складно розрахувати узагальнений показник. Аналіз ефективності виробництва без необхідності узагальнення показників енергоефективності, а лише на підставі виявлених їх еталонних значень, є можливим за умови використання процедур порівняльного аналізу – концепції бенчмаркінгу енергоефективності, яка широко використовується за кордоном та полягає в поширенні передового досвіду і кращих досягнень в цій сфері як в промисловості, так і для підприємств з різними видами діяльності та формами власності. У загальному розумінні бенчмаркінг (англ. Benchmarking) - це процес адаптації наявних прикладів ефективного функціонування для поліпшення власної роботи. Бенчмаркінг порівняно із застосуванням лише методів аналізу забезпечує більш деталізоване і впорядковане управління, яке передбачає порівняльний аналіз інформаційного поля компанії та її конкурентів, а також виявлення сильних і слабких сторін [4]. Бенчмаркінг дозволяє знайти стратегії і практики, які допомогли якомусь об'єкту досягти результатів у підвищенні ефективності.

Бенчмаркінг в однаковій мірі передбачає оцінювання та порівняння. Бенчмаркінг-дослідження повинне передбачати порівняння об'єктів одного ієрархічного рівня всередині підприємства (внутрішній бенчмаркінг), а також порівняння аналогічних об'єктів інших підприємств або підприємств в цілому (зовнішній бенчмаркінг). Причому, оцінювання рівня енергоефективності слід виконувати з урахуванням кращих власних показників, кращих показників інших підприємств, середніх показників в галузі тощо.

Визначення мети бенчмаркінгу (яка визначатиме всі подальші рішення, починаючи з вибору показників та об'єктів для порівняння і закінчуючи способом представлення даних та структурою звіту), сфер та підсфер дослідження, показників ефективності енерговикористання для кожної сфери (підсфери) утворюють так звану «систему бенчмаркінгу». Система — це не лише набір статистичних показників. Система бенчмаркінгу передбачає ретельне вивчення та побудову зв'язків між усіма складовими проблеми енергоефективності залежно від її постановки та ієрархічного рівня, на якому проводиться дослідження, чітке відображення зв'язків між цілями (підцілями) та показниками енергоефективності.

Система бенчмаркінгу повинна забезпечувати:

- систематичний порівняльний аналіз показників енергоефективності об'єктів та тенденцій їх зміни;
- визначення рівня ефективності енерговикористання об'єктів;
- виявлення причин неефективного енерговикористання та способів їх усунення;
- аналіз динаміки рівня енергоефективності як відображення результативності управлінських дій щодо підвищення ефективності енерговикористання.

Результати бенчмаркінгу сприяють виявленню прогалини в ефективності у порівнянні з іншими.

Одним із способів оцінювання рівня енергоефективності групи однотипних об'єктів є визначення рейтингу об'єкту на основі багатомірного порівняння [5], яке передбачає урахування сформованої сукупності показників енергоефективності та дозволяє виявити кращі (гірші) з точки зору ефективності енерговикористання об'єкти, що має важливе практичне значення для прийняття рішення щодо першочерговості впровадження енергозберігаючих заходів.

Наступний крок — визначення масштабу та природи проблеми з метою виявлення причин різниці в ефективності та шляхів її покращення. Для цього необхідним є аналіз та розуміння заходів, завдяки яким кращі об'єкти досягли успіху. В нагоді можуть стати методи оцінювання рівня енергоефективності, засновані на засадах багатокритерійної класифікації можливих станів об'єкту за окремими класифікаційними характеристиками енергоефективності. Визначення належності об'єкту дослідження до одного з класів, впорядкованих за рівнем ефективності енерговикористання, не лише забезпечує визначення його фактичного рівня енергоефективності, а й сприяє виявленню недоліків в організації технологічного процесу [6]. Інформація, зібрана в процесі бенчмаркінгу, повинна стати основою для подальшого підвищення рівня енергоефективності та використовуватися для планування ефективного енерговикористання на підприємстві, а також контролювання енерговикористання та результативності прийнятих рішень щодо підвищення енергоефективності.

3. Контроль та планування. Системи енергетичного менеджменту зарубіжних підприємств обов'язково містять підсистеми оперативного управління ефективністю енерговикористання — так звані Monitoring and Targeting Systems (системи контролю і планування енергоспоживання – системи КіП). В основі побудови такої системи є виявлення залежності обсягу енергоспоживання на будь-якому об'єкті від значень низки виробничих і технологічних параметрів (показників), які суттєво впливають на нього - так званих «стандартів» енергоспоживання, порівняно з якими й визначається ефективним чи ні є енерговикористання на об'єкті. «Стандарт» представляє собою деякий максимально реалістичний прогноз «нормативного» рівня енергоспоживання, який необхідно і можливо досягти на даному об'єкті. Це є деяка «норма» абсолютної витрати енергоресурсів, яка не є «ідеальною», тобто мінімально необхідною для

даного об'єкту, проте досить добре відображає рівень ефективності енерговикористання, реально досягнутий на об'єкті дослідження [7].

Побудова математичних моделей базового енергоспоживання («стандартів») повинна виконуватись:

- для об'єкту дослідження з урахуванням його реальних умов функціонування з метою поточного контролю ефективності енерговикористання;
- для аналогічного об'єкту, який є кращим за рівнем енергоефективності в групі однотипних, з метою порівняльного аналізу ефективності енерговикористання.

Причому в якості «стандартів» енергоспоживання можливе використання не самих математичних моделей, а меж побудованих до них довірчих інтервалів, що дозволяє враховувати випадковий характер процесів електроспоживання та залишкову похибку їх моделювання [8].

3.1. Прогнозування електроспоживання. Моніторинг можна трактувати як аналіз хронології використання енергоресурсів за певний період часу і обґрунтоване прогнозування їх споживання. Для визначення очікуваного енергоспоживання необхідно використання відповідного підходу, який дозволяє нівелювати вплив випадкових факторів та забезпечити можливість порівняння даних моніторингу.

Основним критерієм, що визначає ефективність роботи системи водопостачання та її структурних підрозділів є забезпечення споживача водою в кількості, рівній його потребі. Водоспоживання характеризується нерівномірністю і формується під впливом багатьох, часто некерованих чинників. Неповнота і невірогідність початкової інформації призводить до помилок планування режиму водопостачання, що зумовлює нераціональний режим роботи насосних станцій I-го підйому з точки зору забезпечення необхідних запасів води в резервуарах, і як наслідок, перевитрати на електричної енергії за рахунок різниці піднятої та реалізованої води. Невідповідність режиму водопостачання реальному водоспоживанню призводить до надлишкових напорів, що зумовлює перевитрати електроенергії на насосних станціях, підвищує імовірність аварій в мережі, сприяє більшим втратам води за рахунок витоків в водопровідній мережі, а отже й додатковим перевитратами електричної енергії, яка витрачається насосними агрегатами на компенсацію втрати тиску.

Зміни в часі водоспоживання, як і електроспоживання, є випадковими процесами, тобто випадковим чином залежними від часу, внутрішніх та зовнішніх факторів. Водоспоживання – непостійний процес, а домінуючими факторами є час доби та соціальні чинники. Електроспоживання визначається об'ємами води, яка проходить через елементи системи водопостачання, а також певними технологічними факторами, вплив яких можна коректувати шляхом оптимізації режиму роботи. Під час побудови моделі електроспоживання в системі водопостачання обов'язковим є врахування моделі зовнішнього середовища, яка представляє собою модель випадкового процесу подачі цільового продукту. Отже, прогнозування водоспоживання та водоподачі є першим етапом у вирішенні задачі планування режиму роботи та контролю електроспоживання з метою підвищення ефективності функціонування систем комунального водопостачання. При цьому, для одержання якісного прогнозу необхідно забезпечити максимально повне врахування домінуючих факторів. Це дозволить здійснювати контроль протікання процесу та виявляти вплив факторів, що зумовлюють нераціональні витрати енергоресурсів.

Аналогічним чином електроспоживання в системі водовідведення визначається водопритоком, який також є випадковим процесом і залежить від характеру водоспоживання та кліматичних умов (водопритік від ливневої каналізації), що також мають випадковий характер.

Таким чином, реалізація функції прогнозування під час побудови системи моніторингу енергоефективності для ПВКГ повинна передбачати два етапи:

- формування типових графіків водоподачі (водопритоку);
- побудову моделей електроспоживання з урахуванням типових графіків водоподачі (водопритоку), а також технічних та технологічних чинників, що впливають на рівень ефективності електроспоживання.

3.2. Контроль ефективності енерговикористання. По суті моніторинг енергоефективності являє собою регулярне отримання і аналіз інформації про рівень енергоспоживання та динаміку показників енергоефективності. Обсяги енергоспоживання на будь-якому технологічному об'єкті представляють собою випадкові величини, оскільки у загальному випадку залежать від великої кількості технічних, технологічних, організаційних та кліматичних чинників. Порівняння фактичного енергоспоживання з очікуваним дозволяє виявити незаплановані відхилення і виявити нераціональні витрати. Контроль ефективності енерговикористання вимагає постійного аналізу динаміки показників енергоефективності та виявлення тенденцій до погіршення (покращення) ефективності енерговикористання.

Система контролю повинна забезпечувати не лише регулярне фіксування енергоспоживання та його коливання, які можуть і повинні бути локалізовані, а й можливість виявлення на основі аналізу показників енергоефективності певних енергетичних аспектів і процесів, які повинні бути покращені. Система контролю покликана забезпечити оцінку управління енергоспоживанням, оцінку та постійне контролювання рівня енергоефективності, виявлення помилок в організації режиму роботи об'єктів та ділянок виробничого процесу, які потребують вдосконалення. Зміни енергоефективності повинні вимірюватися відносно базового енергоспоживання («стандарту»), зафіксованого у вихідному

(початковому) енергетичному профілі, а також з урахуванням кращих зразків ефективного енерговикористання. Таким чином, система контролю ефективності енерговикористання на об'єктах водопостачання-водовідведення повинна містити:

- а) підсистему оперативного контролю ефективності енерговикористання, яка передбачає:
 - поточний контроль динаміки водоподачі (водопритоку) як домінуючого чинника, який визначає побудову режиму ефективного електроспоживання;
 - поточний контроль динаміки показників енергоефективності з позицій їх відповідності певним діапазнам за рівнем енергоефективності;
 - контроль дотримання базового енергоспоживання («стандарту»);
- б) підсистему бенчмаркінгу енергоефективності, яка містить процедури:
 - порівняння динаміки показників енергоефективності з аналогічними показниками кращих за рівнем енергоефективності об'єктів з групи однотипних;
 - порівняльного аналізу відповідності дійсного режиму електроспоживання «стандарту» кращих за рівнем енергоефективності об'єктів з групи однотипних.

