

ISSN 1813-5420

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія



Науковий журнал

№ 4 – 2016

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія

Науковий журнал

№ 4 (46) - 2016

Виходить 4 рази на рік
Заснований у березні 2000 року

Smart Grid системи та технології
Енергетичні системи та комплекси.
Лібералізовані ринки енергії.
Енергетичний менеджмент та аудит.
Технології та обладнання в енергетиці.
Моніторинг, діагностика та керування енергетичними процесами та
обладнанням.
Економічні аспекти енергетики.
Екологічні проблеми в енергетиці

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2016

Головний редактор – Ю.І. Якименко

Заступники

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

Відповідальний секретар – О.О. Закладний

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: А.О. Авраменко, Б.І. Басок, О.Ф. Буткевич, О.О. Вовк,
(Україна) А.В. Волошко, Г.О. Воропаєв, В.І. Дешко, В.Я. Жуйков,
С.О. Кудря, А.В. Носовський, М.Я. Островерхов,
С.М. Пересада, В.А. Попов, К.К. Ткачук, В.О. Туз,
О.Ю. Черноусенко, С.П. Шевчук, В.Ф. Шинкаренко

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ: Е. Хандшин (*Дортмундський технічний університет, інститут енергетичних систем та економіки енергетики, Німеччина*), Ричард Стржелецькі (*Інститут електротехніки, Варшава, Польща*), П.Я. Екель (*Папський католицький університет Мінас Жерайс, Бразилія*), А.В. Кузнецов (*Університет штату Північна Кароліна, США*), В.І. Олещук (*Інститут енергетики Академії Наук Молдови*), О.В. Кузнецов (*Університет прикладних наук, Німеччина*), Карлос Ф. Пфайфер (*Університетський коледж Південно-Східної Норвегії*), А. Башкіс (*Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва*), Опітс Йоахім (*Інститут енергетики м. Хамм, Німеччина*), В.І. Олещук (*Інститут енергетики Академії Наук Молдови*), В.М. Постолатий (*Інститут енергетики Академії Наук Молдови*)

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 рішення Атестаційної колегії МОН України від 13 грудня 2016 р., затверджене наказом МОН України № 1604 від 22 грудня 2016 р. Журнал включено до баз даних «Наукова періодика України» НБУВ, Google Scholar, Index Copernicus, WorldCat, BASE, OpenAIRE, PИHЦ, Джерело, URAN, Open Academic Journal Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, International Institute of Organized Research (I2OR), Academic Keys, General Impact Factor, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, електронного архіву наукових матеріалів ELAKPI. Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (протокол № 2 від 13 лютого 2017 р.).

Коректор В.Г. Смоляр. Комп'ютерна верстка П.В. Соколовський.
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: kravkpi@ukr.net

Видавець КПІ ім. Ігоря Сікорського 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**

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE
“IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE”

POWER ENGINEERING

economics, technique, ecology

ENERHETYKA:
ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya

The Scientific Journal

№ 4 (46) - 2016

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

Smart Grid system and technology
Energy systems and complexes
Liberalized energy market
Energy management and audit
Energy technologies and equipment
Monitoring, diagnostic and management of power processes and equipment
economic aspects of power-engineering
Environmental problems in energy

Kyiv

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

2016

Editor-in-chief- Yu.I. Yakymenko
Deputy editors-in-chief- S.P. Denysiuk, O.S. Yandulskyi, E.M. Pysmennyi
Deputy O.O. Zakladnyi
EDITORIAL BOARD: A.O. Avramenko, B.I. Basok, O.F. Butkevych, O.O. Vovk,
(Ukraine) A.V. Voloshko, G. Voropaiev, V.I. Deshko, V.Ya. Zhuykov,
S.O. Kudrya, A.V. Nosovsky, M.Ya. Ostroverkhov,
S.M. Peresada, V.A. Popov, K.K. Tkachuk, V.O. Tuz,
O. Yu. Chernousenko, S.P. Shevchuk, V.F. Shinkarenko

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*), A.V. Kuznetsov (*North Caroline State University, USA*), V. Oleschuk (*Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova*), O. Kuznetsov (*University of Applied sciences, Germany*), Carlos F. Pfeiffer (*University College of Southeast Norway*), A. Baskys (*Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania*), Opitz H. Joachim (*EIH Energy Institute Hamm, Germany*), V. Postolati (*Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova*).
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 decision Attestation commission MES of Ukraine of December 13, 2016, approved by order of MES of Ukraine № 1604 of December 22, 2016 as an occupational edition. The Journal is included in databases «Scientific Periodicals of Ukraine», Google Scholar, Index Copernicus WorldCat, BASE, OpenAIRE, RSCI, Djerelo, URAN, Open Academic Journal Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, International Institute of Organized Research (I2OR), Academic Keys, General Impact Factor, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, electronic archive of research materials ELAKPI. Passed for printing under recommendation of Academic Council of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (protocol № 2 on February 13, 2017).

Proofreading V.G. Smoliar. Desktop publishing P.V. Sokolovskiy.
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: kravkpi@ukr.net
The publisher Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute 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**

© Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2016

ЗМІСТ

SMART GRID СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

С.П. Денисюк, В.П. Опришко, Р. Стшелецькі. Реалізація концепції Smart Grid за рахунок використання програм з керування попиту і сучасних систем силової електроніки..... 7

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

В.С. Степашко, А.Р. Трачук. Моделювання споживання вугілля в Україні з використанням методу групового урахування аргументів..... 17

ЛІБЕРАЛІЗОВАНІ РИНКИ ЕНЕРГІЇ

М.Т. Стрелков. Статична модель структури системи ринку електричної енергії..... 22

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА АУДИТ

А.І. Замулко, Ю.А. Веремійчук, М.В. Матвійчук. Аналіз результатів перевірки суб'єктів господарювання наглядовими органами – основа для здійснення енергетичного аудиту 32

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Ю.Г. Качан, В.Л. Коваленко, О.І. Лапікова. Щодо впливу електричних полів та мікрохвильового випромінювання на задіяні в біометаногенезі мікроорганізми..... 38

В.В. Ніценко, Д.О. Кулагін, П.В. Махлін. Розроблення засобів підвищення селективності дії диференційно-фазного захисту збірних шин при насиченні трансформаторів струму 43

А.В. Волошко, Я.С. Бедерак. Фрактальний аналіз електричних навантажень хімічних виробництв 53

М.М. Вознюк, А.В. Семеняко, В.А. Бондарь. Оптимальная высота поперечных ребер плоскоооальной трубы 60

Л.К. Лістовщик, В.М. Сліденко, О.П. Лісовол. Мехатронна система імплізійного впливу на привибійну зону пласта нафтової свердловини. 66

Д.С. Горенко, Г. Мельничук. Оптимізація роботи електрогенеруючих установок при дії джерела імпульсних завад..... 72

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ

В.П. Розен, Л.В. Давиденко, Н.В. Давиденко. Структура системи комплексного контролю ефективності енергоспоживання об'єктів комунального водопостачання..... 81

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ

П.В. Соколовський. Особливості реалізації ефективних бізнес-процесів в електропостачальних компаніях України..... 89

О.В. Лисак. Визначення термінів окупності електротеплоакумулюючих обігрівачів 99

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ В ЕНЕРГЕТИЦІ

С.В. Бойченко, О.Г. Пузік, П.І. Топільницький, Л.М. Черняк, В.В. Романчук, О. Бабатунде, Каземір Лейда. Оцінка екологічного впливу нафтопереробного підприємства на навколишнє середовище України..... 109

Вимоги до оформлення статей..... 123

CONTENTS

SMART GRID СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

- S. Denysiuk, V. Opryshko, R. Strzelecki.** The Smart Grid concept implementation by expanding the use of demand side management and modern power electronic installations 7

ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

- V. Stepashko, Trachuk.** Modelling of coal consumption in Ukraine by using the group method of data handling 17

LIBERALIZED ENERGY MARKET

- M. Strelkov.** Static model of electricity market system structure 22

ENERGY MANAGEMENT AND AUDIT

- A. Zamulko, Y. Veremiichuk, M. Matviichuk.** The analysis of test results of the business entities by supervisory authorities – the basis for the energy audit 32

ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

- Y. Kachan, V. Kovalenko, O. Lapikova.** Effect of electric field and microwave radiation on microorganisms involved in biometanogenesis 38

- V. Nicenko, D. Kulagin, P. Makhlin.** Development of the means to improve a selective operation of the differential-phase busbar protection in case of current transformers saturation 43

- A. Voloshko, Y. Bederak.** Fractal analysis of electrical loads chemical plants 53

- M. Voznyuk, A. Semenyako.** Optimal height of transversal fins of flat-oval tube 60

- L. Listovshchik, V. Slidenko, O. Lisovol.** Mechatronic system of implosion action on a bottomhole zone of the oil well 66

- D. Horenko, G. Melnychuk.** Analysis of the impact of conductive noise on systems with non-traditional sources of electricity 72

MONITORING, DIAGNOSTIC AND MANAGEMENT OF POWER PROCESSES AND EQUIPMENT

- V. Rozen, L. Davydenko, N. Davydenko.** Structure of system of comprehensive control of energy consumption efficiency for municipal water supply objects 81

ECONOMIC ASPECTS OF POWER-ENGINEERING

- P. Sokolovskyi.** Features of realization of effective business processes in electricity supply companies of Ukraine 89

- O. Lysak.** The evaluation of the payback period for storage heaters 99

ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN ENERGY

- S. Boychenko, O. Puzik, P. Topilnytskyi, I. Chernyak, V. Romanchuk, O. Babatunde, K. Lejda.** The environmental impact of refineries 109

SMART GRID СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ SMART GRID SYSTEM AND TECHNOLOGY

УДК 621.31

S. Denysiuk, Dr. Sc. Sciences, prof., V. Opryshko, As. Ph.D student.,
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
R. Strzelecki, Dr. Sc. Sciences, prof.,
Electrotechnical Institute Warsaw

THE SMART GRID CONCEPT IMPLEMENTATION BY EXPANDING THE USE OF DEMAND SIDE MANAGEMENT AND MODERN POWER ELECTRONIC INSTALLATIONS

Modern trends in electricity supply grids aimed on intellectualization of existing grids, energy supply and creating Smart Grid systems to ensure a high level of reliability and power quality. As part of the Smart Grid concept demand side management programs play an important role in solving technical and technological problems in concept implementation process. The grid must implement a catena of demand side management programs by providing various services according to the situation, requirement contracts, forecasting of consumption/demand and collect information about energy savings. This requires the study of existing and development of new programs. According to traditional grid in Smart Grid transformation appears the wide-spread use of modern power-electronic installations in electrical power grids. Research of existing models and structures provide base for installations improvements and trends understanding. Proposed practical solutions for power electronics arrangements, either dedicated or capable of adaptation to the distribution systems.

Keywords: Smart Grid; demand side management; power grids; power-electronic.

Introduction.

Smart power grid is an intelligent electrical grid used for improving efficiency, sustainability, flexibility, reliability and security of the electrical system by enabling the grid to be observable, controllable, automated and fully integrated [1].

In contrast with the existing electrical grids, the intelligent electric grids have digital structure, two-way communication, distributed generation, numerous sensors, self-monitoring, self-healing capabilities, remote checks/tests, pervasive control and many customers fig. 1 [2].

The Smart Grid is more than any one technology, and the benefits of making it a reality extend far beyond the power system itself.

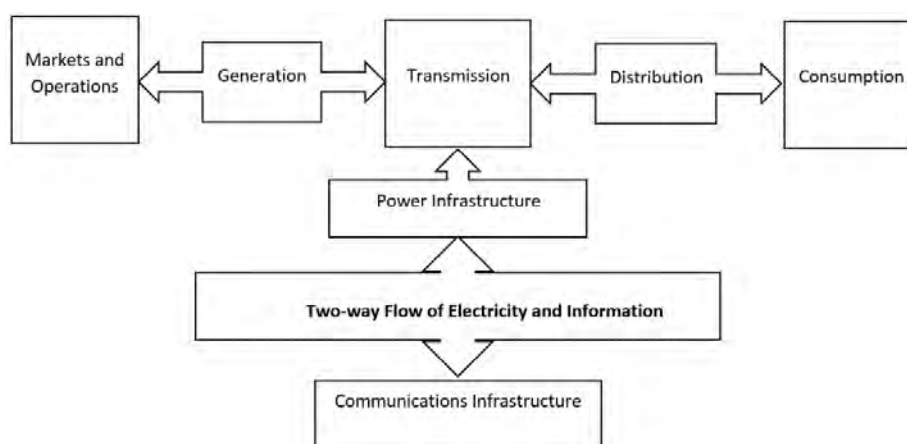


Fig. 1 Smart Grid structure

The transition from the grid we know today to the grid of tomorrow will be as profound as all of the advances in power systems over the last hundred years, but it will take place in a fraction of that time. It will require a new level of cooperation between industry players, advocacy groups, the public and especially the regulatory bodies that have such immediate influence over the direction the process will take. In the end, though, a fully realized Smart Grid will benefit all stakeholders [3].

Aim of the article.

Formation of an overarching framework of Smart Grid. Research of existing demand side management programs and formation of demand side management structure for region. Power-electronic installations application in Smart Grid networks analysis. Provide examples of power-electronic installations for existing systems.

Up until now smart integration of grid-connected photovoltaic (PV) systems is a concept that has been neglected in part due to the availability of subsidies. These subsidies given under different forms of national incentive schemes have made PV the fastest growing energy source in the last few years. In the future, as direct financial incentives and other types of subsidies to PV systems are gradually phased out, smarter grid interface will become an essential feature of future PV systems design.

Renewable energy systems (RESs) cannot directly replace the existing electric energy grid technologies. The latter are far too well established to abandon, while the new technologies are not sufficiently developed to meet the total energy demand. Therefore, it is sensible to gradually infuse renewable energy sources into existing grids and transform the system over time [4].

A smart information grid the energy internet for the electric grid is seen as necessary to manage and automate this new world. Smart Grid concepts encompass a wide range of technologies and applications. Early stage in the development of Smart Grids, the role of control, especially advanced control, is limited [46]:

1) Advanced metering infrastructure (AMI) is a vision for two-way meter/utility communication. Two fundamental elements of AMI have been implemented. First, automatic meter reading (AMR) systems provide an initial step toward lowering the costs of data gathering through use of real-time metering information. Second, meter data management (MDM) provides a single point of integration for the full range of meter data. It enables leveraging of that data to automate business processes in real time and sharing of the data with key business and operational applications to improve efficiency and support decision making across the enterprise.

2) Distribution management system (DMS) software mathematically models the electric distribution grid and predicts the impact of outages, transmission, generation, voltage/frequency variation, and more. It helps reduce capital investment by showing how to better utilize existing assets, by enabling peak shaving via demand response (DR), and by improving grid reliability.

3) Geographic information system (GIS) technology is specifically designed for the utility industry to model, design, and manage their critical infrastructure. By integrating utility data and geographical maps, GIS provides a graphical view of the infrastructure that supports cost reduction through simplified planning.

4) Outage management systems (OMSs) speed outage resolution so power is restored more rapidly and outage costs are contained.

5) Intelligent electronics devices (IEDs) are advanced, application-enabled devices installed in the field that process, compute, and transmit pertinent information to a higher level. IEDs can collect data from both the grid and consumers' facilities (behind the meter) and allow grid reconfiguration either locally or on command from the control center.

6) Wide-area measurement systems (WAMS) provide accurate, synchronized measurements from across large-scale power grids. WAMS consist of phasor measurement units (PMUs) that provide precise, time-stamped data, together with phasor data concentrators that aggregate the data and perform event recording.

7) Energy management systems (EMSs) at customer premises can control consumption, onsite generation and storage, and potentially electric vehicle charging. EMSs are in use today in large industrial and commercial facilities and will likely be broadly adopted with the rollout of Smart Grids.

In terms of market reforms any energy company that aims to be popular, requires modern IT technologies, which ensure it highly competitive and effective management of business processes. Implementation of enterprise informational platforms can quickly obtain the necessary data on the current affairs in the company, develop tactics and strategy of its development, manage personnel and predict future sectoral changes and prepare for them in time.

Relevance of the change in strategy of supply companies due to the new level of grid management, ensuring guaranteed efficiency and reliability of the distribution electric grid complex [6]. The key to the success of any energy company is its customer-oriented strategy. As any services must meet customer needs, market allows the client to choose. Preferences motives may be different, but the determining factor is the ratio between the electricity price and the risk level. Everyone chooses a risk level that may afford. An example of such balancing is demand management programs, Demand Side Management (DSM) that do not require significant investment

from the energy supply companies. DSM is traditionally seen as an instrument to reduce peak demand in electricity grid.

By reducing the overall load in grid, DSM can reduce the number of accidents by reducing the number of disconnections and increase system reliability [7].

DSM allows customers to make informed decisions regarding their energy consumption, helps the energy providers to reduce the peak load demand and reshape the load profile [8]. DSM is carried through demand task scheduling, usage of stored electric energy and real-time pricing [9].

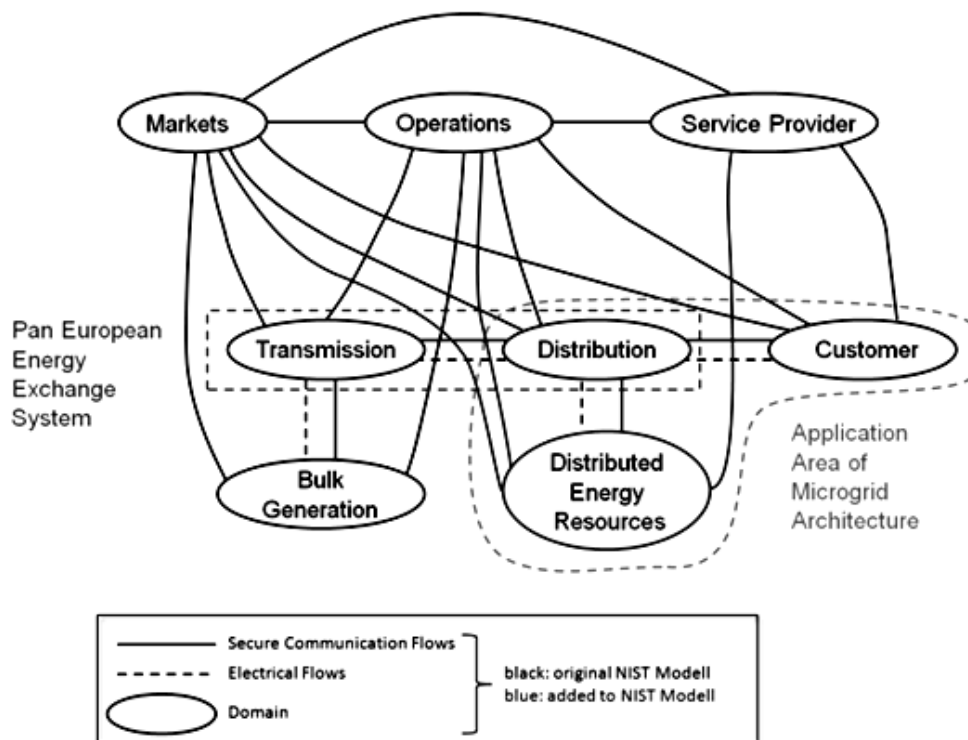


Fig. 2 European Union extension of the NIST Model [5]

DSM techniques increase the operational complexity of the power system, redistribute the load but do not reduce the total energy consumed by the appliances [10, 11]. In case of loading the system with its max capacity, the value of DSM is high. Otherwise, it is low in systems with spare capacity. For this reason, the generation capacity of electricity grid represents the main challenges for DSM [10, 12]. On the one hand, the lack of knowledge about demand response (DR) programs, the response fatigue caused by keeping track of frequently varying prices and the extensive payback time for recovering the installation costs of smart meters are considered as consumer-based barriers [13, 14].

On the other hand, the existence of substantial confusion about whose responsibility the promotion of DR programs is, the loss of revenue for firm due to the lowering peak usage in case the electricity is more expensive and the lack of measures for the recovery of initial investment in DR infrastructure are regarded as producer-based barriers [13, 15]. In some countries, it is difficult to establish a unified standard policy system due to the imbalance regional development of DSM [16]. In addition, are bound of energy use after high price signal can caused bigger peaks appearance in DSM [17].

As an important branch of DSM, DR (Fig. 2) can be viewed as a new development of DSM with power market and SG technology evolution. According to [18], DR refers to changes in electric use by demand-side resources from their normal consumption patterns in response to electricity price changes, or to incentive payments designed to induce lower electricity use at times of high wholesale market prices or when system reliability is threatened. Thus DR programs can be classified into incentive-based ones (DLC, IL, DSB, EDR and CASP) and price-based ones (TOU, RTP and CPP).

Specific classification of DRPs is shown in Fig. 3. In those listed in Fig. 3, DLC, IL, TOU and RTP are the most common DRPs, among which RTP is the most ideal form of DRP.

Numerous studies conducted in France and other countries have found that cost-effective demand management software make it possible to reduce energy consumption and peak demand by about 20% without centralized control [17].

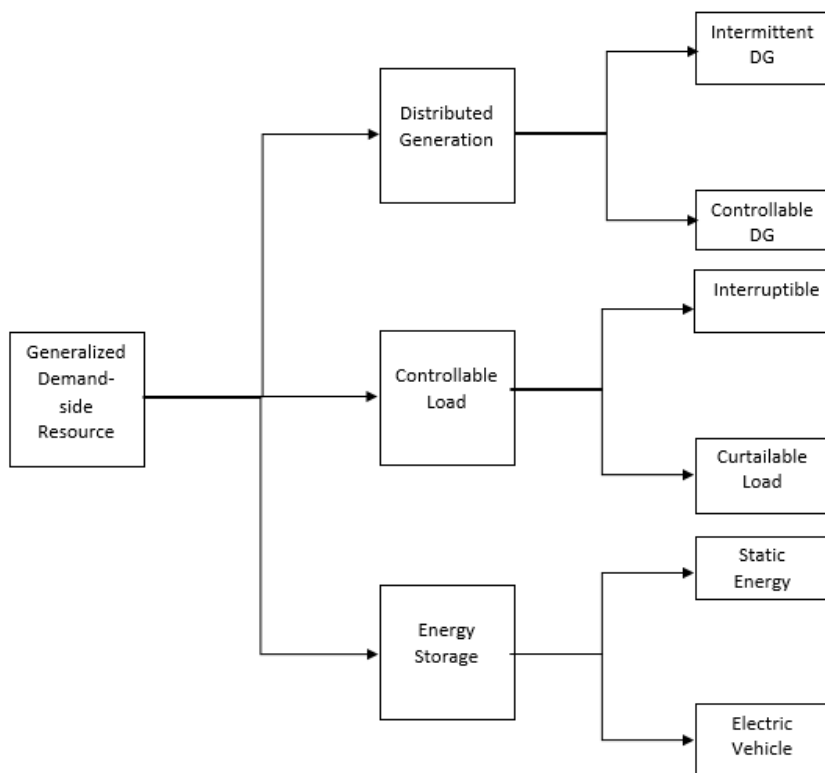


Fig. 3. Classification of DRPs

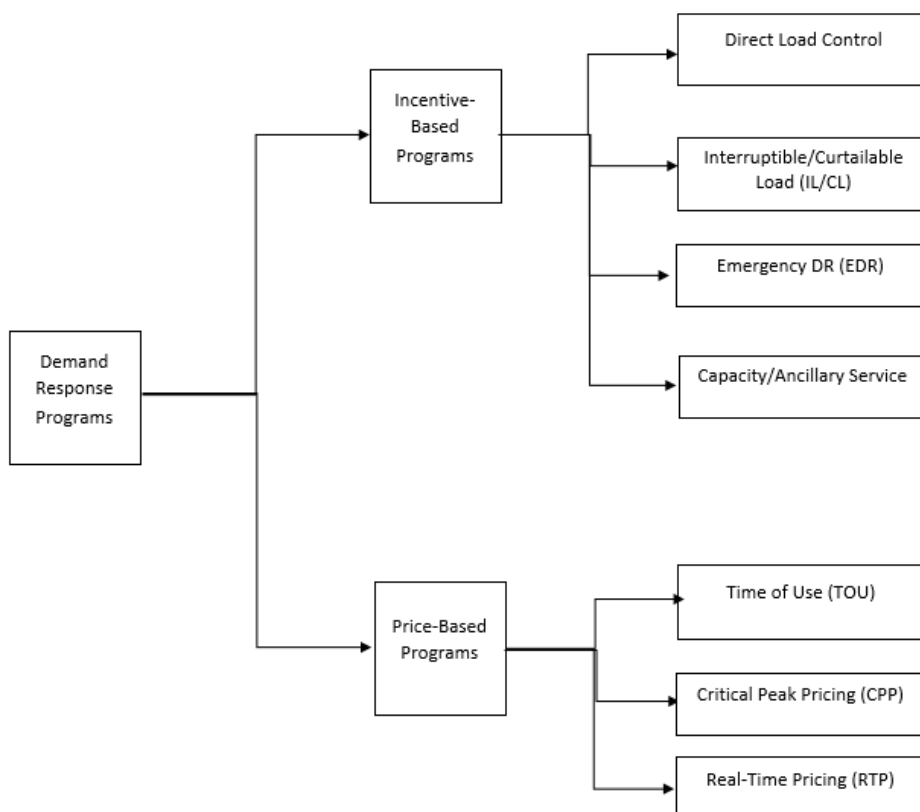


Fig. 4 Classification of DRPs

With DSM programs not only households, businesses and municipal structures receive benefit but also the general public, such as [19]:

- 1) reducing bills for electricity from consumers;

- 2) reducing the demand for construction of new facilities;
- 3) promote economic development;
- 4) the creation of long-term jobs that benefit the economy;
- 5) increase of competitiveness of local businesses;
- 6) reduced maintenance costs and replacement of equipment;
- 7) reducing air pollution locally;
- 8) the emission reductions affecting national and international environmental issues such as global warming;
- 9) strengthening national security by easing dependence on external energy sources;
- 10) increased comfort and a working space, which in turn can increase productivity;
- 11) promoting market reforms with long-term results.

Management in Smart Grid has to implement a number of DSM programs by providing various services according to the situation and contracts requirements, including cooperation EV-EMS, FEMS and HEMS, consumption forecasting and supply and energy savings information collection. Consideration of various energy management concepts types according to Smart Grid enabled services classification by DSM system level. In Table. 1 shows the level of system elements for which these services are intended.

Control storage equipment efficiently by distribution level energy management system (D-EMS) in addition to distribution management system (DMS) to utilize renewable energy.

Realize DSM by providing various services according to the usage situation and contract terms such as data cooperation with demand side (such as EV-EMS, FEMS and HEMS) and provision of supply and demand forecast and power saving information.

Table 1 – Levels of services integration

System lvl	System element	Services
Power system	Large-scale centralized power Renewable Energy Energy storage batteries	EMS – Energy Management System
Distribution system	Distribution system level energy management	DMS – Distribution Management System
		CEMS – Community Energy Management System
		D-EMS Distributed Energy Management System
		DSM – Demand Side Management
User	Region/Customers	HEMS – Home Energy Management System
		AMI – Advanced Metering Infrastructure
		FEMS/BEMS – Factory Energy Management System
		EV-EMS Electric Vehicle Energy Management System

Support minimum energy to keep up life even during an emergency. Introduce each function of CEMS and demand side according to the object function and scale step-by step and partially by autonomous decentralized system.

Controllability and responsiveness of highly distributed resources and assets within electric power systems. Renewable generation will make an increasingly important contribution to electric energy production into the future. Integration of these highly variable, widely distributed resources will call for new approaches to power system operation and control.

Likewise, new types of loads, such as plug-in electric vehicles and their associated vehicle-to-grid potential, will offer challenges and opportunities [20].

The EU's Smart Grids technology platform summarizes the benefits of Smart Grids as follows. They [4]:

- 1) better facilitate the connection and operation of generators of all sizes and technologies;
- 2) allow consumers to play a part in optimizing the operation of the system;
- 3) provide consumers with greater information and options for choice of supply;
- 4) significantly reduce the environmental impact of the whole electricity supply system;
- 5) maintain or even improve the existing high levels of system reliability, quality and security;
- 6) supply, maintain and improve the existing services efficiently and foster market integration.

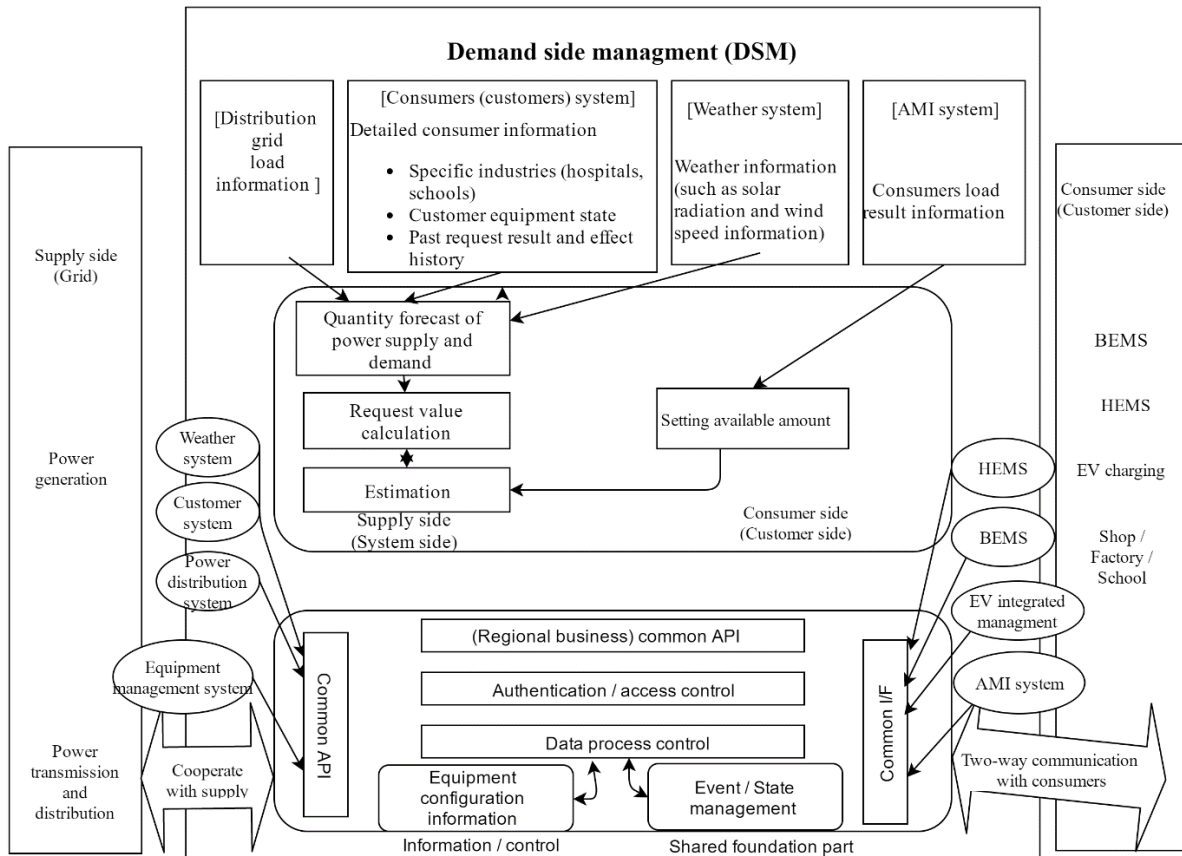


Fig. 5 Demand side management structure for region

One of the basic conditions of transforming a traditional grid to Smart Grid is the wide-spread use in electrical power grids of modern power-electronic installations (PI), in which there are installations of the type FACTS (Flexible AC Transmission System) and HVDC (High Voltage DC) [3–5], either M (Medium)VDC or L(Low)VDC, as well as a great many installations of the type CPS (Custom Power Supply) [6]. Widespread use of PI is recommended also in modernized traditional grid. For example, switchgear equipment used up to the present is in the majority of cases mechanical devices. Their speed of operation is satisfactory for the control of European power network (EPN) in given situations, but is inadequate in situations demanding reactions to unexpected changes in voltage and flow conditions. This negative feature of mechanical devices is particularly demonstrable in response to ever-increasing demands in the area of quality of electrical energy [7–9]. A wider application of PI in grid today would allow for a fuller exploitation of existing distribution and transmission resources, while maintaining the status so far, and even improving the safety of the power supply and energy efficiency.