Процес контролю виконання «стандартів» енергоспоживання та динаміки показників енергоефективності повинен базуватися на застосуванні ймовірісно-статистичних методів. З цією метою можуть бути використані методи статистичного контролю якості продукції [9, 10]. Процедура контролю ефективності енерговикористання представляє собою процедуру послідовного виявлення зміни властивостей часового ряду під час його розгляду на деякому проміжку часу, що дозволяє визначити моменти невідповідного зниження (підвищення) ефективності енерговикористання. Виконання встановлених «стандартів» споживання енергії у системах оперативного контролю ефективності доцільно контролювати, реєструючи кількість випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі довірчого інтервалу, у вигляді якого встановлюють відповідний «стандарт» [9]. Візуальна оцінка розташування значень енергоспоживання або показників енергоефективності відносно одне одного та меж регулювання забезпечує можливість виявлення певних сигналів контрольних карт. При цьому відслідковується поява систематичної тенденції в розміщенні точок на контрольній карті, що свідчить про наявність тренду середнього значення процесу [10]. Використання еталонних діапазонів енергоефективності дає змогу виконати порівняння за рівнем ефективності електроспоживання об'єктів, які знаходяться на одному ієрархічному рівні, що забезпечує вирішення питання про те, ефективним чи ні є електроспоживання, відносно кращих зразків організації режиму електроспоживання.

Висновки. Сучасні вимоги до створення систем збору, аналізу та використання даних про кінцеве споживання енергоресурсів вимагають поєднання процедур порівняльного аналізу та процесу моніторингу ефективності енерговикористання. Система моніторингу ефективності енерговикористання на підприємстві водопровідно-каналізаційного господарства повинна забезпечувати реалізацію основних функцій моніторингу та можливість співставлення результатів з кращими практиками в сфері ефективного енерговикористання, а також враховувати специфіку об'єкту дослідження та сприяти прийняттю дієвих управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності.

Використання запропонованого алгоритму моніторингу енергоефективності як безперервного циклічного процесу, який забезпечує інтеграцію функцій енергетичного моніторингу, бенчмаркінгових процедур, сучасних тенденцій побудови систем контролю та планування енергоспоживання, а також урахування описаних принципів реалізації функцій моніторингу та їх складових, які враховують завдання системи моніторингу та особливості організації режиму ефективного енерговикористання в системі водопостачання-водовідведення, дозволяє побудувати систему моніторингу енергоефективності ПВКГ не лише як технічної системи обліку та контролю енергоспоживання, але й як такої, що забезпечує управлінський аспект процесу підвищення енергоефективності. Запропоновані принципи побудови системи моніторингу енергоефективності охоплюють процедури, які дозволяють враховувати не лише досягнення об'єкта дослідження, а й кращі практики в сфері енергоефективності.

Впровадження запропонованої системи моніторингу на постійній основі сприятиме прийняттю результативних управлінських рішень спрямованих на підвищення енергоефективності підприємства водопровідно-каналізаційного господарства та його об'єктів.

Список літератури

1. Троицкий-Марков Т.Е., Сенновский Д.В. Принципы построения системы мониторинга энергоэффективности // Мониторинг. Наука и безопасность. - 2011. – № 4. – С. 34-39
2. Давиденко Л.В., Давиденко В.А., Коменда Н.В., Ярмольська Н.В. Функції енергетичного моніторингу складних виробничих систем та їх завдання для підвищення рівня енергоефективності // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Випуск 153 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2014.- С.125-127
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: Біла книга енергетичної політики України «Безпека та конкурентоспроможність». Проект - Київ 2014 – 41с. Режим доступу: http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf

4. Розен В.П., Тышевич Б.Л., Иншеков Е.Н., Розен П.В. Методология бенчмаркинга для повышения уровня энергоэффективности промышленных предприятий Украины // *Problemele energeticii regionale*. - 2012. - 2(19). - С. 73-84
5. Давиденко Л.В. Оцінювання рівня енергоефективності об'єктів складних енерготехнологічних систем як задача багатомірного порівняння / Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. Випуск 116 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ, 2011.- С.76-78.
6. Давиденко В.А., Давиденко Л.В. Оцінювання рівня енергоефективності складних виробничих систем з позицій багатокритерійної класифікації // *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки*. Випуск 142 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХНТУСГ. - 2013.- С.6-8.
7. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Іванько Д.О. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту // *Вісник КНУТД*. – 2013. - №6. – С. 67-77
8. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Концепція побудови інтегрованих систем контролю ефективності використання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах. // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2013. – №1. -С. 72-78
9. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Процес контролю виконання встановлених «стандартів» в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання // *Вісник НТУУ «КПІ»*. Серія «Гірництво». - 2014. - Випуск 24.– С. 111-119.
10. Розен В.П., Давиденко Л.В., Давиденко В.А. Використання контрольних карт Шухарта для контролювання ефективності електроспоживання в системах комунального водопостачання. // *Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського*. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип.1/2012(72) частина 1. – С.31-35.

DAVYDENKO L.V.

Lutsk National Technical University

PRINCIPLES OF BUILDING INTEGRATED MONITORING SYSTEM OF ENERGY EFFICIENCY FOR WATER SUPPLY AND SANITATION ENTERPRISE

The issues of energy efficiency monitoring organization as an element of the management system of energy use efficiency are discussed in the article. The purpose of investigation is forming the principles of improving the process of energy efficiency monitoring water and sanitation enterprise. This includes modern requirements to the functions of monitoring system and their purpose.

To simplify the issue of energy efficiency is seen as hierarchical. For each hierarchical level this allows to form the own system of energy efficiency indexes to be monitored. An algorithm of energy efficiency monitoring as continuous cyclic process that is universal for each level of the hierarchy of the company, was developed. The algorithm provides integration of the functions of the energy monitoring, comparative analysis procedures and modern trends of building the systems of control and planning energy consumption. The principles of the realization functions of energy efficiency monitoring and their components were described. They consider the tasks of the monitoring system and features of organization the regime of efficiency energy consumption in the water supply and drainage system.

The proposed principles of building the energy efficiency monitoring system cover the procedures, which allow to consider not only the achievements of the object of investigation, but also best practices in energy efficiency sphere.

Implementation of the proposed monitoring system on a regular basis will facilitate the adoption of effective management solutions designed on increasing the energy efficiency of water supply and sanitation enterprise and its objects.

Keywords: effective energy use, energy efficiency monitoring system.

References

1. Troitskiy-Markov T.E., Senovskiy D.V. Principles of energy efficiency monitoring system modeling / *Monitoring*. Nauka i bezopacnost, 2011, no 4, pp. 34-39.
2. Davydenko V.A., Davydenko L.V., Komenda N.V., Yarmolska N.V. Function of the energy monitoring of complex production systems and their tasks for improving the level of energy efficiency / *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenko. Tehnichni nauky*. Vypusk 153 "Problemy energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraine", 2014, pp. 125-127.
3. The energy strategy of Ukraine on the period by 2035: White book of energy policy of Ukraine "Security and competitiveness", Proekt, Kyiv, 2014, 41 p. (in Ukrainian). Available at: http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%202035.pdf
4. Rosen V.P., Tyshevich B.L., Inshekov E.N., Rosen P.V. Methodology of benchmarking of energy efficiency for the industry of Ukraine. *Problemele energeticii regionale*, 2012, no 2(19), pp. 73-84.

5. Davydenko V.A., Davydenko L.V. Evaluation of energy level of object of complex systems as problem energotechnological multidimensional comparative / Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenko. Tehnichni nauky. Vypusk 116 "Problemy energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraine", 2011, pp. 76-78.

6. Davydenko V.A., Davydenko L.V. Assessment level energy efficiency of complex manufacturing systems with position classification multicriterial / Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenko. Tehnichni nauky. Vypusk 142 "Problemy energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraine", 2013, pp. 6-8.

7. Nakhodov V., Borichenko O., Ivanko D. Control of energy consumption efficiency in the energy management system / Visnyk KNUTD, 2013, no 6, pp. 67-77.

8. Nakhodov V. F., Borychenko O. V. Concept of building integrated control system of efficiency of electric energy in production / Energetika: ekonomika, tehnolohiyi, ekolohiya, 2013, no 1, pp. 72-78.

9. Nakhodov V. F., Borychenko O. V. Control process of performance setting "standards" in system operating control effectiveness of energy exploitation / Visnyk NTUU "KPI". Seria "Hirmystvo". Vypusk 24, 2014, pp. 111-119.

10. Rosen V.P., Davydenko L.V., Davydenko V.A. Shewhart control carts using for efficiency control of public water systems power consumption / Visnyk Kremenchutskoho derzhavnogo politechnoho universytetu im. M. Ostrohradskoho, 2012, no 1/2012(42) Part.1, pp. 31-35.

УДК 504.064.36:658.26

Давыденко Л.В., канд.техн.наук, доцент

Луцкий национальный технический университет

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ВОДОПРОВОДНО- КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА

Обсуждаются вопросы организации мониторинга энергоэффективности как элемента системы управления эффективностью энергопотребления. Целью исследования является формирование принципов совершенствования процесса мониторинга энергоэффективности предприятия водопроводно-канализационного хозяйства. Разработан алгоритм мониторинга энергоэффективности, который обеспечивает интеграцию его функций, процедур сравнительного анализа и современных тенденций построения систем контроля и планирования энергопотребления. Описаны принципы реализации функций мониторинга энергоэффективности и их составляющих с учетом задач системы мониторинга, а также специфики организации режима эффективного энергопотребления в системе водоснабжения-водоотведения. Сформулированные принципы построения системы мониторинга энергоэффективности охватывают процедуры, которые позволяют учитывать достижения объекта исследования и лучшие практики энергоэффективности, что способствует принятию результативных управленческих решений направленных на повышение энергоэффективности предприятия.