The area of PI application in Smart Grid can be generally divided into:

- 1) electrical energy transmission system;
- 2) electrical energy distribution system.

The transmission system is composed basically of two complementary technologies for controlling the transmission of energy [5]:

- 1) with conversion to DC current – HVDC devices;
- 2) directly – FACTS devices.

An advantage of HVDC devices is the capability to transmit energy between systems of various frequencies. However, in the case of conventional HVDC, i.e., with the use of SCR thyristors, it is necessary to use large filters and there is no possibility of supplying power to end-users on the side from which the source is disconnected. This drawback does not occur when using modern devices, such as GTO thyristors or IGBT transistors [30]. Here, one should note that with HVDC devices the entire energy from one system flows into the other through converters. As a result of this the cost is high, even in single-station installations. While in FACTS devices, such as: SVC (Static Var Compensator) and STATCOM (Static Synchronous Compensator), TCSC (Thyristor Controlled Series Compensator), TSSC (Thyristor Switched Series Compensator) and SSSC (Static

Synchronous Series Compensator), SPS (Static Phase Shifter), supply voltage, as well as compensation for distortion, asymmetry and phase shift in load current.

The most frequent area of application of PI in wind installations is in generators [10,11]. In the beginning the most commonly applied device was the squirrel cage induction machine (IM) connected directly to an EPN, and power-electronics used solely in a simple connection-starting device. As a result, in such installations there occurs a transfer of the pulsation of the wind power to the power grid and, moreover, there is no means of direct control of the active and passive power. The significance of such control, desirable for the control of voltage and frequency in an EPN, increases along with the rise in power [10,12]. As a result of this, generators with squirrel cage induction machines connected directly to an EPN are sporadically applied to new installations of large power. Rarely installed too, on account of power losses and limited means of regulation, are generators with wound rotor induction machines (WRIM) and power-electronic adjustable resistance in the rotor circuit [13].

Popular turbines uses are:

1) double feed wound rotor induction machines (DFIM) with an AC–DC/DC–AC converter in the rotor circuit,

2) synchronous machines (SM) with an AC–DC/DC–AC converter in the main line and an AC–DC/DC–AC converter in the exciter circuit,

3) permanent magnet synchronous machine (PMSM) and AC–DC/DC–AC converter in main line. There are also generators with squirrel cage induction machines (IM) but with self-excitation and an AC–DC/DC–AC converter in the main line (designed for full power) [13–15]. All these solutions, although more costly than the ones applied at the beginning of the development of wind power in Poland, are characterized by much better regulatory qualities, among which are: the capability of adjusting active and passive power; the capability of operating at varying shaft rotation speeds, rapid reaction to change of wind conditions (0.5–1 ms); avoiding influence and resistance to deteriorating quality of EE in an EPN; and the capability to work in islanding mode [10,12]. These aspects support the implementation of the vector control method applied originally to the motor drives [16–18], as well as the MPPT (Maximum Power Point Tracking) algorithms enabling full use of the available wind energy [14]. Multipolar SM and PMSM permit through this the elimination of a mechanical transmission system, which raises the reliability of the turbine. Heavy-duty power-electronic converters are equally employed on wind farms, taking care of at least a few connected turbines situated close by. The configuration of farms is equally dependent on the kind of generator as well as the type of converter used and the topology of the EPN [10–12].

Energy storage, in the form of batteries, is widely used in backup power supplies. In such devices flywheels exploit greater power [18], amassing kinetic energy.

Quite small fast-rotating kinetic storage resources are connected to an internal DC bus through an AC–DC converter, and only then through a DC–AC converter to an AC line. It should be emphasized that the greatest difficulty in constructing a modern kinetic storage is tied not to power-electronics, but to high-speed flywheel rotation technology (60,000–90,000 RPM). Batteries, flywheels and other storage, such as: water containers, hydrogen systems, heat energy storage, supercapacitors, superconductive storage or compressed air tanks are also used in distributed sources [2,20]. The goal is the improvement of the availability of these sources, i.e., the amelioration, or even elimination of the influence of external conditions (weather) on the power temporarily supplied to the EPN. For the connection of such resources to the grid various PI are employed

The degree of compensation depends on the size and dynamic qualities of the energy storage as well as the control algorithm used [21]. This in turn has an influence on the power of the converter, the type of which is chosen with respect to bidirectional energy flow and kind of energy storage. For example, for batteries it will be an AC–DC converter, and for a flywheel with an AC motor, an AC–AC converter. The power of the converter depends, too, on its additional functions, e.g., its passive power compensation efficiency. In the case of the exploitation of energy storage and low-voltage sources, the configuration of the source and the means of matching the voltage levels have a decisive influence on the qualities of the chosen solution. Typical examples here would be a power supply with a photovoltaic cell (PV) and a fuel cell (FC) [22–24], in spite of the fact that such cells, in contrast to energy storage, do not have the capability for bidirectional energy flow. PV systems are differentiated by three basic connection configurations.

The most demanding in respect to the PI, is a configuration with a modestly sized DC–AC converter integrated into the PV module. The converter should be characterized by: very high efficiency and minimal size, increased voltage cell and sinusoidal output voltage as well as the ability to work with parallel connections. These requirements enable the connection to various PI with impulse modulation [22,23,25–29], realized on the basis of currently available power-electronic components [30–33]. In conventionally configured PV systems, generally of greater power, an internal DC bus is frequently used. A DC bus also permits easier galvanic isolation of the PV cell with the help of high frequency transformers and in addition, may be an integrated part of

the internal direct current microgrid [34–37]. In a similar way to the PV system, with the use of a geminate PI and DC bus, systems with FC elements are likewise configured [24,38]. In this case, taking into consideration the soft output characteristics and low voltage of individual cells, the connection of fuel cells in the stack is of decisive significance to the required output voltage and load capabilities.

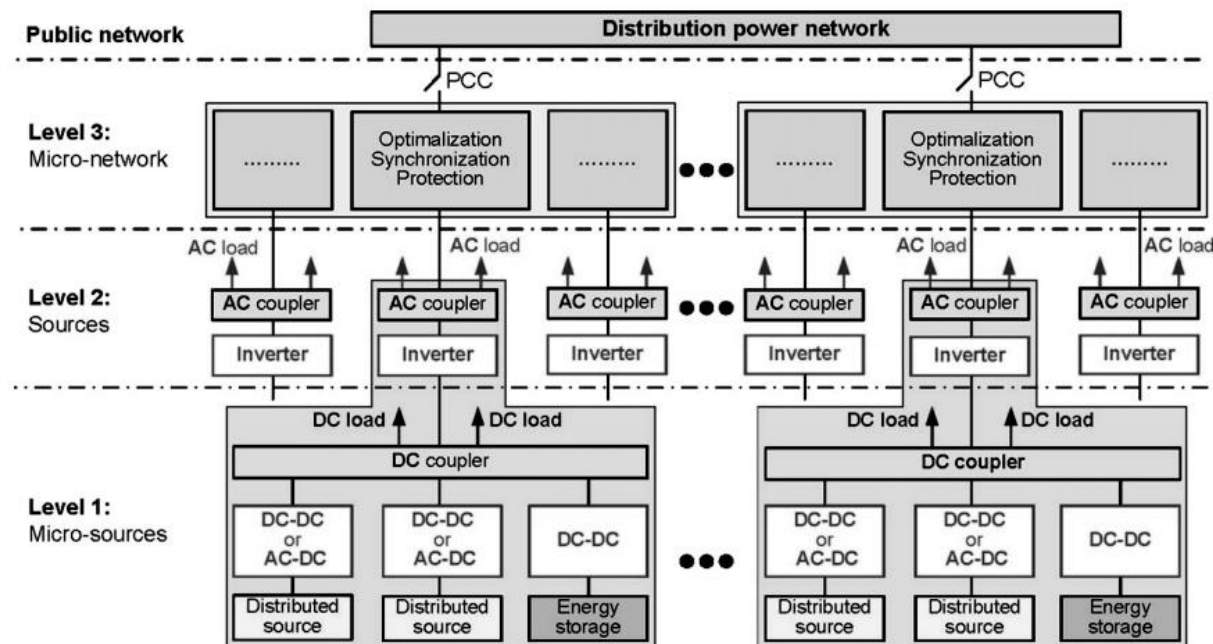


Fig. 6 Public network level structure

Because grid transformers increase in a significant way the size of coupling installations, there has been quite recently development of new coupling devices with galvanic separation, aided by DC–DC converters with a high-frequency transformer [50]. The idea of such devices, known also as integrated distribution transformers [51]. Each phase consists of M identical AC–DC–AC–Tr–AC–DC–AC converter cells, series connected on the side of the higher voltage, and in parallel, on the side of the lower. Possible are other cell connections, by which it is always necessary to ensure equal loading and equal voltages. It is estimated that high power and medium voltage integrated distribution transformers, ensuring the same functional capabilities as typical “back-to-back” couplers, will be about one third the size of conventional transformers. Modern PIs serving to couple AC and DC grids as well as to match distributed sources and energy storage already today enable the building of local micro-grids as a part of an IEPN [2,34–37,52]. For example, if we consider the micro-grid structure, we gain a highly flexible integration of distributed sources and the capability of “plug-and-play” type functions at every level, without the necessity of implementing non-standard solutions. Here it is understood that the most effective working conditions of the power grid (with a micro grid in it) occur in the case of steady loads with a power coefficient of 1 [8]. With the aim of improving the coefficient $1 < 1$, on the output or directly on the input (load), various compensatory-filter devices are installed. Among the implemented solutions [8,53], the most universal are active power filters (APF) [8,9,19,41,42,53,54]. APF devices, depending on the control algorithm, enable a connection that the UPQC device may also function as a DVR, but such a solution is unnecessary and uneconomical. A smaller energy storage is likewise necessary in inter-line DVR devices, which results from the possibility of exchanging active power between power lines.

As a result of research:

Presented main early stages in Smart Grid development. Actualized the DSM evolution in market reform period. Given specific classification of the DRPs where compeers the most common programs which RTP is most ideal form of DRP. Concluded DSM benefits for households and ore structures. Conducted DSM services according to system level organization. Demand side management structure for regional energy management system. EU's Smart Grids technology platform benefits overviewed. Analyzed the application of PI in Smart Grid. Important is the fact that such PI can usually fulfill many different functions connected with conditioning of the EE. This all means that power electronic technology oriented towards EPN leads significantly over traditional technologies, supported by passive LC elements and mechanical switch-coupling devices.

References

- [1] UK Department of Energy and Climate Change. Smarter grids: the opportunity, December [Online]. Available: ([http://www.techuk-e.net/Portals/0/Cache/\(DECC\)SmartGrid_web.pdf](http://www.techuk-e.net/Portals/0/Cache/(DECC)SmartGrid_web.pdf)); 2009.
- [2] US Department of Energy. Smart Grid system report, July [Online]. Available: (http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/SGSR_Annex_A-B_090707_lowres.pdf); 2009.
- [3] Smart grids European Technology Platform. Strategic deployment document for Europe's electricity grids of the future, April [Online]. Available: http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids_SDD_FINAL_APRIL2010.pdf; 2010.
- [4] Eduardo F. Camacho, Tariq Samad, Mario Garcia-Sanz, and Ian Hiskens Control for Renewable Energy and Smart grids
- [5] [CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group Smart Grid Reference Architecture November 2012.
- [6] Denysiuk S.P. Opryshko V.P Assessment of energy sector companies innovation management effectiveness promising problems of economics and management Montreal, Canada, 2015
- [7] International Scientific Conference: Energy savings, energy efficiency and energy audit in Ukraine. 21st October. Modern problems of energy efficiency in Ukraine and building of energy management system.
- [8] Logenthiran T, Srinivasan D, Shun T Z. Demand side management in Smart Grid using heuristic optimisation. *IEEE Trans Smart Grid* 2012; 3 (3) :1244–52.
- [9] Koutsopoulos I, Tassiulas L. Challenges in demand load controlfortheSmart Grid. *IEEE Netw* 2011; 25 (25): 16–21.
- [10] Strbac G. Demand side management: benefits and challenges. *Energy Policy* 2008;36(12):4419–26.
- [11] Khodayar M E,Wu H. Demand forecasting in the Smart Grid paradigm: features and challenges. *Electr J* 2015; 28(6): 51–62.
- [12] Saad W, Han Z, Poor H V, Basar T. Game-theoretic methods for the Smart Grid: an overview of microgrid systems, demand-side management, and Smart Grid communications. *IEEE Signal Process Mag*2012; 29(5):86–105.
- [13] Kim J H, Shcherbakova A. Common failures of demand response. *Energy* 2011;36(2):873–80.
- [14] Spees K, Lave L B. Demand response and electricity market efficiency. *Electr J* 2007; 20(3): 69–85.
- [15] Wang J, Bloyd C N, Hu Z, Tan Z. Demand response in China. *Energy* 2010; 35 (4):1592–7.
- [16] Ming Z, Li S, Yanying H. Status, challenges and counter measures of demand- side management development in China. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 47: 284–94.
- [17] Gelazanskas L, Gamage K A A. Demand side management in Smart Grid: a review and proposals for future direction. *Sustain Cities Soc*2014; 11:22–30.
- [18] Ghicajanu M. Programs of energy efficiency - Demand Side Management [Text] / M. Ghicajanu. – [International conference on economics, law and management]. - 2008.
- [19] Barbato A. A Power Scheduling Game for Reducing the Peak Demand of Residential Users Online Conference on Green Communications (GreenCom) [Text] / A. Barbato. – IEEE, 2013.
- [20] Marco Liserre, Thilo Sauter, and John Y. Hung, “Future Energy Systems”, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, March 2010
- [21] Lubos’ny Z. *Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym*. Warszawa: Wyd. Naukowo-Techniczne; 2006.
- [22] Blaabjerg F, Chen Z. *Power electronics for modern wind turbines*. Morgan & Claypool; 2006.
- [23] Heier S, Waddington R. *Grid integration of wind energy conversion systems*. Wiley Blackwellm; 2006.
- [24] Simoes MG. *Renewable energy systems. Design and analysis with induction generators*. CRC Press; 2004.
- [25] Boldea I. *Variable speed generators*. Taylor & Francis Group; 2006.
- [26] Gientkowski Z. *Autonomiczne prądnicie indukcyjne o wzbudzeniu kondensatorowym i przekształtnikowym*. Bydgoszcz: Wydawnictwa Uczelniane ATR w Bydgoszczy; 1997.
- [27] Bose BK. *Power electronics and motor drives: advances and trends*. Academic Press; 2006.
- [28] Quang NP. *Vector control of three-phase AC machines: system development in the practice*. Springer; 2008.
- [29] Kazimierkowski M, Krishnan R, Blaabjerg F. *Control in power electronics*. Academic Press; 2002.
- [30] Emadi A, Nasiri A, Bekiarov SB. *Uninterruptible power supplies and active filters*. CRC Press; 2005.
- [20] Guerrero MA, Supercapacitors:. *Alternative energy storage systems*. *Przegląd Elektrotechniczny* 2009;85(10):188–95.
- [31] Sourkounis C, Ni B, Richter F. Comparison of energy storage management methods to smooth power fluctuations of wind parks. *Przegląd Elektrotechniczny* 2009;85(10):196–200.

- [32] Blaabjerg F, Chen Z, Kjaer SB. Power electronics as efficiency interface in dispersed power generation systems. IEEE Trans Power Electron 2004;19(5):1184–94.
- [33] Dunlop JP. Photovoltaic systems. American Technical Publication; 2009.
- [34] Enjeti P, Palma L, Todorocic MH. Power conditioning systems for fuel cell applications. John Wiley & Sons; 2009.
- [35] Lai JS. Power conditioning circuit topologies. IEEE Ind Electron Mag 2009;3(2):24–34.
- [36] Luo FL. Essential DC/DC converters. CRC Press; 2006.
- [37] Calais M, Myrzik J, Spooner T, Agelidis VG. Inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems – an overview. Conf Proc PESC 2002;4(23– 27):1995–2000.
- [38] Huang Y, Shen M, Peng FZ, Wang J. Z-Source inverter for residential photovoltaic systems. IEEE Trans Power Electron 2006;21(6):176–82.
- [39] Strzelecki R, Bury W, Adamowicz M, Strzelecka N. New alternative passive grids to improve the range output voltage regulation of the PWM inverters. Conf Proc APEC 2009;857–63.
- [40] Januszewski S, S'wiątek H, Zymmer K. Przyrządy energoelektroniczne i ich zastosowania. Warszawa: Wyd. Książkowe Instytutu Elektrotechniki; 2008.
- [41] Kazimierczuk MK. High frequency magnetic components. John Wiley & Sons; 2009.
- [42] Emadi A. Integrated power electronic converters and digital control. CRC Press; 2009.
- [43] Liu W, Dirker J, van Wyk JD. Power density improvement in integrated electromagnetic passive modules with embedded heat extractors. IEEE Trans Power Electron 2008;23(6):3142–50.
- [44] Ito Y, Zhongqing Y, Akagi H. DC microgrid based distribution power generation system. Conf Proc IPESC 2004;3:1740–5.
- [45] Lasseter R, Paigi P. Microgrid: a conceptual solution. Conf Proc PESC 2004;6:4285–90.
- [46] Ise T. Advantages and circuit configuration of a DC Microgrid. In: Proc. of the symposium on microgrids; 2006. [37] Kakigano H. In: Fundamental characteristics of DC micro-grid for residential houses with cogeneration system in each house; 2008.p. 1–8.
- [46] T.Samad and A.M. Annaswamy, “The Impact of control technology- Control for renewable energy and Smart Grid” www.ieeecss.org. (eds), 2011.

УДК 621.31

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., **В.П. Опришко**, асп.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Ришард Стшелецькі, д-р техн. наук, проф.
Електротехнічний інститут, Варшава

РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМ З КЕРУВАННЯ ПОПИТУ І СУЧАСНИХ СИСТЕМ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Сучасні тенденції в мережах електропостачання спрямовані на інтелектуалізацію існуючих мереж енергопостачання та створення систем Smart Grid для забезпечення високого рівня надійності та якості електроенергії. В рамках програм з керування попитом, концепція Smart Grid відіграє важливу роль в рішенні технічних і технологічних проблем в процесі реалізації даної концепції. Мережа електропостачання повинна реалізувати низку програм керування попитом шляхом надання різних послуг в залежності від ситуації, вимог контрактів, прогнозування споживання / попиту і наявної інформації про рівень економії енергії. Це вимагає детального аналізу існуючих і розробки нових програм. Згідно концепції Smart Grid все більшого використання в розподільних мережах отримують сучасні устаткування силової електроніки. Дослідження існуючих моделей і конструкцій забезпечують базу для удосконалення існуючих конфігурацій та розуміння сучасних тенденцій в галузі.

Ключові слова: Smart Grid; керування попитом; електричні мережі; силова електроніка.

Надійшла 15.12.2016

Received 15.12.2016

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

УДК 621.311

V. Stepashko, Dr. Sc. Sciences, prof., A.Trachuk, Ph.D. student
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

MODELLING OF COAL CONSUMPTION IN UKRAINE BY USING THE GROUP METHOD OF DATA HANDLIN

This paper deals with issues of coal consumption in Ukraine. The dynamics of consumption of coal is analysed and proposed guidelines for the efficient production, consumption and use of coal in Ukraine. Constructed and developed predictive models of coal consumption in Ukraine through the use of modern software and using the group method of data handling, which allowed building adequate predictive models of coal consumption in the system of Ukraine's energy balance. Researched and forecasted scenarios of coal consumption in the Ukraine.

Keywords: energy conservation, energy efficiency, energy balance, energy statistics.

Introduction

The problem of efficient use of energy resources is critical for sustainable economic development against the backdrop of energy saving national economy depends on energy imports, on the one hand, and rising prices for these resources. The basic foundation of the formation energy system of Ukraine is to build forecasting scenarios for different types of energy and different criteria for effective use of energy resources. Solving this problem is not only with ensuring energy security, but also with the level of development of regions of Ukraine and ensuring quality of life.

Forecasting coal consumption in Ukraine today is the extremely important issue of strategic importance since conducted through analysis and building predictive models will be possible to develop guidelines for the efficient production and consumption of coal throughout Ukraine as a whole.

Formulation of the problem.

Construction and development of predictive models of coal consumption in Ukraine using the group method of data handling and by using modern software.

Analysis of recent research and publications.

In [3] shows the comparison as previously proposed and those developed methods for short-term forecasting of coal consumption, regression analysis, neural networks and fuzzy neural networks. Intensive development of software products aimed at forecasting coal consumption [4], theory and practice modeling, forecasting processes in new ways raises the question of developing a new multi multivariate predictive model that takes into account more parameters and factors unlike the existing ones.

We consider the system of forecasting coal consumption in Ukraine, built on the basis of group method of data handling.

The aim of the study.

The purpose of research is to develop methodical positions on prediction of coal consumption in Ukraine using Multi method of data handling.

Material and research results

Changes in energy prices immediately reflected in all industries, and the rest - the price of the final product. The level of energy has a decisive impact on the economy of the state, resolving social problems and living standards of citizens. So instead of quantitative energy objectives underlying Ukraine's economy in recent decades, energy has to go to power sustainable economic development, as they are focused now in developed countries. The said research leads scientists to balance the energy balance of Ukraine, which determined the relevance of the work. In the traditional understanding of energy balance is the ratio between the extraction (production) and consumption of different types of energy resources.

At the heart of the development of fuel and energy balance is a set of strategic statements of economic development, the definition of forecast volumes of energy consumption, based on adopted policies to increase energy efficiency, the development of fuel and energy complex and evaluating opportunities extraction and

production of fuel and energy, as well as the formation of areas of import- export policy and determine the volume of purchase and sale of energy.

One of the mathematical methods of forecasting is group method of data handling, which allows you to build adequate predictive models of energy consumption in the system of Ukraine's energy balance.

With the help of a group method of data handling and by using modern software were built predictive models of coal consumption in the system of Ukraine's energy balance:

1. Forecasting System Model 2 lags:

$$Y(1)=0,37837*Y1(-1)+ 0,576431*Y1(-2)+0,13327*Y2(-2)$$

$$Y(2)=0,135461*Y2(-1)+1,52816*Y2(-2)+11,8371*Y3(-1)-18,2873*Y3(-2)+0,590244*Y4(-1) \quad (1)$$

$$Y(3)=1,41627*Y3(-1)-0,849706*Y3(-2)+0,155252*Y4(-1)$$

$$Y(4)=-0,00552574*Y1(-1)+0,00517918*Y1(-2)+1,35122*Y4(-1)-0,356013*Y4(-2)$$

Initial data for forecasting coal consumption are shown in Table 1

Table 1 - Initial data of coal consumption

Year	Coal production, total, mln t	Consumption of coal, total, mln t	Imports of coal, total, mln t	Ash content of coal shipped, %
	Y1	Y2	Y3	Y4
2006	79,5	61,8	7,9	24,8
2007	81,8	63,1	8,1	24,4
2008	84,3	68,8	8,5	24,0
2009	88,5	72,4	8,9	23,8
2010	90,9	78,9	9,2	23,6
2011	94,7	81,4	9,0	23,4
2012	99,1	83,7	8,6	23,1
2013	103,9	85,1	8,1	22,8
2014	107,5	92,2	7,4	22,5
2015	110,3	98,7	7,0	22,3

1. Forecasting System Model 2 logs:

$$Y(1)=0,37837*Y1(-1)+ 0,576431*Y1(-2)+0,13327*Y2(-2)$$

$$Y(2)=0,135461*Y2(-1)+1,52816*Y2(-2)+11,8371*Y3(-1)-18,2873*Y3(-2)+0,590244*Y4(-1) \quad (2)$$

$$Y(3)=1,41627*Y3(-1)-0,849706*Y3(-2)+0,155252*Y4(-1)$$

$$Y(4)=-0,00552574*Y1(-1)+0,00517918*Y1(-2)+1,35122*Y4(-1)-0,356013*Y4(-2)$$

Results of approximation and forecast for the next 5 years

The first indicator Y1 - Coal production, everything million tons given in Table 2

Table 2 - Coal production, total, mln t

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Initial data	79,5	81,8	84,3	88,5	90,9	94,7	99,1	103,9
Forecast			85,01	87,73	91,37	94,87	99,08	102,89

Continuation of Table 2

Year	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Initial data	107,5	110,3					
Forecast	107,299	111,26	116,4	121,4	128,6	136,3	147,4

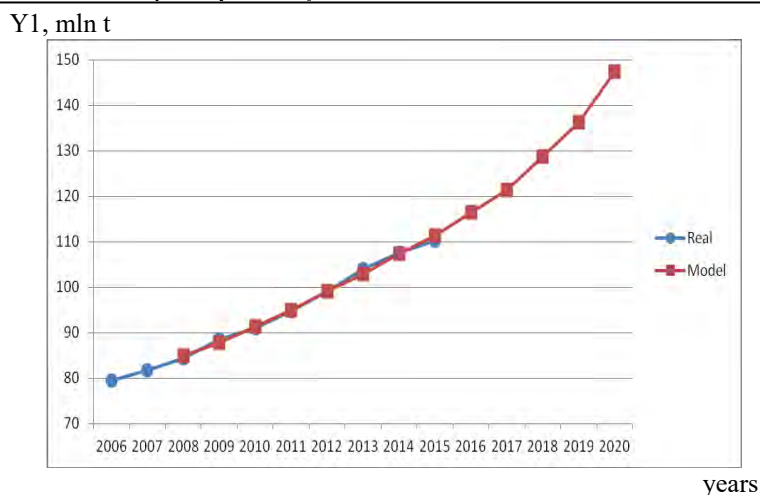


Fig. 1 Predictive model of coal production, mln t, built by group method of data handling

The second indicator Y2 - coal consumption, mln t is given in Table. 3

Table 3 - Consumption of coal, total, mln t

Year	2006	2007	2008		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Initial data	61,8	63,1	68,8		72,4	78,9	81,4	83,7	85,1	92,2
Forecast t			68,8		73,02	78,9	80,37	84,48	85,202	93,14

Continuation of Table 3

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Initial data	98,7					
Forecast	99,46	117,2	132,6	162,8	189,1	236,2

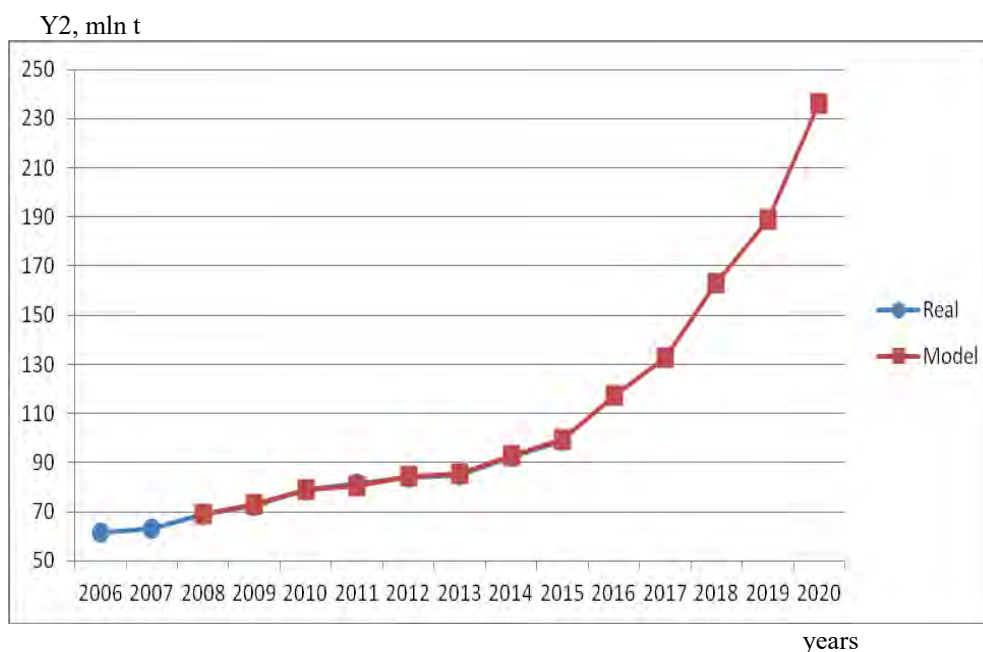


Fig. 2 Predictive model of coal consumption, mln t, built by group method of data handling

The third indicator Y3 – Imports of coal , total, mln t is given in Table. 4

Table 4 - Imports of coal, total, mln t

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Initial data	7,9	8,1	8,5	8,9	9,2	9	8,6	8,1	7,4
Forecast			8,547	8,96	9,13	8,98	8,58	8,099	7,725

Continuation of Table 4

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Initial data	7					
Forecast	7,56	7,606	7,77	7,92	7,96	7,83

The fourth indicator Y4 - Ash content of coal shipped,% is given in Table 5

Table 5 - Ash content of coal shipped,%

Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Initial data	24,8	24,4	24	23,8	23,6	23,4	23,1	22,8	22,5
Forecast			24,10	23,83	23,58	23,32	23,07	22,814	22,557

Continuation of Table 5

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Initial data	22,3					
Forecast	22,3	22,04	21,78	21,5	21,2	20,9

Conclusions. The basic method of building predictive models for coal consumption has been selected the group method of data handling, because through this unique method was possible to build a multidimensional multifactor forecasting model of coal consumption in the system of energy balance in Ukraine, which will take into account all important energy data for the coal sector in the complex. Using the group method of data handling to build predictive scenarios of coal sector made it possible to see promising options for the future development of the sector of coal industry of Ukraine for the next 5 years and made it possible to see clearly at that scenario can develop the coal industry of Ukraine were forecasted important key indicators.