Ключевые слова: эффективное энергопотребления, система мониторинга энергоэффективности.

Надійшла 01.06.2015

Received 01.06.2015

УДК 697.34

ШОВКАЛЮК М.М., канд. техн. наук, доцент; ВОЙНАЛОВИЧ Н.О., магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСІВ

Метою дослідження є визначення та аналіз факторів, що впливають на енергоспоживання будівель навчальних корпусів. Розроблено математичну модель у відповідності до діючих нормативних вимог для оцінювання впливу різних архітектурно-будівельних та експлуатаційних факторів на витрати теплоти будівлями навчальних закладів. Здійснено кластерний аналіз для навчальних корпусів за статистичними даними теплоспоживання об'єктами НТУУ «КПІ». Запропоновано регресійні залежності для здійснення моніторингу і аналізу теплоспоживання.

Ключові слова: теплоспоживання, навчальні корпуси, експлуатаційні фактори, кластеризація, регресійний аналіз.

Вступ

У зв'язку з нестабільною ситуацією на енергетичному ринку з кожним роком більшого поширення набуває моніторинг і аналіз енергоспоживання об'єктів галузі освіти. Для визначення проблеми перевитрати енергії необхідно володіти всією наявною інформацією щодо факторів, які спровокували цю проблему. Детальне дослідження дозволить визначити можливі шляхи економії енергоресурсів, зберігаючи оптимальні умови комфортності в приміщеннях. Розробка нових й удосконалення існуючих підходів до оцінювання енергоефективності, побудови системи управління процесами споживання енергії об'єктами ВНЗ є актуальними завданнями та мають науковий і практичний інтерес.

Здійснивши дослідження існуючих наукових праць, можна зробити висновок, що питання прогнозування енергоспоживання є актуальним. Параметри мікроклімату в закладах бюджетної сфери часто не відповідають нормативним [1], за таких умов важко дотримуватись норм споживання електричної та теплової енергії [2]. Тому на сьогоднішній день фахівці в сфері енергозбереження та енергоменеджменту шукають шляхи вирішення зазначених проблем. В статті [3] представлені результати проведення структурного аналізу використання енергії об'єктами освітніх закладів, а також визначено фактори, що впливають на енергоспоживання ВНЗ. В [4] вирішено питання використання регресії для прогнозування електроспоживання ВНЗ.

Мета та завдання

Оскільки витрати на теплову енергію займають значне місце в загальних витратах на енергоносії закладів бюджетної сфери, а саме вищих навчальних закладів, то доцільним є розгляд та аналіз факторів, які впливають саме на теплоспоживання об'єктів. Це є основним завданням даного дослідження.

Матеріал і результати досліджень

Об'єктами дослідження є навчальні корпуси НТУУ «КПІ». На початку досліджень збиралася та уточнювалася вихідна інформація по навчальним корпусам за 7 років, зокрема наступні дані: споживання електро- та теплоенергії, площа, об'єм приміщень, кількість людей, площа огорожень (стіни, вікон по фасадам), коефіцієнт скління, компактність будівель, теплофізичні характеристики шарів зовнішніх стін, термічний опір вікон, погодні умови, характеристики споживачів, тощо.

Витрати на теплову енергію займають найбільшу частку (до 80%) в порівнянні з витратами на електричну енергію та водопостачання [5].

Основними споживачами теплової енергії НТУУ «КПІ» є:

- студмістечко – 44,5%;
- навчальні корпуси – 43,5 %;
- військове містечко – 5,2 %;
- інші об'єкти – 6,8 %.

Нижче на рисунку 1 показано розподіл споживання теплової енергії об'єктами НТУУ «КПІ» за два послідовних роки [5].

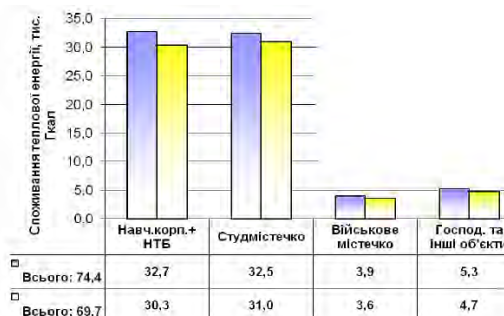


Рисунок 1 – Розподіл споживання теплової енергії між об'єктами НТУУ «КПІ»

Оскільки навчальні корпуси споживають близько 44% теплової енергії, доцільно більш детально дослідити цей сегмент з метою можливості впливу в подальшому на рівень енергоефективності ВНЗ.

За методикою, що відповідає діючим нормативним вимогам [6] щодо визначення теплоспоживання громадських будівель, авторами було створено програму для можливості аналізу впливу вагомих факторів на питомі витрати теплоти навчальних корпусів.

Основними етапами проведеного дослідження є:

- 1) вибір населеного пункту;
- 2) визначення типу будинку та його призначення;
- 3) визначення геометричних та об'ємно-планувальних, теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій та орієнтації будинку;
- 4) визначення конструкційних характеристик світлопрозорих конструкцій, системи опалення, будинку в цілому;

5) розрахунок приведенного, умовного та загального коефіцієнта теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку, загальних тепловтрат, побутових теплонадходжень, надходжень теплоти від сонячної радіації;

6) розрахунок витрат теплової енергії та питомих тепловитрат на опалення будинку.

Розроблена модель дозволяє оцінювати вплив архітектурних особливостей будівель, а також різних геометричних та експлуатаційних факторів для навчальних корпусів. У якості базового варіанту для дослідження обрано навчальний корпус №22 ІЕЕ НТУУ «КПІ», для якого була зібрана детальна інформація щодо теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, площ та об'ємів приміщень, характеристики системи опалення, теплові надходження від побутових приладів і людей, тощо. За розробленою моделлю було виконано розрахунок теплоспоживання будівлі. Далі проводився аналіз впливу різних вагомих факторів на питоме теплоспоживання.

На рисунку 2 представлена залежність питомих витрат теплоти від коефіцієнту скління $m_{скл}$ при різних значення опору теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій R , ($m^2 \cdot K$)/Вт.

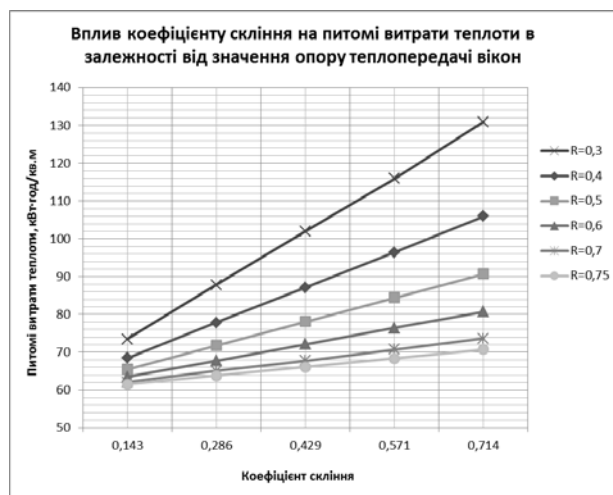


Рисунок 2 – Вплив коефіцієнту скління на q , кВт-год/ m^2 , в залежності від значення опору теплопередачі вікон

У випадку, коли опір теплопередачі вікон дорівнює 0,75 ($m^2 \cdot K$)/Вт при зміні коефіцієнту скління на 80%, питомі витрати теплоти збільшаться на 13,01%, в той час як для випадку, коли опір теплопередачі вікон дорівнює 0,3 ($m^2 \cdot K$)/Вт, при такій же зміні коефіцієнту скління, питомі теплові витрати збільшаться на 43,89%.

Залежність питомих теплових витрат від кількості днів опалювального періоду зображена на рис. 3.

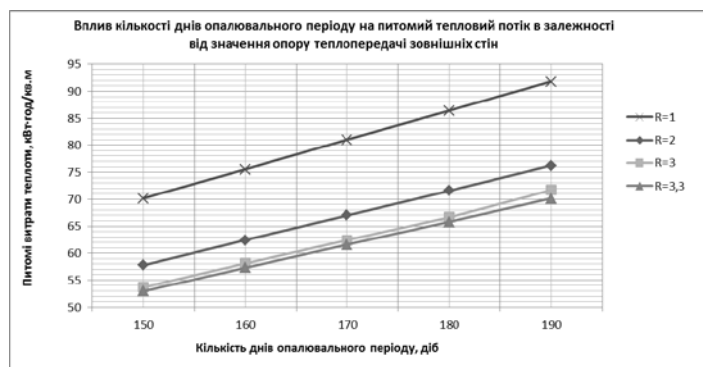


Рисунок 3 – Вплив кількості днів опалювального періоду на питомі витрати теплоти в залежності від значення опору теплопередачі зовнішніх стін

Як видно з рисунку, для випадків з різними значеннями опору теплопередачі R , ($m^2 \cdot K$)/Вт, зміна питомих теплових витрат складає близько 25%.

Виконаємо порівняльний аналіз впливу стану огорожень на питомі витрати теплоти для різних кліматичних умов. Базовий варіант – фактичний стан огорожувальних конструкцій навчального корпусу 22 КПІ (будівля масової забудови з великою площею застління, опір теплопередачі стін та вікон значно нижче діючих на сьогодні норм [1]). Також розглянуто варіант після теплової санації будівлі (значення

опору теплопередачі усіх огорожувальних конструкцій дорівнює нормативним значенням). Результати проведеного розрахунку приведені на рис.4.

Аналіз зміни питомого теплоспоживання відносно базового варіанту зведено у таблицю 1.

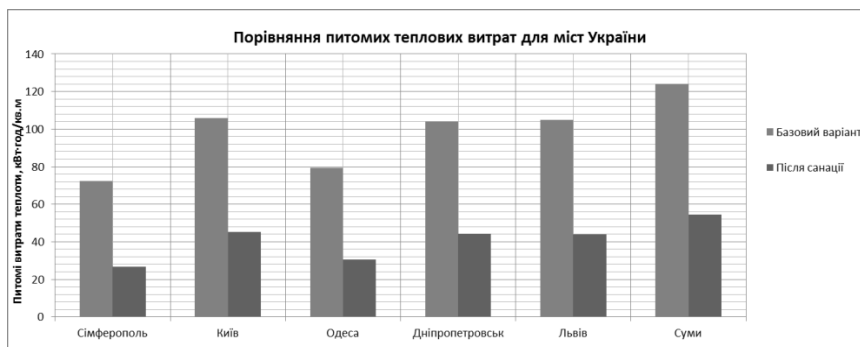


Рисунок 4 – Порівняння питомих теплових витрат для міст України

Таблиця 1.

Місто	Базовий варіант q_0 (кВт год)/м ²	Після санації q_1 (кВт год)/м ²	Δq , %
Сімферополь	72,4	26,8	170,149
Київ	106	45,1	135,033
Одеса	79,3	30,7	158,306
Дніпропетровськ	104	44,2	135,294
Львів	105	44	138,636
Суми	124	54,5	127,523

Для побудови регресійних залежностей за допомогою пакету програм Statistica 6 було прийнято рішення розподілити корпуси за певними ознаками і в межах кожної групи провести регресійний аналіз. Кластерний аналіз здійснювався за трьома факторами: споживання теплової енергії, споживання електричної енергії та об'єм приміщень. В результаті всі корпуси КПП були поділені на 5 кластерів (рис.5).

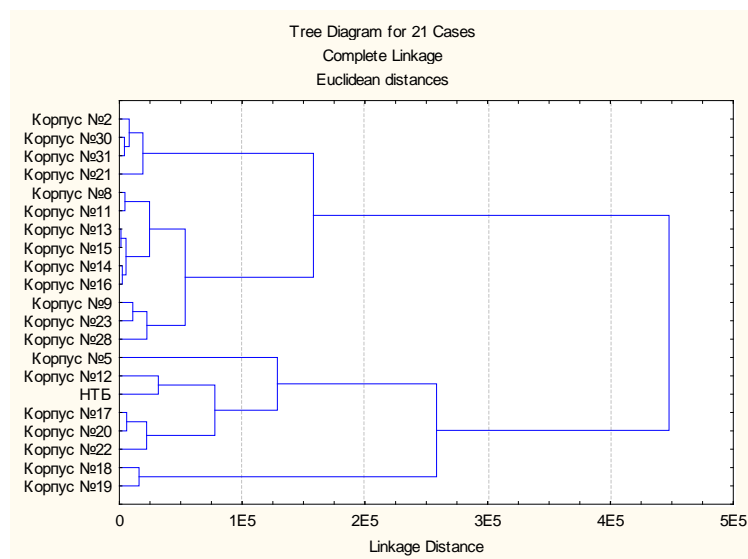


Рисунок 5 - Дендрограма результатів кластерного аналізу

В ході проведеного дослідження для кожного кластеру були побудовані регресійні моделі, які дозволяють прогнозувати теплоспоживання об'єкту в залежності від зміни погодних умов з урахуванням конструктивних особливостей будівлі.

На першому етапі дослідження в межах кожного кластеру було отримано загальну модель для опалювального періоду. Середнє відхилення основної прогнозного та фактичного теплоспоживання знаходиться в межах 15%, проте для окремих об'єктів є досить значним, зважаючи на те, що у базі даних відсутня точна інформація відносно фактичної кількості діб опалювального періоду за кожен місяць і фактичних температурних умов ($t_{вн}$) у кожній будівлі. Ці дані у майбутньому потрібно моніторити і збирати для можливості уточнення результатів розрахунків за подібними моделями. На другому етапі дослідження було вирішено поділити місяці опалювального періоду на дві групи: зимовий та весняно-осінній період. Для зимових місяців розраховане за побудованими регресійними залежностями теплоспоживання досить точно співпадало з фактичним. Кількість градусо-діб в перехідні місяці коливається в межах від 117 до 622, відповідно теплоспоживання також знаходиться в широкому діапазоні, тому вивести загальне рівняння для перехідного опалювального періоду не вдалося ($R^2 \approx 0,5$, а також відхилення прогнозного теплоспоживання від фактичного досить значне). Для отримання більш точних результатів доцільно розглядати кожен корпус окремо, не об'єднуючи в кластери, що і було здійснено на третьому етапі, хоча цей підхід досить трудомісткий. Отримані рівняння регресійного аналізу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Узагальнена таблиця регресійного аналізу за кластерами

Кластер	Загальне рівняння	Коефіцієнт детермінації, R^2	Середнє відхилення прогнозного питомого тепло споживання від фактичного, %
1	$y = 0,000034 \cdot x_1 - 0,345872 \cdot x_2 + 0,000019 \cdot x_7 + 0,064902$	0,774	12
2	$y = 0,000021 \cdot x_1 - 0,000003 \cdot x_3 + 0,067193$	0,7739	10
3	$y = 0,000022 \cdot x_1 - 0,000014 \cdot x_4 - 0,000003 \cdot x_6 + 0,000002 \cdot x_5 - 0,049295$	0,8965	7
4	$y = 0,000031 \cdot x_1 - 0,100588 \cdot x_2 - 0,000002 \cdot x_3 + 0,011643$	0,9004	9
5	$y = 0,000023 \cdot x_1 - 0,000009 \cdot x_3 - 0,041781 \cdot x_2 + 0,000002 \cdot x_7 + 0,037468$	0,8484	11

Висновки

Проведено дослідження факторів, що впливають на теплоспоживання навчальних корпусів. Виконано розподіл навчальних корпусів ВНЗ за подібними ознаками та в межах кластеру запропоновані регресійні залежності, що дозволяють прогнозувати теплоспоживання навчальних корпусів з метою здійснення якісного моніторингу і аналізу службою енергоменеджменту університету.

Список літератури

1. Будинки і споруди. Будинки та споруди навчальних закладів / ДБН В.2.2-3-97 [Чинний з 01.01.1998 р.] – К.: Держкоммістобудування України, 1997, - 90 с.
2. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України. Затверджені Держкомітетом України з енергозбереження 25.10.99. – К.: ЗАТ "ВПОЛ". – 2000р. – 104с.
3. Структурний аналіз енергоспоживання й енергозбереження в галузі освіти / Дешко В.І, Шевченко О.М//Наукові вісті НТУУ"КПІ"-2011-№6.-с.139-147.
4. Верхотуров 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.
5. Програма з енергоефективності НТУУ «КПІ» на 2012-2015 р. – К., 2012. - 108 с.
6. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорту будинків при новому будівництві та реконструкції : ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – [Чинний з 01.01.2008]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с. – (Державний стандарт України).

SHOVKALIUK M., VOINALOVYCH N.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY AND PERFORMANCE ASSESSMENT OF FACTORS EDUCATIONAL BUILDINGS

The study aims to identify and analyze the factors that affect the energy consumption of buildings of educational buildings. The mathematical model in accordance with applicable regulatory requirements for evaluating the impact of various architectural construction and operational factors of the cost of heat buildings

schools was developed. Done cluster analysis for educational buildings according to statistics heat consumption objects of NTUU "KPI". A regressive dependence for monitoring and analysis of heat consumption was proposed.

Key words: heat consumption, educational buildings, operational factors, clustering, regression analysis.

References

1. Buildings i structures. Buildings and facilities of educational institutions / DBN V.2.2-3-97 [Chynnyi z 01.01.1998 r.] – K.: Derzhkommistobuduvannia Ukrainy, 1997, - 90 s.
2. Intra rates of consumption of electricity and heat to establishments of public sector Ukraine. Zatverdzeni Derzhkomitetom Ukrainy z enerhoberezhennia 25.10.99. – K.: ZAT "VIPOL". – 2000r. – 104s.
3. Structural analysis of energy consumption and energy conservation education. /Deshko V.I, Shevchenko O.M//Naukovi visti NTUU"KPI"-2011-№6.-s.139-147.
4. Verkhoturov O.M. Using the device in multiple regression analysis tasks, accounting planning and power consumption of organizations dispersed a group of buildings / O.M.Verkhoturov, V.I. Deshko, O.M. Shevchenko // Visnyk KhNTUSH im. P.Vasylenka. Vyp. 87: pratsi mizhnar. nauk.-prakt. konf. (8-9.10.2009r). – Kharkiv: KhNTUSH, 2009.– s.162.
5. Program of energy efficiency NTUU "KPI" on 2012-2015 years. – K., 2012. - 108 s.
6. Guidelines for the development and preparation of energy passport of buildings for new construction and reconstruction : DSTU-N B A.2.2-5:2007. – [Chynnyi z 01.01.2008]. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2008. – 43 s. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).

УДК 697.34

ШОВКАЛЮК М.М., канд. техн. наук, доцент; **ВОЙНАЛОВИЧ Н.А.**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГИИ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ФАКТОРОВ УЧЕБНЫХ КОРПУСОВ**

Целью исследования является определение и анализ факторов, влияющих на энергопотребление зданий учебных корпусов. Разработана математическая модель в соответствии с действующими нормативными требованиями для оценки влияния различных архитектурно-строительных и эксплуатационных факторов на расходы теплоты зданиями учебных заведений. Осуществлен кластерный анализ для учебных корпусов по статистическим данным теплоснабжения объектами НТУУ «КПИ». Предложено регрессионные зависимости для осуществления мониторинга и анализа теплоснабжения.

Ключевые слова: теплоснабжение, учебные корпуса, эксплуатационные факторы, кластеризация, регрессионный анализ.

УДК 621.311

В. В. ЛІТВІНОВ, канд. техн. наук, доцент, **Я. С. САЧЕНКО**, магістр
Запорізька державна інженерна академія

НЕЧІТКО-ІМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

В статті розглянута проблема визначення імовірності та ризику відмови пристроїв релейного захисту в умовах великої кількості невизначеностей. Удосконалено метод «дерева відмов» для оцінювання імовірності відмови схеми релейного захисту на інтервалі часу з урахуванням індивідуальних характеристик елементів розглядуваної схеми. Сформовано імовірнісно-статистичну модель для оцінювання ризику відмови пристроїв релейного захисту що містять мікропроцесорні реле та розроблено її складові. Для оцінювання технічного стану окремих одиниць обладнання розроблено ієрархічні нечіткі моделі трансформатора струму та мікропроцесорного реле. В якості вхідної інформації використано результати періодичних перевірок та параметри, що можна визначити в режимі «on-line» без виведення захисту в ремонт. Нечіткий вивід організовано за алгоритмом Мамдані.