Through analysis of the dynamics of coal consumption in Ukraine, and such important indicators as coal production, consumption, imports, ash coal shipped - were built predictive models in coal consumption using the group method of data handling, on the above indicators and obtained the following results:

- forecasted the growth of coal production from 79,5 mln t in 2006 to 147,4 mln t in 2020.
- forecasted the growth of coal consumption of 61,8 mln t in 2006 to 236,2 million tons in 2020.
- forecasted the decreasing of the imports of coal from 7, 9 mln t in 2006 to 7,83 mln t in 2020.
- forecasted the decreasing of ash coal shipped from 24,8% in 2005 to 20,9% in 2020.

References

1. Autonomiv A.B. World Energy: The state scale, perspective, sustainability, environmental issues, price dynamics of energy resources // Power Station. - 2013.-№5.-55-64 p.
2. Ivahnenko A.G. Adoption decisions based on self-organization/A.G. Yvahnenko, Y.P. Zaichenko, V.D. Dimitrov. - M., "Sov. Radio ", 1976. – 280 p.
3. Volkov A.M. Energy conservation, efficiency and economy of fuel and energy complex of Ukraine in general // Energy policy / Volkov A.M., B.E. Popov, Protsenko O.D., Potryasov S.A. – 2009 - 1.- 31-34 p.
4. Bashmakov I.A. Regional policy to increase energy-efficiency effect from problems to solutions. - M. : TSENEF, 2006 – 192 p.

УДК 621.311

В.С. Степашко, д-р техн. наук, проф.,
А.Р. Трачук, асп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ УГЛЯ В УКРАИНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ

В данной работе рассмотрены проблемные вопросы потребления угля по Украине. Проанализирована динамика потребления угля, и предложены методические рекомендации по эффективной добыче, потреблению и использованию угля по всей Украине в целом. Построены и разработаны прогнозные модели потребления угля в Украине с использованием современного программного обеспечения и путем использования метода группового учета аргументов, который позволил построить адекватные прогнозные модели потребления энергоресурсов в системе энергетического баланса Украины. Исследованы и спрогнозированы сценарии потребления угля в целом по Украине.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, энергобаланс, энергетическая статистика.

УДК 621.311

В.С. Степашко, д-р. техн. наук, проф.
А.Р. Трачук, асп.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ СПОЖИВАННЯ ВУГІЛЛЯ В УКРАЇНІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ

У даній роботі розглянуто проблемні питання споживання вугілля по Україні. Проаналізовано динаміку споживання та запропоновано методичні рекомендації щодо ефективного видобування, споживання та використання вугілля по всій Україні в цілому. Побудовано та розроблено прогнозні моделі споживання вугілля в Україні з використанням сучасного програмного забезпечення та методу групового урахування аргументів, який дозволив побудувати адекватні прогнозні моделі споживання енергоресурсів у системі енергетичного балансу України. Досліджено та спрогнозовано сценарії споживання вугілля загалом по Україні.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, енергобаланс, енергетична статистика.

Надійшла 22.12.2016

Received 22.12.2016

ЛІБЕРАЛІЗОВАНІ РИНКИ ЕНЕРГІЇ LIBERALIZED ENERGY MARKET

УДК 621.311.16

М.Т. Стрелков, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Метою статті є проведення структурного аналізу й побудова статичної структурної моделі системи ринку електроенергії. Оскільки складовими, відповідальними за побудову системи ринку електроенергії, виступають технологічна й комерційна підсистеми, їх структурні моделі представлено у вигляді орієнтованих графів відповідно до етапів реформування електроенергетики й запроваджуваних моделей товарного ринку електроенергії. Структурну модель технологічної підсистеми побудовано на технічній і виробничій мовах у вигляді плоских графів об'єктної і суб'єктної структурних моделей. Структурну модель комерційної підсистеми побудовано на торговій і фінансовій мовах у вигляді плоских графів для неконкурентних моделей і неплоских графів для конкурентних моделей товарного ринку електроенергії. Показано, що побудовані структурні моделі технологічної і комерційної підсистем можна об'єднувати, створюючи тим самим мультиграфи структурної моделі системи ринку електроенергії.

Ключові слова: електроенергетика, ринок електроенергії, система ринку, структура системи, модель структури, статична модель.

Вступ. Внутрішній устрій системи ринку електричної енергії являє собою єдність її складу, структури й організації. Склад системи ринку електроенергії [1], як сукупність всіх її елементів, – необхідна, але не достатня характеристика цілісної системи, оскільки саме тип зв'язків між її елементами визначає поведінку системи. Так елементи системи ринку електричної енергії, маючи просторову, часову і цільову організацію, певним чином пов'язуються та взаємодіють між собою. У цьому випадку структура системи ринку електроенергії, як сукупність стійких міжелементних зв'язків, забезпечує цілісність і тотожність системи, зберігаючи її основні властивості за різних внутрішніх і зовнішніх перетворень. У той же час, система ринку електричної енергії є багатофункціональною, з багатьма процесами, що робить її багатомірною, з існуючою множинністю структури.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є проведення структурного аналізу системи ринку електроенергії як сукупності суттєвих зв'язків між її елементами. Завдання дослідження полягає в побудові статичної структурної моделі системи ринку електричної енергії як подальший розвиток статичної моделі її складу. У цьому контексті пропонується структурна модель повинна враховувати багатомірність системи ринку й відображати множинність її структури, за яких інваріантність виступає визначальним моментом її побудови. Оскільки відповідальними складовими побудови систему ринку електроенергії є технологічна й комерційна підсистеми [1], їх структурні моделі слід представити у вигляді орієнтованих графів відповідно запроваджуваним на етапах реформування електроенергетики (реструктуризація, демонополізація, лібералізація) моделям товарного ринку електроенергії (оптово-роздрібною монополією, оптової монополією, оптової конкуренції, роздрібною конкуренції). Також слід виявити відповідність між топологією й елементами графів обох підсистем з метою їх подальшого об'єднання як мультиграфів структурної моделі системи ринку електричної енергії.

Структурна модель технологічної підсистеми ринку електричної енергії. Технологічна підсистема об'єднує різні елементи своїх підсистем в єдине ціле задля виробництва електроенергії, надання пов'язаних з цим послуг та її споживання, підтримуючи тим самим функції виробництва і споживання у циклі відтворення в системі ринку електричної енергії. Оскільки технологічна підсистема, як елемент системи другого порядку, є виробничо-технічною системою, до її конфігуратора доцільно включити дві мови, які вже покладено у визначення підсистеми та які умовно назовемо «технічною» і «виробничою». У той же час, обидві мови є мовами заміниками, що потребує побудови двох, відповідно до обраної мови, взаємопов'язаних структурних моделей. Але незалежно від обраної мови, сукупність нерозривних у часі процесів електропостачання і споживання електроенергії повинна інтегруватися у загальні поняття, за якими визначаються наведені в таблиці елементи технологічної підсистеми ринку електроенергії та їх відповідність системоутворюючим ринкам [1-2].

Таблиця 1 – Декомпозиція технологічної підсистеми та відповідність її елементів утворюючим систему ринкам (в дужках)

Склад технологічної підсистеми другого порядку		
Підсистема генерування (Товарний ринок електричної енергії)	Підсистема транспортування (Ринок послуг передавання і розподілення електроенергії)	Підсистема споживання (Товарний ринок електричної енергії)
Підсистема диспетчеризації (Ринок системних допоміжних технологічних послуг)		

На технічній мові технологічну підсистему можна визначити як об'єктну систему, в структурі якої переважають внутрісистемні зв'язки у формі фізичної взаємодії, які не змінюються ні у просторі, ні у часі, але технічно підпорядковані людиною у придатну, корисну для неї форму використання. Оскільки технічною основою технологічної підсистеми виступає електроенергетична система, структурна модель технологічної підсистеми повинна враховувати мережеві зв'язки між її елементами. Останнє використано при побудові на рис.1 об'єктної структурної моделі технологічної підсистеми ринку електроенергії у вигляді плоского орієнтованого графа. Вершини графа для зручності представлено прямокутниками, оскільки кожна з його вершин (об'єкт системи) має свою назву, яку скорочено позначено в прямокутнику. Крапки, поставлені між вершинами графа, показують, що існує певна множина подібних однойменних вершин і гілок. За такою моделлю елементами підсистеми генерування (вершини графа) будуть різні за технологіями виробництва електрогенеруючі установки (ЕГУ), приєднані до передавальної електричної мережі високої напруги (ПЕМ-ВН), яка разом з приєднаними до неї і територіально розмежованими розподільчими електричними мережами низької напруги (РЕМ-НН) утворюють підсистему транспортування (вузли графа). Елементами підсистеми споживання (вершини графа) будуть електричні приймачі (ЕП), кожен з яких приєднується до своєї місцевої РЕМ-НН у складі підсистеми транспортування. Елементи підсистеми диспетчеризації мають прямий або опосередкований зв'язок з елементами всіх підсистем. Цей зв'язок, маючи іншу форму, але не природу взаємодії, на графі не відображається, оскільки спрямовані гілки графа показують напрям фізичних перетоків електроенергії.

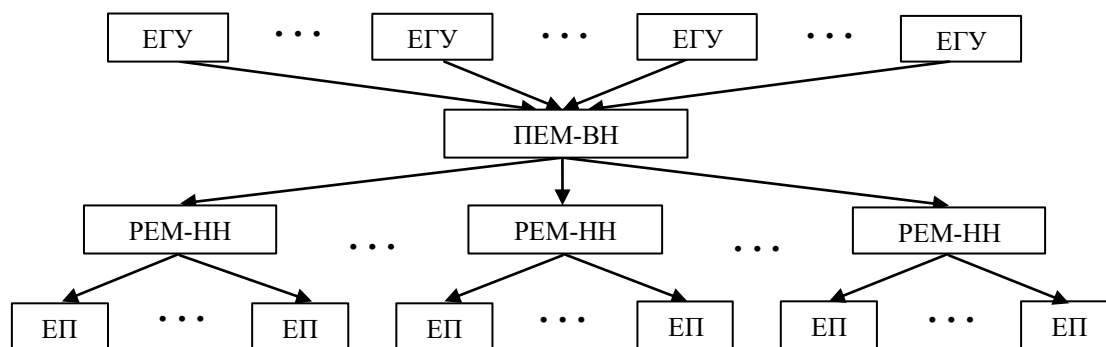


Рисунок 1 – Об'єктна модель структури технологічної підсистеми ринку електроенергії

На виробничій мові технологічну підсистему можна визначити як суб'єктну систему, в структурі якої переважають системні зв'язки у формі внутрішньогалузевої взаємодії, створені людиною задля господарського відтворення виробничого процесу електропостачання і споживання електроенергії. Оскільки виробничою основою технологічної підсистеми виступає електроенергетична галузь, структурна модель технологічної підсистеми повинна відповідати необхідній для цього послідовності нерозривних у просторі і часі виробничих зв'язків між електроенергетичними компаніями (ЕКо), спеціалізованими за стадіями технологічного процесу електропостачання. Останнє використано при побудові на рис.2 суб'єктної структурної моделі технологічної підсистеми ринку електроенергії у вигляді плоского орієнтованого графа. Вершини графа також представлено прямокутниками, оскільки кожна з його вершин (суб'єкт галузі) має свою назву, скорочено позначену в прямокутнику. Підсистему генерування (вершини графа) тепер утворює сукупність генеруючих електроенергетичних компаній

(ГЕКо), кожна з яких складається щонайменш з однієї ЕГУ. Передавальна електроенергетична компанія (ПЕКо), до складу якої входять лінії електропередачі високої напруги (ПЕМ-ВН), і розподільчі електроенергетичні компанії (РЕКо), територіально створені на базі місцевих електророзподільних ліній низької напруги (РЕМ-НН), утворюють разом підсистему транспортування (вузли графа). Сукупність споживачів електроенергії (СЕ), промислових, комерційних і побутових, що володіють ЕП, утворює підсистему споживання (вершини графа). Підсистему диспетчеризації очолює системний оператор (СО) у складі ПЕКо або незалежний системний оператор (НСО). Він має прямий або опосередкований зв'язок з елементами всіх підсистем. Цей зв'язок, маючи іншу форму, але не природу взаємодії, на графі не відображається, оскільки спрямовані гілки графа показують напрям товарних потоків електроенергії.

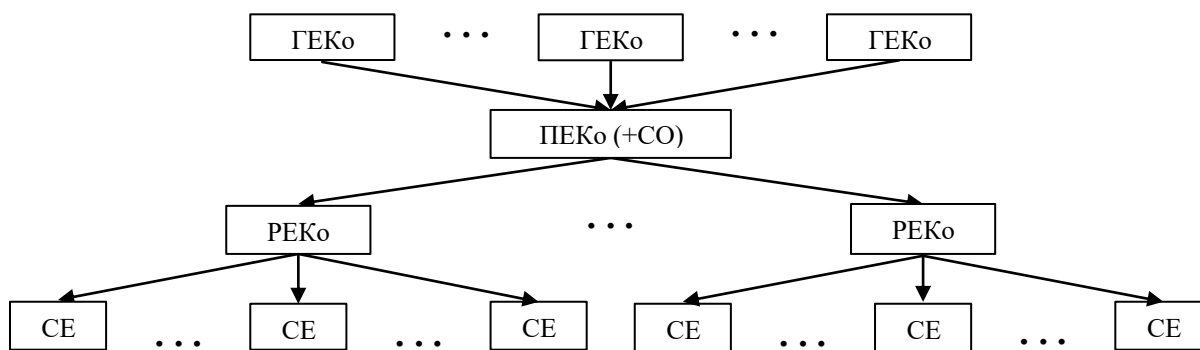


Рисунок 2 – Суб'єктна модель структури технологічної підсистеми ринку електроенергії

Кожен СЕ «ідентифікується» з одним ЕП, та якщо припустити, що кожна ГЕКо і РЕКо володіють відповідно однією ЕГУ і РЕМ-НН, то графи об'єктної (рис.1) і суб'єктної (рис.2) структурних моделей технологічної підсистеми співпадуть за топологією. Але відмінність у вибраній мові конфігуратора, про що свідчать умовні скорочення в прямокутниках вершин, збереже принципову різницю між моделями. Вершинами й вузлами графа на першому рисунку є об'єкти електроенергетичної системи, на другому – суб'єкти електроенергетичної галузі. Важливо те, що останні, на відміну від перших, мають під собою певну юридичну базу, яка забезпечує їх створення, функціонування і розвиток, злиття та роз'єднання, зміну форми власності й управління, ліквідацію. Саме вони «чутливі» до економічних ефектів масштабу і поєднання (різноманіття) виробництв, за якими визначають структуру галузі, доцільність і своєчасність процесів реструктуризації й демонополізації електроенергетики [3-5]. На практиці зроблене припущення, як правило, не виконується, оскільки суб'єкти електроенергетичної галузі можуть або намагаються володіти декількома об'єктами електроенергетичної системи. Тоді графи об'єктної і суб'єктної структурних моделей будуть відрізнятися кількістю вершин і гілок. Але, незважаючи на це, обидві структурні моделі є симетричними відображеннями структури однієї тієї технологічної підсистеми ринку електроенергії. При цьому об'єктне відображення є інваріантним, незмінним за будь-яких структурних перетворень галузі, суб'єктне відображення – варіантним, «чутливим» до внутрішньогалузевих змін. Тому етапи реструктуризації й демонополізації електроенергетики можна відобразити саме через суб'єктні моделі структури технологічної підсистеми, оскільки вони, на відміну від об'єктної структурної моделі, є варіантними до структурних змін, що відбуваються в галузі.