Вступ. В останні роки електроенергетична система (ЕЕС) України працює в напружених умовах експлуатації, які є наслідком фізичного та морального старіння обладнання і слабких тенденцій до його заміни та модернізації через значні фінансові витрати [1]. Ця проблема є актуальною не тільки для силового та комутаційного обладнання ЕЕС, а й для вторинного обладнання, в тому числі для пристроїв

релейного захисту (РЗ). На теперішній час 60-70% пристроїв РЗ в електричних мережах України експлуатуються понад 25 років, що є граничним терміном для захистів на електромеханічній базі. Заміна електромеханічних пристроїв РЗ на сучасні мікропроцесорні відбувається достатньо повільно, не встигаючи за темпами старіння існуючих захистів [2,3].

З іншого боку, ринкові відносини в енергетиці вимагають від ЕЕС високої режимної та експлуатаційної надійності. Для її підвищення в умовах старіння обладнання та для прийняття обґрунтованих рішень щодо управління ЕЕС, сучасні світові тенденції рекомендують використовувати методи ризик-менеджменту та переходити до реалізації концепції інтелектуальних мереж "smart grid". Для реалізації стратегії ризик-орієнтованого управління енергосистемою необхідно мати інформацію про технічний стан її елементів. Оцінювання стану електрообладнання відбувається в умовах обмеженості та неповноти вхідних даних, які визначають ресурс обладнання, а також, в більшості випадків за відсутності аналітичних зв'язків між окремими діагностичними ознаками.

В таких умовах для достовірного кількісного оцінювання стану об'єктів енергетики умісно застосувати нечіткі методи та підходи [1]. На теперішній час розроблено велику кількість нечітких моделей силового та комутаційного обладнання, але нечіткі моделі стану пристроїв РЗ залишаються недостатньо розглянутими.

Аналіз статистичних даних, зібраних у Дніпровській ЕЕС, показав, що приблизно 25% всіх відмов в ЕЕС відбувається саме через відмови пристроїв РЗ, а доля відмов пристроїв РЗ через фізичне зношення складає до 36%. Ці дані свідчать, що для отримання достовірної моделі ризик-орієнтованого управління реальною ЕЕС необхідне врахування не тільки ризиків відмови силового та комутаційного обладнання, а ще й ризиків відмов пристроїв РЗ. В той же час, оцінювання ТС, імовірності та ризику відмови РЗ є дуже складною задачею внаслідок існування наступних факторів [4]:

- більше 99% всього часу експлуатації схеми РЗ знаходяться в режимі «очікування», наслідком чого основну небезпеку становлять «приховані відмови», які проявляються не в момент виникнення, а лише під час спрацювання захисту;

- різноманітність видів відмов пристроїв та схем РЗ;
- різноманітність видів пошкоджень, на які реагує пристрій РЗ;
- складність пристроїв та схем РЗ;
- наявність взаємозв'язків між окремими пристроями РЗ та наявність резервування.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розроблення методу оцінювання надійності пристроїв РЗ з урахуванням їхнього фактичного технічного стану (ТС) в умовах різноманітності та обмеженості статистичної і діагностичної інформації. У відповідності до поставленої мети, в роботі вирішуються наступні завдання:

- формування імовірісно-статистичної моделі для оцінювання ризику відмови пристроїв релейного захисту з мікропроцесорними реле;
- розроблення ієрархічних нечітких моделей стану трансформаторів струму та мікропроцесорних реле.

Матеріал та результати дослідження. Для вирішення задачі оцінювання ризику відмови пристрою РЗ необхідно визначити імовірність його відмови. Найбільш доцільним методом визначення імовірності відмови у спрацюванні релейного захисту на інтервалі часу є метод «дерева відмов», який дозволяє врахувати особливості функціонування таких пристроїв, визначити всі можливі ланцюги відмови схеми захисту та є адаптивним до врахування індивідуальних характеристик розглядуваного об'єкту [4]. На основі методу «дерева відмов» розроблено нечітко-імовірісну модель для оцінювання ризику відмови схеми РЗ на інтервалі часу (рис.1), яка відрізняється від класичної реалізації методу «дерева відмов» наступним:

- при визначенні імовірності відмови елементів схеми РЗ, які формують ланцюг відмов, використовуються не усереднені показники надійності, а інтегральні статистичні функції розподілу імовірності відмов обладнання $F(t)$;

- на досліджуваному інтервалі часу використовувани інтегральні статистичні функції $F(t)$ модифікуються з урахуванням ТС окремої одиниці обладнання даного типу. Оцінювання ТС елементів схем РЗ виконується за відповідними нечіткими моделями.

Для оцінювання імовірності та ризику відмови схеми РЗ за запропонованою вище нечітко-імовірісною моделлю необхідно знати ТС елементів схеми. Оцінювання ТС пристроїв РЗ відбувається в умовах обмеженості та неповноти вхідних даних, які визначають ресурс обладнання, а також за відсутності аналітичних зв'язків між окремими діагностичними ознаками. В цих умовах для кількісного оцінювання ТС об'єктів РЗ доцільно використати нечіткий алгоритм Мамдані з якісними правилами типу «ЯКЩО–ТО» [5].

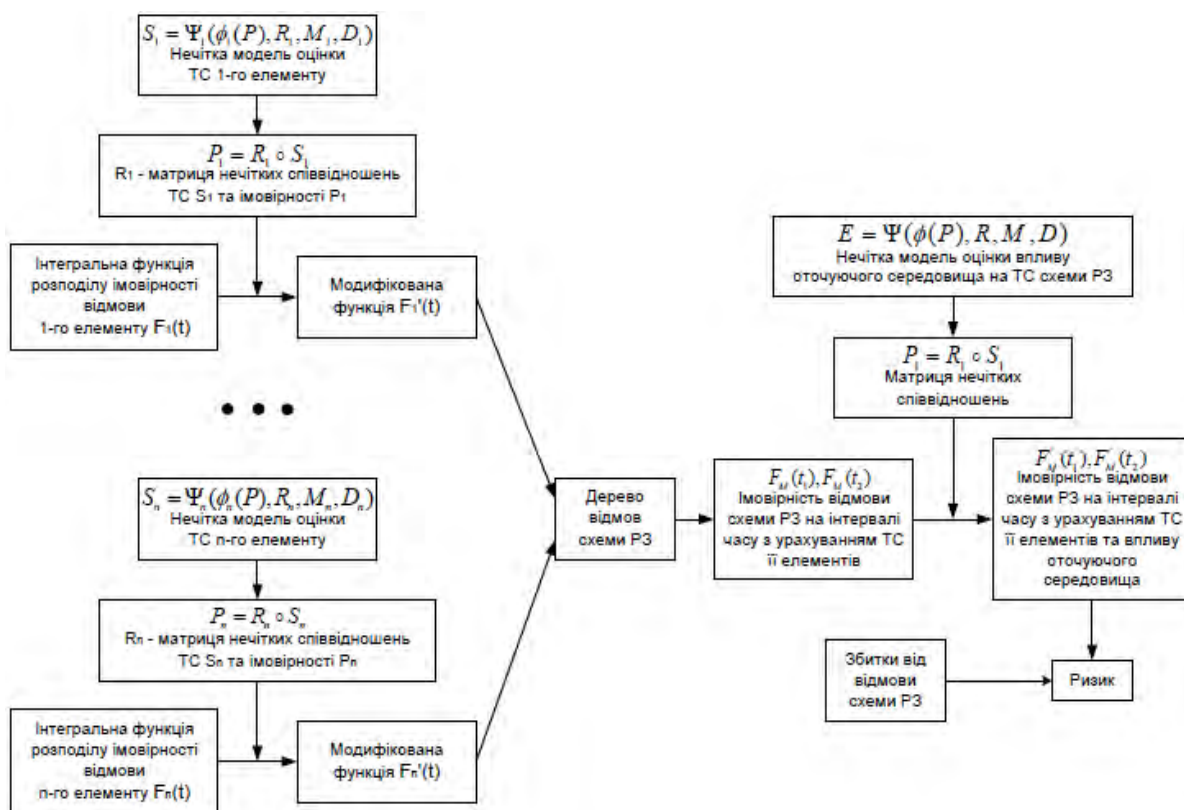


Рисунок 1 - Нечітко-імовірнісна модель для оцінювання ризику відмови схеми P3 на інтервалі часу

Особливістю нечіткого моделювання ТС пристроїв P3 є наявність двох категорій вхідних характеристик стану [3]:

- характеристики стану, отримані за результатами періодичних перевірок пристроїв релейного захисту;
- характеристики стану, виміряні в процесі експлуатації пристрою релейного захисту без його виведення в ремонт.

Характеристики стану першої категорії більш повно описують технічний стан пристрою P3, але з плином часу їхня достовірність знижується. Характеристики стану другої категорії дозволяють лише частково описати процеси зміни стану об'єкта, але є більш достовірними, оскільки визначені в режимі «on-line». Виходячи з цього, для отримання достовірної оцінки стану пристроїв P3 використано дворівневу ієрархічну нечітку модель. На рис.2,3 представлені структурні схеми нечітких моделей оцінювання ТС трансформатора струму та мікропроцесорного реле типу MICOM, які утворюють схему максимального струмового захисту (МСЗ) комірки КРУ-6 кВ.