Проілюструємо реструктуризацію електроенергетики, яка є процесом трансформації вертикально інтегрованої галузі у диференційовану, у вигляді графів декількох перехідних суб'єктних структурних моделей технологічної підсистеми. Перші три графи (рис.3,а-в) відображають процес вертикальної дезінтеграції, коли відбувається перехід від комбінованого виробництва взаємопов'язаної фізично продукції галузі однією електроенергетичною компанією до розділеного виробництва цієї продукції спеціалізованими за виробництвами ЕКо. Іноді для зменшення розміру рисунку графів однойменні вершини й гілки будемо позначати агрегованими гілкою й вершиною у вигляді трьох різнопланово розташованих прямокутників з єдиним позначенням, наприклад, СЕ на рис.3,а-д. За вертикальної інтеграції (рис.3,а) усі виробничі суб'єкти технологічної підсистеми входять до складу єдиної генеруючо-передавально-розподільчої ЕКо, відображеної на графі вузлом ГПР-ЕКо. У випадку часткової вертикальної інтеграції (рис.3,б) замість єдиного вихідного вузла маємо дві послідовно зв'язані вершини генеруючо-передавальної ЕКо (ГП-ЕКо) й РЕКо, де остання також є вузол. За вертикальної диференціації (рис.3,в) усі виробничі суб'єкти технологічної підсистеми розділяються за трьома спеціалізованими ЕКо відповідно стадіям технологічного процесу електропостачання, і на графі замість двох маємо три послідовно зв'язані вершини ГЕКо, ПЕКо й РЕКо, де остання залишається вузлом. На етапі реструктуризації також відбувається часткова горизонтальна дезінтеграція, яка може бути

розпочата за будь-якої попередньої галузевої структури, що відображають два останні графи (рис.3,г-д). На цих структурних графах технологічної підсистеми відображено перехід у підсистемі транспортування від комбінованого виробництва однорідної продукції (розподілення електроенергії) однією спеціалізованою РЕКо до розділеного виробництва цієї продукції декількома територіально розмежованими РЕКо. На етапі реструктуризації СО входить до складу ПЕКо, яка, у свою чергу, може бути у складі ГПР-ЕКо (рис.3,а), ГП-ЕКо (рис.3,б,г) або бути відокремленою (рис.3,в,д).

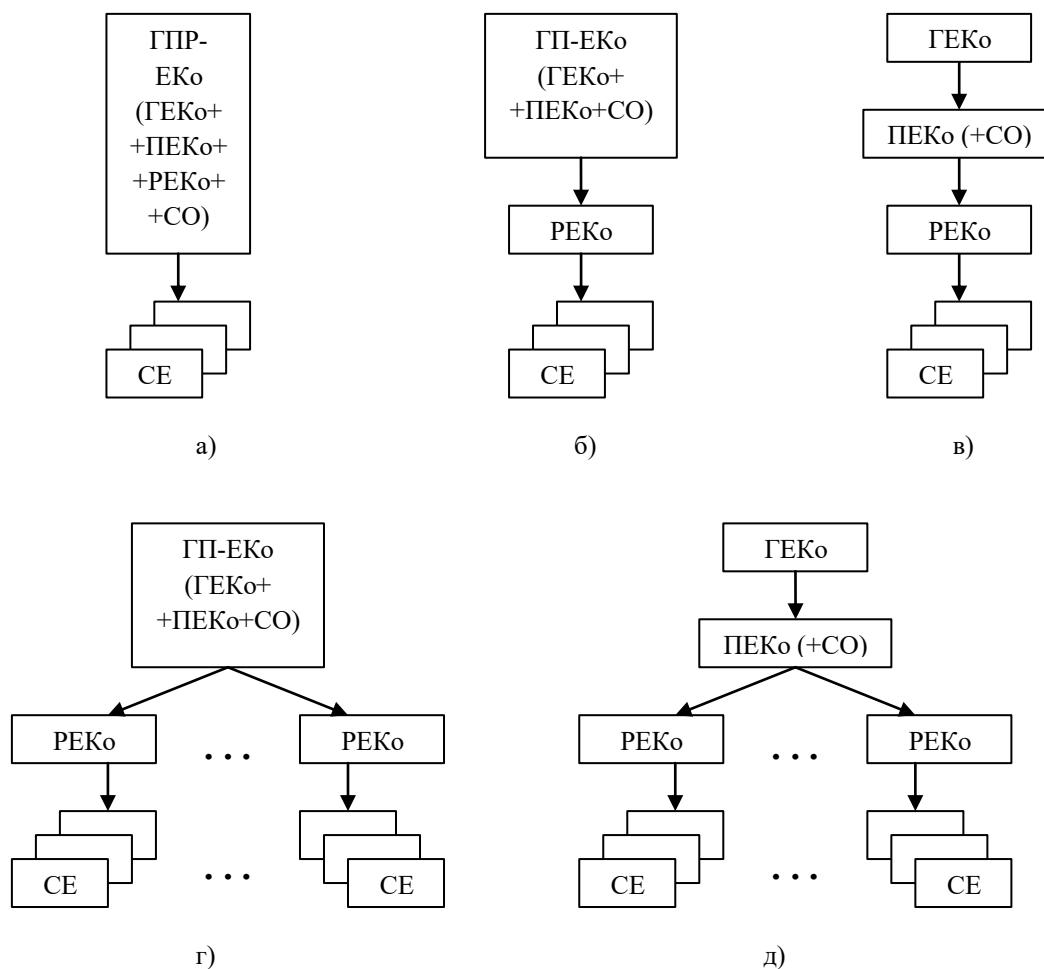


Рисунок 3 – Реструктуризація електроенергетики за структурними моделями технологічної підсистеми

Втрата субадитивності витрат у виробництві електроенергії починає етап демонополізації галузі. У підсистемі генерування відбувається перехід від комбінованого виробництва однорідної продукції (електроенергії) однією спеціалізованою ГЕКо до розділеного виробництва цієї продукції декількома ГЕКо. Так завершується розпочата на етапі реструктуризації горизонтальна дезінтеграція галузі, за якої суб'єктна структурна модель (рис.3,д) перетворюється на граф, побудований нами раніше на рис.2. Саме останній, за активності нашого припущення, співпадає за топологією із графом об'єктної структурної моделі, побудованим на рис.1. Це означає, що по завершенню дезінтеграційних процесів кількість внутрішньосистемних зв'язків (гілок графа за існуючих вершин) може досягти свого допорогового рівня, що тільки зміцнить систему. З цієї точки зору об'єктна структурна модель технологічної підсистеми за подальшого реформування електроенергетики повинна залишатись інваріантною за досягнутим рівнем внутрішньогалузевих зв'язків. На етапі демонополізації СО може бути у складі ПЕКо, як показано на рис.2, або відокремитись у НСО.

За обома структурними моделями технологічна підсистема ринку електроенергії є обмеженою у просторі (електроенергетичною системою за об'єктною моделлю й електроенергетичною галуззю за суб'єктною моделлю), але не є обмеженою у часі. Вона може існувати нескінченно довго і поступово адаптуватись до змін зовнішнього середовища, але обмеженість у просторі, як відомо, схилитиме її до інтенсивного використання доступних їй ресурсів. Як приклад, на етапі лібералізації часом

спостерігаються певні зворотні інтеграційні процеси, що призводить до зменшення допорогової кількості внутрішньогалузевих зв'язків, що ослаблює систему.

Структурна модель комерційної підсистеми ринку електричної енергії. Комерційна підсистема об'єднує різноманітні елементи своїх підсистем в єдине ціле задля обміну ресурсами й продукцією ринку, підтримуючи тим самим функції розподілу й обміну в циклі відтворення в системі ринку електроенергії. Оскільки комерційна підсистема, як елемент системи другого порядку, є торгово-фінансовою системою, що складається з підсистем розповсюдження та контрактної підсистеми [1-2], до її конфігуратора доцільно включити дві мови, які вже покладено у визначення підсистеми, та які умовно назовемо «торговою» і «фінансовою». По суті обидві мови є доповнюваними для більш широкої економічної мови, що дозволяє побудувати одну, прийнятну на двох мовах, структурну модель комерційної підсистем ринку електроенергії. У такій моделі торгово-фінансові зв'язки між первинними продавцями, торговими посередниками й кінцевими покупцями, що носять умовний (договірний) характер і впорядковані людиною для здійснення торгових транзакцій на ринку електроенергії, задаватимуть її структуру [2, 5]. Сказане використано при побудові структурної моделі комерційної підсистеми ринку електроенергії у вигляді плоских та неплоских орієнтованих графів, вершини яких представлено прямокутниками, оскільки кожна вершина графа (суб'єкт ринку) має свою назву, скорочено позначену в прямокутнику.

На торговій мові граф комерційної підсистеми буде відображенням її підсистем розповсюдження, його вершини будуть позначати суб'єктів оптового і роздрібного ринків електроенергії, зв'язки між якими визначатимуться метою їх торгової діяльності [6]. За такого відображення оптовий ринок буде сегментом ринку (сукупністю зв'язаних вершин графа), на якому електроенергія купується з метою професійного використання (комерційного або виробничого). Оскільки оптова торгівля – це метод розповсюдження продукції ринку між тими, хто купує її саме з цією метою, оптовий торговець (ОТ) буде виконувати на оптовому ринку роль торгового посередника, що займається оптовою торгівлею. Тоді роздрібний ринок – це сегмент ринку (сукупність зв'язаних вершин графа), на якому електроенергія купується з метою особистого споживання (непрофесійного використання), а роздрібна торгівля – це метод розповсюдження товарної продукції ринку між тими, хто купує її саме з цією метою. Оскільки часом важко провести фізичну межу між оптовим і роздрібним ринками, роздрібний торговець (РТ) виконуватиме роль торгового посередника, який може займатися як оптовою, так і роздрібною торгівлею. Первинними продавцями (ППр) і кінцевими покупцями (КПк) товарної продукції ринку будуть його суб'єкти, які не є торговими посередниками, а тільки виробляють її або споживають. Функції оператора ринку (ОР) може виконувати ППр або торговий посередник.

На фінансовій мові граф комерційної підсистеми буде відображенням її контрактної підсистеми, його спрямовані гілки будуть позначати різні комерційні угоди, що укладаються й реалізуються на ринку фізичного товару (спотовий ринок плюс ринок фізичних договорів) і ринку фінансових контрактів (деривативів). Це дозволить в одній статичній моделі одночасно відобразити як спотовий, так і контрактні ринки електроенергії, рознесені у часі. Множина безперервних гілок графа буде утворювати ринок фізичного товару, множина розривних гілок графа – ринок фінансових контрактів. Безперервні гілки графа можуть бути як односпрямованими, так і двоспрямованими. При цьому кожна безперервна гілка графа у прямому напрямку стрілки буде показувати передачу або сприяння передачі права власності на електроенергію, у зворотному напрямку – грошовий потік від її реалізації. Розривні гілки графа будуть двоспрямованими, оскільки відобразатимуть укладені фінансові контракти, за якими не передбачається (доволі рідко відбувається) фізична поставка товару, та які завершуються взаємними фінансовими розрахунками між учасниками угоди за її результатами. Якщо сегмент ринку є децентралізованим, то учасники угоди (вершини графа) з'єднуються між собою безпосередньо відповідною гілкою графа. Якщо сегмент ринку є централізованим, то учасники угоди (вершини графа) з'єднуються між собою опосередковано двома гілками графа через вузол оператора ринку фізичного товару (ОР-ФізТов) або вузол оператора ринку фінансових контрактів (ОР-ФінКон).

Реформування електроенергетики відбувається поетапно, і на кожному з етапів структурна модель комерційної підсистеми збільшує свій граф за кількістю вершин і гілок. За оптово-роздрібною монополією єдиний первинний продавець (на графі рис.4,а вузол ППр) укладає фізичні контракти з усіма кінцевими покупцями електроенергії (на графі рис.4,а вершини КПк). У такій моделі торгівля на оптовому і роздрібному ринках здійснюється без участі будь-яких торгових посередників (так званий «прямий маркетинг»). Але на етапі реструктуризації запроваджується опосередкований маркетинг, коли в результаті вертикальної дезінтеграції (рис.4,б) між вершиною ППр і вершинами КПк з'являється один проміжний вузол РТ новоствореного роздрібного торговця, який приймає на себе право власності на електроенергію, купуючи і продаючи її за фізичними контрактами. Якщо до вертикальної дезінтеграції галузі додати горизонтальну, то структурній моделі комерційної підсистеми буде відповідати граф рис.4,в, який можна розглядати як поєднання декількох графів рис.4,б за наявності єдиного ППр

(вихідний вузол) на оптовому ринку й існування декількох територіально закріплених за кожним РТ (проміжні вузли) роздрібних ринків електроенергії. На етапі реструктуризації функції ОР виконує ППр.

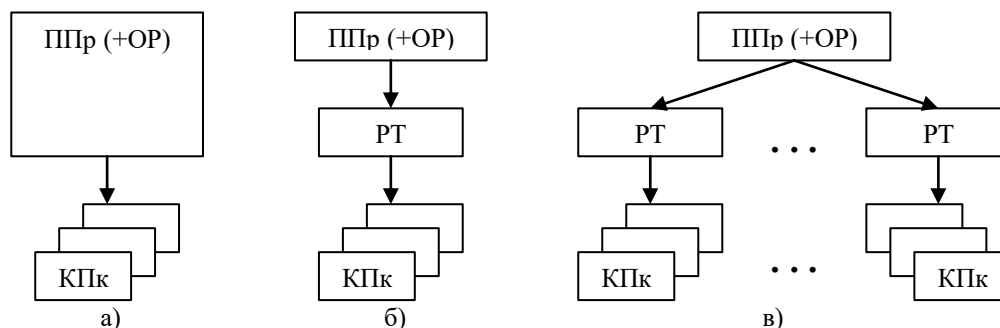


Рисунок 4 – Реструктуризація електроенергетики за структурними моделями комерційної підсистеми

Структурні моделі комерційної підсистеми за вертикальної й горизонтальної дезінтеграції (графи на рис. 4,б-в) є однорівневими завдяки існуванню тільки одного торгового посередника (проміжного вузла) між ППр і кожним КПк. На етапі демонополізації між первинними продавцями електроенергії запроваджується конкуренція, що робить структурну модель підсистеми дворівневою. За оптової моносонії граф структурної моделі комерційної підсистеми (рис. 5) має між вершинами конкуруючих ППр і вузлами всіх РТ один проміжний вузол ОТ новоствореного оптового торговця. Цей торговий посередник, виконуючи функції ОР, укладає фізичні контракти з усіма конкуруючими ППр та усіма РТ. При цьому він, купуючи, не бере на себе, а лише сприяє передачі права власності на електроенергію, продаючи її всім РТ, кожен з яких, навпаки, бере на себе право власності, продаючи електроенергію своїм КПк. Як наслідок, вершину будь-якого ППр можна опосередковано з'єднати з вершиною будь-якого КПк через два послідовно зв'язані проміжні вузли торгових посередників ОТ й РТ.

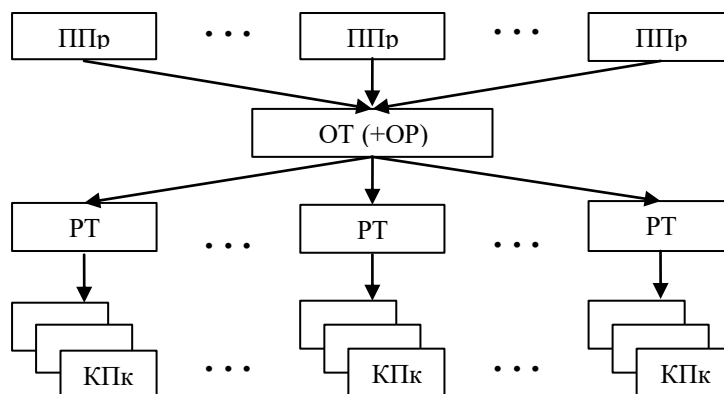


Рисунок 5 – Демонополізація електроенергетики за структурною моделлю комерційної підсистеми

За розглянутих неконкурентних моделей товарного ринку електроенергії усі структурні моделі комерційної підсистеми є одноканальними за централізованого контрактного ринку фізичного товару, на якому покупці можуть купувати електроенергію лише у територіально закріпленого за ними продавця. І тільки на етапі демонополізації оптовий торговець отримує делеговано право вибору на конкурентній основі продавців електроенергії. Але економічна ефективність конкурентного середовища може досягти свого найвищого рівня, якщо конкуренція існує не лише на стадії виробництва, але й на стадії розповсюдження електроенергії. Це зазвичай потребує зростання кількості учасників конкурентного середовища, чого можна досягти наданням права вибору покупцям продавців товарної продукції ринку. Тому лібералізація іде шляхом децентралізації централізованої за неконкурентних моделей системи ринку електричної енергії, внаслідок чого структурна модель комерційної підсистеми стає багатоканальною, збільшуючи кількість внутрісистемних зв'язків (гілок графа за існуючих вершин). Сказане означає, що в системі ринку електроенергії відбувається фазовий перехід, внаслідок якого поведінка системи зазнає якісних змін. У структурній моделі комерційної підсистеми з'являються децентралізовані ринки з одночасним збільшенням загальної кількості самих ринків, у тому числі за

рахунок появи спотового ринку. Останній визначає економічну вартість електроенергії, але її спотова ціна є мінливою у часі, оскільки зміни попиту і пропозиції часом важко прогнозувати. Механізми страхування майбутніх доходів суб'єктів ринку від різких цінових коливань спотового ринку пропонують контрактний ринок шляхом укладання фізичних і фінансових контрактів [5].

На початку лібералізації усі РТ отримують право вибору купувати електроенергію децентралізовано напряму у ППр, укладаючи самопризначені фізичні контракти, або купувати її централізовано через ОР-ФізТов на ринку фізичних контрактів і спотовому ринку. На структурному графі комерційної підсистеми це позначається збільшенням кількості гілок і вузлів, які до того були вершинами. Як наслідок, на етапі лібералізації структурні графи стають неплоскими на відміну від плоских графів, будованих нами раніше. Для наочності неплоскі графи будемо представляти у згорнутому вигляді через агреговані однойменні вершини й гілки, за рахунок чого їх зображення ще можуть залишатись плоскими. Сказане використано при побудові на рис.6,а графа структурної моделі комерційної підсистеми за моделі оптової конкуренції. На ньому децентралізований оптовий ринок фізичних контрактів утворюють безпосередньо з'єднані між собою односпрямованою безперервною гілкою вузли ППр й РТ. На централізованому оптовому ринку фізичних контрактів вузли ППр та РТ опосередковано з'єднуються між собою через новостворений вузол ОР-ФізТов односпрямованими безперервними гілками. Опосередковане з'єднання згаданих вузлів через вузол ОР-ФізТов двоспрямованими безперервними гілками утворює спотовий ринок фізичного товару. Використовуючи механізми страхування, усі ППр і РТ можуть децентралізовано укладати між собою самопризначені фінансові контракти, що позначено двоспрямованою розривною гілкою, яка з'єднує зазначені вузли. Також вони можуть централізовано укладати фінансові контракти, які позначено двоспрямованими розривними гілками, що з'єднують вузли ППр і РТ із новоствореною вершиною ОР-ФінКон.

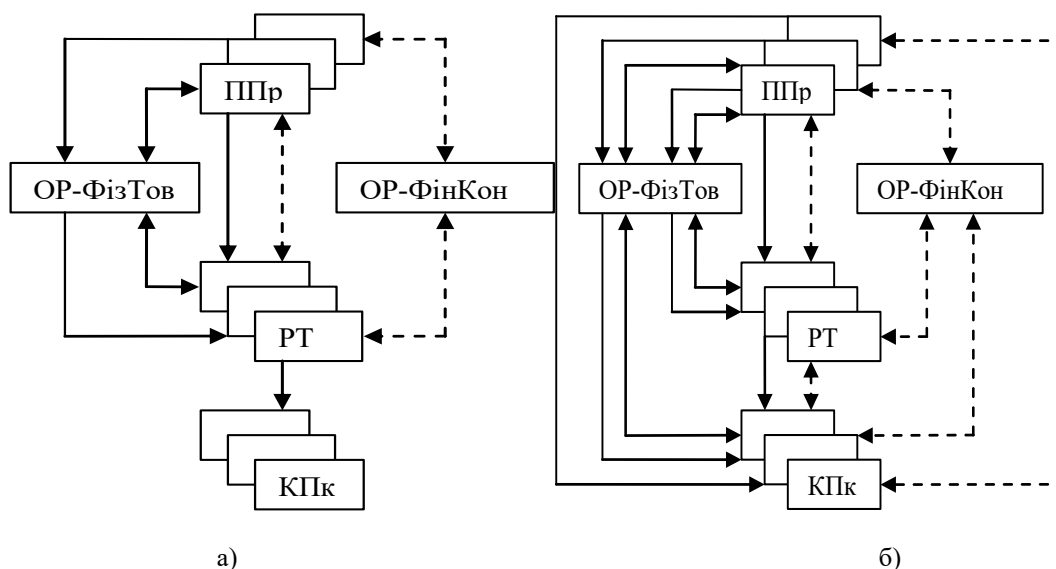


Рисунок 6 – Лібералізація електроенергетики за структурними моделями комерційної підсистеми

На завершення лібералізації, коли запроваджується модель роздрібної конкуренції, право вибору продавця електроенергії отримують усі КПК. Відповідно графа структурної моделі комерційної підсистеми (рис.6,б) КПК можуть виходити на ті ж самі ринки фізичного товару й фінансових контрактів, що й усі РТ, перетворюючи тим самим усі вершини графа на вузли. Але КПК отримують більш широке право вибору, оскільки усі РТ входять до переліку продавців за вибором КПК. Якщо знову звернутися до графів, побудованих на рис.6,а-б, то можна побачити, що кожен граф має ліву і праву частини, що відповідно відображають ринок фізичного товару і ринок фінансових контрактів. На початку лібералізації цей розподіл завдяки надання права вибору продавця існує тільки на оптовому ринку, по завершенню лібералізації – як на оптовому, так і роздрібному ринках електроенергії. Слід додати, що кількість різновидів ринків у побудованих за конкурентних моделей товарного ринку електроенергії структурних моделях комерційної підсистеми є необхідною й достатньою, хоча необхідна їх кількість може бути меншою [5].

Як бачимо, комерційна підсистема ринку електроенергії являє собою певне економічне середовище, яке не може бути обмежене ні у просторі, ні у часі та може існувати нескінченно довго і розвиватись екстенсивно, розширюючи простір системи ринку електричної енергії.

Об'єднання структурних графів підсистем у мультиграфи системи ринку електричної енергії. Побудовані на різних мовах структурні моделі технологічної і комерційної підсистем є доповнюваними відображеннями однієї і тієї самої структурної моделі системи ринку електроенергії. Це припускає існування між топологією й елементами структурних графів певної відповідності, яка б дозволяла об'єднувати зазначені графи й отримувати структурні мультиграфи системи ринку електричної енергії.

Так, порівнюючи графи структурних моделей технологічної (рис. 2-3) і комерційної (рис. 4-5) підсистем, можна побачити, що за неконкурентних моделей товарного ринку електроенергії структурні графи обох підсистем є плоскими й однаковими за топологією. Цьому може суперечити вертикально диференційована галузь, за якої суб'єкти технологічної підсистеми розділені за виробничими стадіями процесу електропостачання. Але ця невідповідність пояснювана, оскільки саме на цій стадії реструктуризації відбувається розмежування функцій ОР, який залишається у складі ППр, і функцій СО, який відокремлюється у складі ПЕКо. Оскільки ПЕКо не є суб'єктом товарного ринку електроенергії (див. табл.), це збільшує кількість вершин і гілок графа технологічної підсистеми. На етапі демонополізації, коли завершується горизонтальна дезінтеграція галузі й запроваджується конкуренція між ППр, функції ОР переходять до новоствореного ОТ, що знову робить графи обох підсистем (див. рис.2 і рис.5) однаковими за топологією. Хоча ПЕКо (+СО) й ОТ (+ОР) є суб'єктами різних системоутворюючих ринків, їх вузли будуть розташовані на одному рівні, якщо порівняти обидва графи.

На завершення демонополізації плоский граф структурної моделі технологічної підсистеми досягає свого опорного рівня за кількістю внутрішньогалузевих зв'язків, залишаючись далі інваріантним за цим показником. Комерційна підсистема, навпаки, у процесі подальшого реформування галузі, розширюючи простір систему ринку електроенергії, змінює свій структурний граф з плоского на неплоский, одночасно перетворюючи всі вершини графа на вузли. Також під час лібералізації у складі комерційної підсистеми відбувається розмежування функцій ОР за функціями ринку фізичного товару і ринку фінансових контрактів, що збільшує кількість вузлів і гілок графа. Як наслідок, графи структурних моделей технологічної (рис.2) і комерційної (рис.6,а-б) підсистем на етапі лібералізації за топологією не співпадають.

У той же час, між елементами (вершинами графів) обох підсистем зберігається певна відповідність. Так, наприклад, суб'єкти технологічної і комерційної підсистем одночасно можуть бути суб'єктами товарного ринку електроенергії, маючи різні назви на різних мовах відповідно виконуваних ними функцій у підсистемах. Порівнюючи позначення у прямокутниках вершин, бачимо, що ГЕКо, які також можуть бути у складі ГПР-ЕКо або ГП-ЕКо, завжди є первинними продавцями електроенергії, споживачі електроенергії – її КПК. За неконкурентних моделей РЕКо одночасно виконують функції РТ, за конкурентних моделей ці функції розмежовуються між спеціалізованими компаніями. Існуючі РЕКо залишаються суто мережевими компаніями як суб'єкти ринку послуг передавання і розподілення електроенергії. Функції РТ переходять до новостворених торгових посередників, які будуть суб'єктами товарного ринку електроенергії. РЕКо залишаються вузлами графа технологічної підсистеми, РТ – вузлами графа комерційної підсистеми. Кількість РТ зазвичай перевищує кількість РЕКо.

Вищесказане дозволяє об'єднувати структурні графи технологічної і комерційної підсистем та створювати структурні мультиграфи системи ринку електричної енергії. Вершини мультиграфа одночасно можуть належати різним підсистемам, і це потребуватиме використання паралельних спрямованих гілок, що відображатимуть різні за природою внутрісистемні зв'язки. Так, наприклад, на рис.7 об'єднано структурні графи обох підсистем для наочності саме на етапі демонополізації (рис.2 і рис.5), щоб побудований мультиграф ще був плоским. Якщо вершина цього мультиграфа є елементом обох підсистем, то в її прямокутнику через дріб скорочено позначено дві назви, що відповідають технологічній і комерційній підсистемам. Якщо вершина мультиграфа є елементом тільки однієї підсистеми, то в її прямокутнику позначено тільки одну назву за підсистемою. Вершини такого мультиграфа мають щонайменш дві вхідні та/або дві вихідні гілки. Безперервні односпрямовані гілки мультиграфа відображають товарний рух електроенергії. Розривні односпрямовані гілки мультиграфа утворюють централізований ринок фізичних контрактів. Мультиграф можна розширити, додавши на рис.7 безперервні двоспрямовані гілки, що відображають внутрісистемні зв'язки СО, що мають іншу природу, з елементами обох підсистем, чого неможливо було зробити на графах рис.1-5.

Якщо системний оператор на етапі демонополізації виходить із складу ПЕКо, відокремлюючись у НСО, структурний мультиграф на рис.7 одразу стає неплоским навіть за неконкурентної моделі товарного ринку електроенергії.

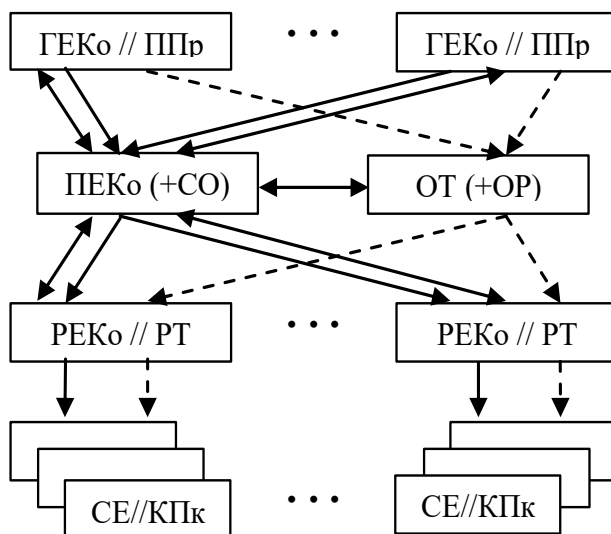


Рисунок 7 – Структурний мультиграф системи ринку електроенергії на етапі демонополізації

Слід також додати, що за конкурентних моделей товарного ринку електроенергії структурні мультиграфи системи ринку електричної енергії завжди будуть неплоскими та насиченими зв'язками завдяки фазовому переходу, що відбувається в системі на етапі лібералізації.

Висновки.

1. Структурні моделі технологічної і комерційної підсистем, побудовані у вигляді орієнтованих графів, виступають доповнюваними відображеннями структурної моделі системи ринку електроенергії. У циклі відтворення технологічна підсистема підтримує функції виробництва і споживання, комерційна підсистема – функції розподілу й обміну. Технологічна підсистема не обмежена у часі, але обмежена у просторі та може розвиватись інтенсивно. Комерційна підсистема, не маючи просторових і часових обмежень, може розвиватись екстенсивно.

2. На технічній мові технологічна підсистема є об'єктною системою із внутрісистемними зв'язками у формі фізичної взаємодії, на виробничій мові – суб'єктною системою із системними зв'язками у формі внутрішньогалузевої взаємодії. Об'єктна й суб'єктна структурні моделі є симетричними відображеннями структурної моделі технологічної підсистеми ринку електроенергії. При цьому об'єктне відображення є інваріантним, незмінним за будь-яких структурних перетворень галузі, суб'єктне відображення – варіантним, «чутливим» до внутрішньогалузевих змін.

3. Вершини структурного графа комерційної підсистеми відображають на торговій мові підсистему розповсюдження, позначаючи суб'єктів оптового і роздрібного ринків. Спрямовані гілки структурного графа комерційної підсистеми на фінансовій мові відображають контрактну підсистему, позначаючи угоди ринку фізичного товару і ринку фінансових контрактів. Разом вершини й спрямовані гілки утворюють орієнтований граф структурної моделі комерційної підсистеми ринку електроенергії.

4. На етапах реструктуризації й демонополізації структурні графи обох підсистем за неконкурентних моделей товарного ринку електроенергії є плоскими й однаковими за топологією. На етапі демонополізації граф структурної моделі технологічної підсистеми досягає свого допорогового рівня за кількістю внутрісистемних зв'язків. Комерційна підсистема на етапі лібералізації внаслідок фазового переходу в системі ринку електроенергії змінює свій граф з плоского за неконкурентних моделей на неплоский за конкурентних моделей товарного ринку електроенергії, перетворюючи усі вершини графа на вузли.