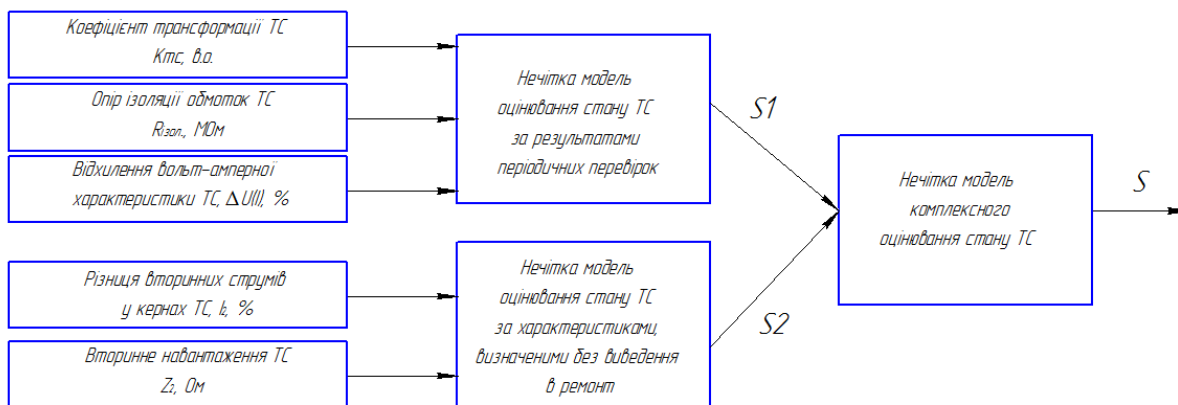


Рисунок 2 - Нечітка модель для визначення ТС трансформатора струму

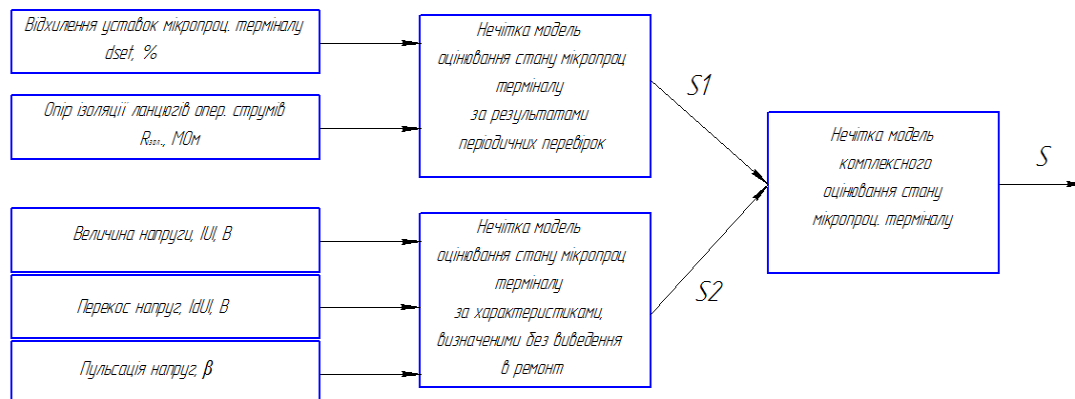


Рисунок 3 - Нечітка модель для визначення ТС мікропроцесорного реле

Вхідними параметрами першого рівня нечіткої моделі оцінювання ТС трансформатора струму є наступні величини з відповідними нечіткими термами:

- $K_{ТС}$ = «Коефіцієнт трансформації»: $K_{ТС1}$ = «Низький», $K_{ТС2}$ = «Нормальний», $K_{ТС3}$ = «Високий»;
- $R_{ізол}$ = «Опір ізоляції вторинних обмоток»: $R_{ізол1}$ = «Низький», $R_{ізол2}$ = «Нормальний»;
- $\Delta U(I)$ = «Відхилення ВАХ»: $\Delta U(I)_1$ = «Допустиме», $\Delta U(I)_2$ = «Недопустиме»;
- ΔI_2 = «Різниця вторинних струмів у ядрах ТС»: ΔI_{21} = «Допустиме», ΔI_{22} = «Недопустиме»;
- $Z_{нав}$ = «Вторинне навантаження ТС»: $Z_{нав1}$ = «Допустиме», $Z_{нав2}$ = «Недопустиме».

Вхідними параметрами першого рівня нечіткої моделі оцінювання ТС мікропроцесорного реле є наступні величини з відповідними нечіткими термами:

- ΔSet = «Відхилення уставок мікропроцесорного терміналу»: ΔSet_1 = «Недопустиме зменшення», ΔSet_2 = «Допустиме», ΔSet_3 = «Недопустиме збільшення»;
- $R_{ізол}$ = «Опір ізоляції кіл оперативного струму»: $R_{ізол1}$ = «Низький», $R_{ізол2}$ = «Нормальний»;
- U = «Величина напруги живлення»: U_1 = «Низька», U_2 = «Нормальна», U_3 = «Висока»;
- $|\Delta U|$ = «Перекас напруги живлення»: $|\Delta U_1|$ = «Допустимий», $|\Delta U_2|$ = «Недопустимий»;
- β = «Пулсация напруг живлення»: β_1 = «Допустима», β_2 = «Недопустима».

Функції приналежності (ФП) вхідних величин обох нечітких моделей будуються за експертними оцінками, обробленими за методом Сааті з визначенням власного числа [6]. ФП вхідних величин нечіткої моделі трансформатора струму представлені на рис.4, а нечіткої моделі мікропроцесорного реле на рис.5.

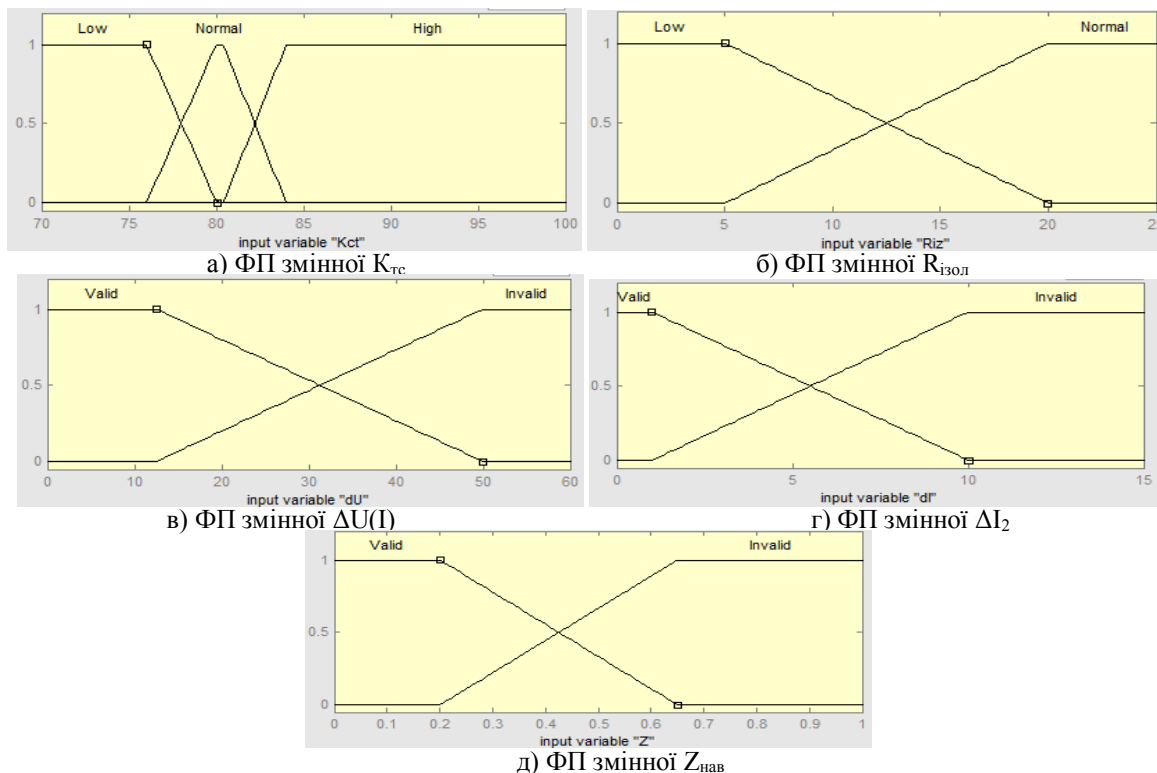


Рисунок 4 - ФП вхідних величин нечіткої моделі трансформатора струму

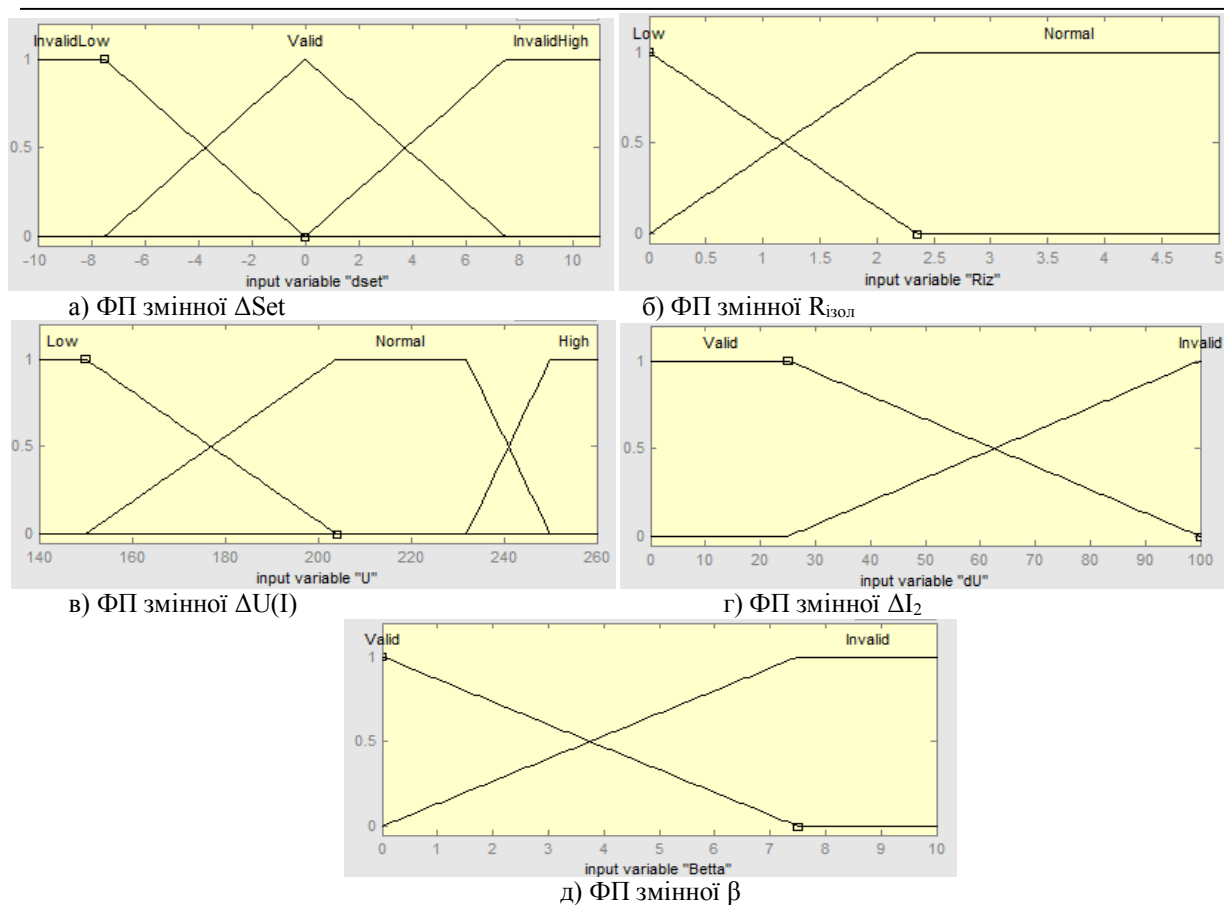


Рис.5 ФП входніх величин нечіткої моделі мікропроцесорного реле

Нерівноцінність входніх інформації двох категорій для обох елементів схеми РЗ враховано експертом при складанні баз правил прийняття рішення (табл.1-5).

Таблиця 1 База правил оцінювання ТС трансформатора струму за результатами періодичних перевірок

$K_{TC} = \text{«Низький»}$			$K_{TC} = \text{«Нормальний»}$			$K_{TC} = \text{«Високий»}$		
$R_{ізол} \backslash \Delta U(I)$	Низ.	Норм.	$R_{ізол} \backslash \Delta U(I)$	Низ.	Норм.	$R_{ізол} \backslash \Delta U(I)$	Низ.	Норм.
Доп.	П	С	Доп.	П	Д	Доп.	П	С
Недоп.	П	П	Недоп.	П	С	Недоп.	П	С

Таблиця 2 База правил оцінювання ТС трансформатора струму за результатами “on-line” вимірювань

$Z_{нав} \backslash \Delta I_{втор}$	Доп.	Недоп.
Доп.	Д	С
Недоп.	С	П

Таблиця 3 База правил оцінювання ТС мікропроцесорного реле за результатами періодичних перевірок

$R_{ізол} \backslash \Delta Set$	НЗ	Д	НЗ
Низьк.	П	С	П
Норм.	П	Д	П

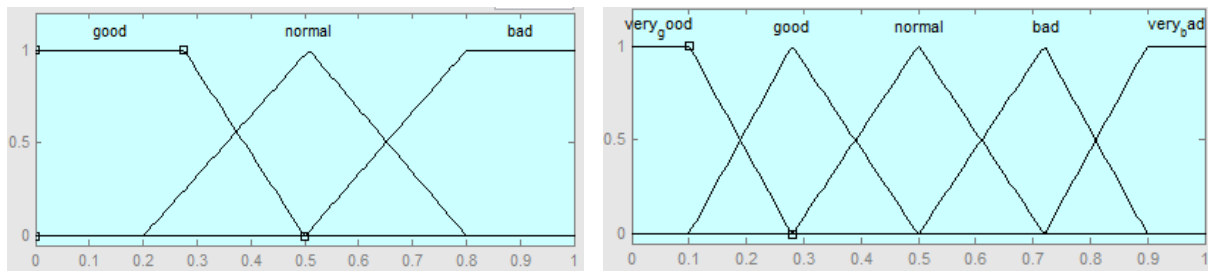
Таблиця 4 База правил оцінювання ТС мікропроцесорного реле за результатами “on-line” вимірювань

$U = \text{«Низький»}$			$U = \text{«Нормальний»}$			$U = \text{«Високий»}$		
$\beta \backslash dU $	Доп.	Недоп.	$\beta \backslash dU $	Доп.	Недоп.	$\beta \backslash dU $	Доп.	Недоп.
Доп.	С	П	Доп.	Д	С	Доп.	П	П
Недоп.	П	П	Недоп.	С	П	Недоп.	П	П

Таблиця 5 База правил вихідного рівня (однакова для обох моделей)

$S_1 \backslash S_2$	Д	С	П
Д	ДД	Д	П
С	С	С	П
П	ДП	ДП	ДП

ФП вихідних величин обох рівнів нечітких моделей визначаються на стандартних інтервалах Харрінгтона [5]. Вони приведені на рис.6.

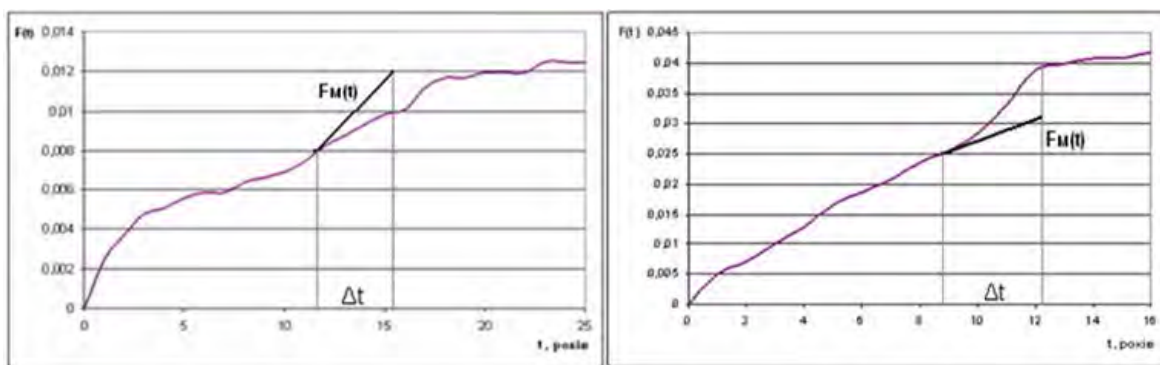


а) вихідні ФП першого рівня

б) вихідні ФП другого рівня

Рисунок 6 ФП вихідних величин нечітких моделей стану об'єктів

За результатами, отриманими за нечіткими моделями, виконується модифікація статистичних функцій розподілу імовірності відмови елементів на інтервалі часу, з яких складається схема РЗ. Модифіковані функції трансформатора струму та мікропроцесорного реле представлені на рис.7.



а) функція $F(t)$ трансформатора струму

б) функція $F(t)$ мікропроцесорного реле

Рисунок 7 Модифіковані інтегральні функції розподілу імовірності відмов

З отриманих результатів видно, що імовірність відмови розглядуваного трансформатора струму є вищою за статистичну через поганий технічний стан, а імовірність відмови розглядуваного реле – нижчою, оскільки воно знаходиться у доброму стані.

Висновки. Удосконалений метод «дерева відмов» дозволяє використовувати для оцінювання імовірності відмови схеми РЗ інтегральні статистичні функції розподілу імовірності відмов елементів схеми РЗ, які модифікуються з урахуванням ТС конкретної одиниці обладнання. Для модифікації інтегральних статистичних функцій розподілу імовірності відмов $F(t)$ з урахуванням ТС елементів схеми РЗ розроблені ієрархічні нечіткі моделі оцінювання ТС трансформатора струму та мікропроцесорного терміналу, які дають можливість кількісно оцінити ТС зазначених елементів в умовах різномірності вхідної інформації, а також поєднати в одній моделі вхідні дані з різним ступенем достовірності.

Удосконалений метод рекомендовано використовувати в задачах ризик-орієнтованого управління, а саме при складанні графіків технічного обслуговування пристроїв РЗ, а також при визначенні доцільності та термінів їхньої заміни.

Список літератури

1. Костерев М. В. Нечітко-статистичний підхід до оцінювання експлуатаційної та режимної надійності об'єктів підсистем електроенергетичної системи / М. В. Костерев, Є. І. Бардик, В. В. Літвінов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика», №1(14). – Донецьк, 2013. – С. 122-128.

2. Літвінов В. В. Оцінювання надійності пристроїв релейного захисту за допомогою ієрархічних схем нечіткого виводу. / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // XV міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика XXI століття». – К.: ІВЕ НАНУ, 2014. – С. 261-264.
3. Літвінов В. В. Моделювання технічного стану пристроїв релейного захисту в умовах нечіткої інформації / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // II міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку». – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 68-70.
4. Шалин А. И. Надёжность и диагностика релейной защиты энергосистем: учебник / А. И. Шалин. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 384 с.
5. Штовба С. Д. Проектирование нечётких систем средствами MatLab / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
6. Saaty T. L. Eigenweightor an Logarithmic lease squares / T. L. Saaty // Eur. J. Oper. Res. – 1990. – 48, N1. – P. 156-160.

V. LITVINOV, Ya. SACHENKO
Zaporizhia State Engineering Academy

FUZZY-PROBABILITY APPROACH FOR THE RELIABILITY ESTIMATION OF RELAY PROTECTION DEVICES

In article was considered the problem of relay protection devices fault probability and risk estimation in fuzzy-information conditions. "Fault tree" method for the relay protection scheme fault probability appreciation at the time interval was updated by the taking into consideration individual state characteristics of investigated scheme elements. Fuzzy-probability model was formed for the estimation of relay protection schemes fault risk, which includes digital relays. Components of fuzzy-probability model were developed. For the relay scheme elements technical state estimation was created hierarchical fuzzy models of current transformer and digital relay. As input information was used periodical test results and "on-line" checked information, which could be obtained without relay equipment repairing. Fuzzy output was organized according to the Mamdani type algorithm.

References

1. Kosterev M. V. Nechitko-statystychnyi pidhid do otsiniuvannia ekspluatatsijnoi ta regimnoi nadijnosti obyektiv pidsystem elektroenergetychnoi systemy / M. V. Kosterev, Ye. I. Bardyk, V.V. Litvinov // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo technichnogo universitetu. Seria: "Elektrotehnika i energetika", №1(14). – Donetsk, 2013. – S. 122-128.
2. Litvinov V. V. Otsiniuvannia nadiinosti prystroiv releinogo zahysty za dopomogoiu ierarhichnyh skhem nechitkogo vyvodu / V. V. Litvinov, Ya. S. Sachenko // Vidnovliuvana energetyka XXI stolittia. Materialy XV yuvileinoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. – Kyiv, 2014. – S. 261–264.
3. Litvinov V. V. Modeliuvannia technichnogo stanu prystroiv releinogo zakhysty v umovah nechitkoi informatsii / V. V. Litvinov, Ya. S. Sachenko // II mizhnarodna naukovo-technichna ta navchalno-metodychna konferentsia "Energetychnyi menedzment: stan ta perspektyvy rozvytky" – Kyiv, NTUU "KPI", 2015. – S. 69-70.
4. Shalin A. I. Nadiozhnost i diagnostika releinoi zashchity energosistem / A. I. Shalin. – Novosibirsk: NGTU, 2002. – 384 s.
5. Shtovba S. D. Proektirovanie nechetkih system sredstvami MATLAB / S. D. Shtovba, - M.: Goriachaia linia – Telekom, 2007. – 288 s.
6. Saaty T. L. Eigenweightor an Logarithmic lease squares / T. L. Saaty // Eur. J. Oper. Res. – 1990. – 48, N1. – P. 156-160.

Надійшла 08.06.2015

Received 08.06.2015

ОСНОВНІ ЗАСАДИ РЕДАКЦІЙНОЇ ПОЛІТИКИ ЖУРНАЛУ

«ЕНЕРГЕТИКА: ЕКОНОМІКА, ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ»

Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» - фахове видання, що надає вченим, дослідникам і фахівцям-практикам можливість викладати результати своїх наукових досліджень в галузі енергетики і енергозбереження, економіки та екології.

У виданнях журналу представлені питання, які стосуються систем енергетики, електро-теплопостачання і електротеплоспоживання, а також джерел як традиційної, так і не традиційної генерації, зокрема – відновлюваних джерел, питанням перетворення, передавання, розподілення енергії та енергоспоживання. Також присутні важливі для всього людства питання щодо пом'якшення впливу змін клімату.

Значна увага приділяється економічному обґрунтуванню інвестиційної привабливості енергетичних проєктів та заходів, зокрема, схем їх фінансування та ефективності впровадження, формування й оптимізації різних варіантів, систем прийняття рішень, з урахуванням можливих ризиків.

Основними засадами редакційної політики є: актуальність, достовірність, обґрунтованість, наукова новизна, інноваційність у статтях видання. Тематика рукописів, які подаються до друку, має відповідати науковим напрямам журналу. Статті не повинні мати характер відкритої чи прихованої реклами (антиреклами). Редакція залишає за собою право редагувати надіслані рукописи з метою забезпечення відповідності текстів граматичним, орфографічним, стилістичним нормам та правилам.

Автор(и), надаючи рукопис для публікації, автоматично підтверджує, що поданий рукопис надається для опублікування вперше, є результатом власних досліджень, а будь-яке використання у цих рукописах досліджень інших осіб чи інформації з інших джерел оформлено відповідно до чинних вимог законодавства України та міжнародної практики. Рукописи приймаються до публікації тільки у разі якщо, автор(и) згоден(ні) на відкритий доступ до його статті через мережу Інтернет: через web-сайт журналу <http://energy.iee.kpi.ua>, інформаційний ресурс Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського «Наукова періодика України», Електронний архів НТУУ «КПІ», наукометричні бази даних та портали закордонних наукових бібліотек.

Усі рукописи, що подаються до публікації, проходять дворівневу систему рецензування: внутрішню та зовнішню.

Порядок розгляду рукописів:

1) Рукопис приймається редколегією до розгляду тільки за умови відповідності його оформлення чинним вимогам МОН України, державним та міжнародним стандартам, та вимогам до оформлення статей у журналі. Рукопис може бути відхилений чи відправлений на доопрацювання у разі невідповідності вищезазначеним вимогам.

2) Рукопис попередньо розглядає редакційна колегія.

3) Редколегія направляє рукопис на обов'язкове незалежне рецензування.

4) Тільки після остаточного узгодження всіх питань стосовно змісту рукопису, він вважається прийнятим до опублікування.

5) Редколегією вирішується питання щодо включення рукопису у відповідний номер журналу, про що повідомляється авторові.

Редакційна колегія журналу «Енергетика: економіка, технології, екологія» прагне до того, щоб видання становило інтерес не лише для науковців України, але також і зарубіжних країн. Тому редакційна колегія заохочує публікації, наданні авторами з інших країн, а також колективами авторів, що складаються як з українських, так і з закордонних вчених.

Для інтеграції результатів наукових досліджень, поданих у журналі, до світової науки редакційна колегія здійснює процес реєстрації видання у закордонних наукометричних базах даних.

Редакційна колегія заохочує до публікації молодих вчених, які здійснюють інноваційну науково-дослідну роботу у галузі енергетики.

Редакційна колегія підтримує політику відкритого доступу, тому на web-сайті видання представлено постатейно архів журналу, починаючи з 2004 року, у відкритому форматі Portable Document Format (pdf). Кожний новий випуск журналу паралельно з друкованою версією з'являється на сайті видання без ембарго (затримки).

У рамках редакційної політики науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» послідовно дотримується видавничих стандартів публікації COPE Code of Conduct, затверджених COP (Committee on Publication Ethics).

Право інтелектуальної власності на результати наукових досліджень, поданих у вигляді рукопису до редколегії, належить авторам статті. У випадку виявлення плагіату відповідальність несуть автори наданих матеріалів. Висловлені у статтях думки та пропозиції не обов'язково збігаються з точкою зору редакційної колегії. Відповідальність за достовірність інформації у статтях, точність назв, статистичних даних, прізвищ та цитувань несуть автори. Всі питання та зауваження стосовно діяльності журналу необхідно надсилати на адресу електронної або звичайної пошти редколегії.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Для публікації в журналі "Енергетика: економіка, технології, екологія" приймаються статті, надруковані на стандартних аркушах паперу А4 (в 2-х примірниках), що супроводжуються електронною версією (Microsoft Word 2003 або 2007) на CD/DVD дисках, USB-флеш накопичувачах або надіслані електронною поштою.

Мова статті обирається автором. Параметри сторінки: поля верхні, нижні, ліві та праві – 2,5 см. Вирівнювання основного тексту – за шириною. Перші рядки всіх абзаців – з відступом 0,6 см, шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал 1. Назва статті друкується великими напівжирними літерами – кегль 14. Заголовки елементів основного тексту виділяються напівжирним шрифтом.

Структура статті: 1) номер УДК (у верхньому лівому кутку сторінки, напівжирним шрифтом); 2) ініціали, прізвища авторів (великими літерами) та відомості про авторів (науковий ступінь, вчене звання, посада, повна назва організації, адреса організації) - вирівнювання за правим краєм; 3) назва статті (у центрі); 4) реферат обсягом від 1000 до 1100 знаків повинен відображати короткий зміст статті, не повторювати назву, не містити загальних фраз та бути структурованим (мета дослідження, методика реалізації, результати дослідження, висновки, ключові слова (6–8 слів), словосполучення «Ключові слова» – напівжирним; 5) основний текст статті; 6) перелік літератури; 7) п.2, 3, 4, 6 – англійською мовою; 8) номер УДК, п.2,3,4 російською/українською, якщо основний текст представлено українською/російською мовою.

Відповідно до постанови Президії ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003р. до друку приймаються наукові статті, що мають такі елементи: **Вступ** (постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується зазначена стаття); **Мета та завдання** (формулювання цілей статті, постановка завдання); **Матеріал і результати досліджень** (виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів з можливим поділом його на частини з відповідними назвами); **Висновки** (зазначити основні висновки з даного дослідження та перспективи його подальшого розвитку в цьому напрямку).

Для надання відомостей про авторів англійською мовою слід використовувати загальноприйнятну лексику перекладу наукових ступенів, вчених звань, посад та місця роботи. **Англомовна анотація за обсягом рекомендується більшою за українську (російську)**, оскільки для закордонних вчених анотація є, як правило, єдиним джерелом інформації про зміст статті.

Обсяг статті, включаючи текст, таблиці, рисунки, не має перевищувати 6–8 сторінок. **Сторінки повністю заповнені текстом**. Схеми, рисунки й таблиці повинні бути пронумеровані та розміщені в тексті після посилань на них. Матеріал має бути викладений стисло, без повторювань даних таблиць і рисунків у тексті. Неприпустимо використовувати такі елементи форматування як «розрив розділу з нової сторінки» та колонтитули. Стаття має бути ретельно перевірена та підписана всіма авторами.

Рисунки (діаграми, фото тощо) подаються у чорно-білому зображенні разом із текстом, у місцях посилань на них. **Вимога до графічних матеріалів: будь-яка ілюстрація повинна бути єдиним нерозривним графічним об'єктом**. Рисунок має бути розташований у центрі, без обтікання текстом. Підписи до рисунків повинні містити нумерацію в порядку розміщення в тексті та пояснювальний підпис. Неприпустимо включати підписи до самого рисунка.

Формули в статтях мають бути набрані за допомогою редактора формул (внутрішній редактор формул у Microsoft Word). Кириличні та грецькі символи мають бути набрані прямим шрифтом, латинські літери - похилим. Виняток становлять символи операторів і стандартних функцій, які набираються прямим шрифтом. Нумерація формул, на які є посилання в тексті, – справа в дужках. Цілі частини від десяткових відокремлюються комою.

Список літератури наводиться в порядку посилань у тексті відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Посилання на літературні джерела в тексті наводяться у квадратних дужках. Список використаних джерел подається двічі: мовою оригіналу й англійською. У англомовному списку літератури (References) прізвища та назви журналу, видавництва подаються згідно з правилами транслітерації, відповідно до Постанови КМУ від 27 січня 2010 р. №55 (для української мови) або вимогам системи BGN/HCGN (для російської мови). **Назви статті, книги перекладаються англійською мовою.**

В окремому файлі надаються відомості про авторів: прізвище, ім'я та по-батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи (повна назва організації без скорочень, адреса, місто, країна), контактні телефони та електронна пошта

Відповідальність за зміст статті несуть автори. Остаточне рішення щодо друку статей ухвалює редколегія. Редакція залишає за собою право проводити скорочення та редакційну правку статей.

Статті, які не відповідають вимогам редакції журналу "Енергетика: економіка, технології, екологія" не розглядаються.

Контакти: тел. (38-044) 406-85-14, <http://energy.iee.kpi.ua>, e-mail: krav@iee.kpi.ua