5. Існуюча відповідність між топологією й елементами структурних графів технологічної і комерційної підсистеми дозволяє об'єднувати їх структурні моделі, створюючи тим самим мультиграфи структурної моделі системи ринку електричної енергії.

Список використаної літератури.

1. Стрелков М.Т. Статична модель складу системи ринку електроенергії / М.Т. Стрелков // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2015. – №3. – С.117-121.
2. Стрелков М.Т. Складові інфраструктури системи енергоринку: створювані потоки, реалізовані принципи, розв'язувані задачі / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2014. – №4. – С.51-57.
3. Стрелков М.Т. Реструктуризація галузевої інфраструктури ринку електричної енергії / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2007. – №9. – С.3-8.
4. Стрелков М.Т. Розвиток природної монополії в електроенергетиці: змінні, індекси, стійкість, стадії / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2014. – №12. – С.32-38.
5. Стрелков М.Т. Лібералізація в системі ринку електричної енергії / М.Т. Стрелков // *Енергетика та електрифікація*. – 2012. – №10. – С.10-17.
6. Стрелков М.Т. Маркетингові питання реструктуризації електроенергетики / М.Т. Стрелков // *Електричні мережі та системи*. – 2004. – №5-6. – С.100-104.

M. Strelkov, PhD. Sc. Sciences

**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
STATIC MODEL OF ELECTRICITY MARKET SYSTEM STRUCTURE**

The aim of the article is to conduct the structural analysis and construct the static structural model of the electricity market system. Since the components responsible for the construction of the electricity market system are the technological and commercial subsystems, their structural models are presented in the form of directed graphs according to the stages of reforming the electricity sector and imposed models of the commodity electricity market. The structural model of the technological subsystem is built on technical and industrial languages in the form of planar graphs of objective and subjective structural models. The structural model of the commercial subsystem is built on trade and finance languages in the form of planar graphs for non-competitive models and non-planar graphs for competitive models of the commodity electricity market. It is shown that the built structural models of the technological and commercial subsystems can be combined, thereby creating multigraphs of the structural model of the electricity market system.

Keywords: electricity sector, electricity market, market system, system structure, structure model, static model.

References

1. Strelkov M.T. Static model of electricity market system composition / M.T. Strelkov // *Power engineering: economics, technique, ecology*. – 2015. – №3. – С.117-123.
2. Strelkov M.T. Infrastructure components of electricity market system: created flows, implemented principles, solved problems / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2014. – №4. – С.51-57.
3. Strelkov M.T. Restructuring the industrial infrastructure of electricity market / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2007. – №9. – С.3-8.
4. Strelkov M.T. Natural monopoly development in electricity industry: variables, indexes, sustainability, stages / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2014. – №12. – С.32-38.
5. Strelkov M.T. Liberalization in system of electricity market / M.T. Strelkov // *Energy and electrification*. – 2012. – №10. – С.10-17.
6. Strelkov M.T. Marketing questions of electric industry restructuring / M.T. Strelkov // *Electrical networks and systems*. – 2004. – №5-6. – С.100-104.

УДК 621.311.16

М.Т. Стрелков, канд. техн. наук., ст. науч. сотр.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ РЫНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Целью статьи является проведение структурного анализа и построение статической структурной модели системы рынка электроэнергии. Поскольку составляющими, ответственными за построение системы рынка электроэнергии, выступают технологическая и коммерческая подсистемы, их структурные модели представлены в виде ориентированных графов согласно этапам реформирования электроэнергетики и внедряемым моделям товарного рынка электроэнергии. Структурная модель технологической подсистемы построена на техническом и производственном языке в виде плоских графов объектной и субъектной структурных моделей. Структурная модель коммерческой подсистемы построена на торговом и финансовом языке в виде плоских графов для неконкурентных моделей и неплоских графов для конкурентных моделей товарного рынка электроэнергии. Показано, что построенные структурные модели технологической и коммерческой подсистем можно объединять, создавая тем самым мультиграфы структурной модели системы рынка электроэнергии.

Ключевые слова: электроэнергетика, рынок электроэнергии, система рынка, структура системы, модель структуры, статическая модель.

Надійшла 10.12.2016

Received 10.12.2016

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА АУДИТ ENERGY MANAGEMENT AND AUDIT

УДК 631

А.І. Замулко, канд. техн. наук, доц, Ю.А. Веремійчук, канд. техн. наук, ст. викл.,
М.В. Матвійчук, студент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЕРЕВІРКИ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ НАГЛЯДОВИМИ ОРГАНАМИ – ОСНОВА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

Визначено інформативність актів щодо здійснення заходів з державного енергетичного нагляду (контролю). Досліджено необхідність використання напрацювань або результатів перевірок суб'єкта господарювання контролюючими органами при проведенні енергетичного аудиту. Запропоновано порядок дій при проведенні енергетичного аудиту з урахуванням результатів перевірок контролюючих органів. Розглянуто дані відповідно до існуючих нормативних документів України, ряд уніфікованих форм актів здійснення заходів з державного енергетичного нагляду (контролю), які можуть стати корисними для вирішення головних завдань енергоаудиту.

Ключові слова: енергетичний аудит, системи енергетичного менеджменту, рівень енергоефективності, енергозбереження.

Вступ

В умовах зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в Україні питання енергозбереження набувають особливої актуальності, що підтверджено рішенням Кабінету Міністрів України щодо загальної державної енергетичної стратегії.

Першим кроком для формування планів щодо запровадження енергозберігаючих заходів є проведення енергетичного аудиту (ЕА), який відповідно до Типової методики «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту», затвердженої наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів від 20.05.2010 № 56, передбачає наступні види: первинний, періодичний, позачерговий, локальний, експрес-аудит, специфічний та включає основні етапи проведення: переддоговірний, організаційно-підготовчий, збирання інформації, оброблення та аналіз інформації, розроблення рекомендацій з енергозбереження, складання звіту та висновку, презентація результатів. Ефективність проведення ЕА в значній мірі залежить від можливості всебічного аналізу споживання енергетичних ресурсів різними суб'єктами господарювання.

Мета та завдання дослідження. Проведення енергетичних аудитів як стимулюючого засобу для суб'єктів господарювання, щодо скорочення ними непродуктивного споживання енергії потребує дослідження всіх систем енергозабезпечення. Враховуючи обмеженість у часі на проведення ЕА, а також необхідність урахування при розробці заходів з енергозбереження усіх важливих для споживача проблем щодо споживання енергетичних ресурсів, доцільним є забезпечення оптимального використання результатів перевірок державних органів виконавчої влади. З метою оптимізації витрат на проведення аудиту одним з першочергових завдань можна вважати використання напрацювань або результатів перевірок суб'єкта господарювання державними контролюючими органами. При цьому слід вважати, що запропоновані заходи державними наглядовими органами – це стартовий (нульовий) рівень підвищення енергоефективності, а кількість реалізованих заходів – це рівень досягнення стартової відповідної точки.

Матеріали і результати досліджень Відповідно до Закону України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» кожний контролюючий орган проводить роботу у відповідності до критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від впровадження господарської діяльності, та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю), а також з використанням уніфікованих форм актів, що складаються за результатами проведення планових (позапланових) заходів державного нагляду(контролю).

Відповідно до схеми спрямування і координації діяльності центральних органів виконавчої влади Кабінетом Міністрів України через відповідних членів Кабінету Міністрів України, як затверджено

постановою Кабінету Міністрів України від 10.09.2014р. № 442, до складу центральних органів виконавчої влади, що здійснюють державний нагляд (контроль) у сфері господарської діяльності, належать 26 органів. З існуючих Центральних органів виконавчої влади слід відмітити наступні інспекції та агентства, результати перевірок яких можуть бути використані для проведення ЕА [1-4]:

- Державна архітектурно-будівельна інспекція України;
- Державна екологічна інспекція України;
- Державна інспекція енергетичного нагляду України;
- Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України.

З перелічених інспекцій тільки профільне агентство не здійснює державний нагляд (контроль) у сфері господарської діяльності.

При проведенні ЕА найбільшу зацікавленість викликають результати обстежень Державної інспекції енергетичного нагляду України. Наказом Мінпаливенерго від 15.11.2010 № 473 (zareєстрований в Міністерстві юстиції України від 29.12.2010 р. за № 1374/18669) затверджено форму Акту здійснення заходу з державного енергетичного нагляду (контролю). Кожен акт передбачає наявність переліку питань, що підлягають перевірці під час обстеження суб'єктів господарювання.

Проведені дослідження ставили за мету визначити інформативність актів здійснення заходу з державного енергетичного нагляду (контролю) та корисність використання цих актів при проведенні енергетичного аудиту.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- здійснити аналіз даних, які можуть бути отримані при проведенні заходів державного енергетичного нагляду за суб'єктами електроенергетики, суб'єктами відносин у сфері теплопостачання і споживачами електричної енергії з затверджених форм актів наказом Міністерства палива та енергетики України №473 від 15.11.2010;
- здійснити аналіз реальних актів перевірки Державної інспекції з енергетичного нагляду певної державної установи;
- встановити взаємозв'язок між рекомендаціями Державної інспекції енергетичного нагляду України та рекомендаціями енергоменеджерів.

При проведенні аналізу актів наглядових органів на підприємствах різних груп промисловості слід зазначити, що зауваження, які були ними представлені, є рекомендаціями щодо дотримання підприємством ряду нормативних документів. Наприклад, з Акту Державної інспекції енергетичного нагляду України зауваження, що стосуються «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», а саме – керівникам та енергетику підприємства вказують на невідповідність і надають зауваження, вирішення яких дозволяють об'єкту привести свій рівень енерговикористання до норми.

Більшість енергоменеджерів при проведенні енергетичного аудиту рекомендують енергозберігаючі заходи, які, по суті являють собою також дублювання «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів». Як наслідок, реалізація таких заходів спричинить приведення рівня енерговикористання до норми.

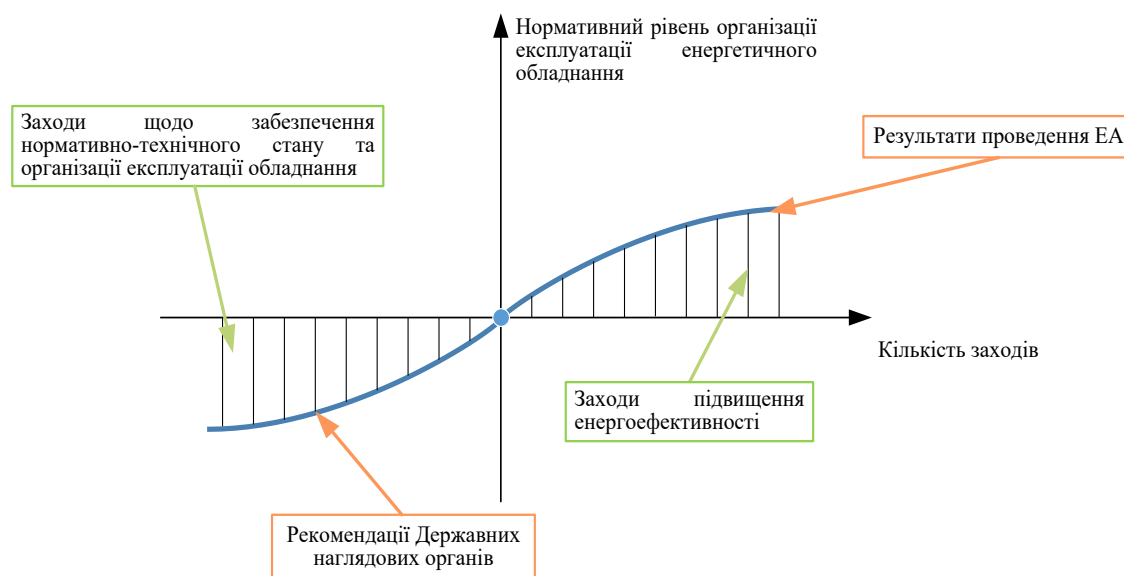


Рисунок 1 – Особливості врахування результатів наглядової діяльності на суб'єкті господарювання

Проте, завданням енергоменеджера є підвищення рівня енергоефективності об'єкту, тому доцільнішим було б використання готових рекомендацій Державних наглядових органів з метою виявлення найбільш значимих та важливих проблем для споживача та впровадження енергозберігаючих заходів, які б підвищили рівень енерговикористання (рис. 1).

Розглянемо, які дані можуть бути отримані при проведенні заходів державного енергетичного нагляду за суб'єктами електроенергетики, суб'єктами відносин у сфері теплопостачання і споживачами електричної енергії з затверджених форм актів наказом Міністерства палива та енергетики України від 15.11.2010 №473. При проведенні ЕА різних об'єктів господарської діяльності можна використати перелік питань як первинну інформацію для формування опитувальних анкет та накопичення статистики щодо діяльності наступних суб'єктів:

- електропередавальних організацій;
- споживачів I, II, III категорії з надійності електропостачання, які не віднесені до високого та середнього ступенів ризику;
- організацій з обслуговування та експлуатації житлового фонду незалежно від категорії з надійності електропостачання;
- дошкільних, навчальних та лікувальних закладів II та III категорій з надійності електропостачання;
- споживачів електричної енергії, у власності яких є системи автономного електропостачання незалежно від категорії з надійності електропостачання;
- суб'єктів господарської діяльності (споживачів теплової енергії) щодо технічного стану, організації експлуатації тепловикористовувальних установок і мереж, систем опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та систем збору і повернення конденсату та дотримання режимів споживання теплової енергії;
- суб'єктів та/або об'єктів електроенергетики.

Проведений аналіз основних питань форми Акту здійснення заходу з державного енергетичного нагляду (контролю), які включають в себе ще значний перелік підпунктів (рис. 2-3.)



Рисунок 2 – Групи питань, що підлягають перевірці під час обстеження електропередавальних організацій



Рисунок 3 – Групи питань, що підлягають перевірці під час проведення обстеження споживачів

Тому перелік питань вже розподілено за різними суб'єктами, на яких може проводитись ЕА, і в них розглядаються наступні характеристики:

- загальна характеристика енергоукомплектування, що знаходиться в експлуатації;
- організація експлуатації;
- технологічні порушення на об'єктах електричних мереж;
- комплексна якісна та кількісна оцінка технічного стану об'єктів електричних мереж;
- фактичний технічний стан об'єктів електричних мереж;
- технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт об'єктів електричних мереж;
- модернізація та реконструкція електричних мереж і обладнання;
- відповідність схем зовнішнього електропостачання споживачів вимогам категорійності їх струмоприймачів та забезпечення надійного електропостачання споживачів;
- режими постачання електричної енергії та потужності тощо.

Аналіз результатів таких перевірок дозволить виявити осередки, на які необхідно звернути особливу увагу при підготовці і проведенні ЕА, а також забезпечити (у заходах) вирішення найбільш значимих та важливих для споживача проблем.

При проведенні енергетичного аудиту відповідно до літературних джерел [5-7] перед енергоаудитором стоять наступні завдання:

- аналіз енергетичної ефективності організації, обладнання, систем(и) або процесу(ів);
- проведення вимірювання та спостереження за використанням енергії, енергоефективністю та споживанням;
- ідентифікації та визначення пріоритетів можливостей з метою підвищення рівня енергетичної ефективності, скорочення втрат енергії та отримання пов'язаних з цим екологічних вигод;
- створення цілісної картини споживання енергетичних та інших ресурсів на підприємстві в цілому і по окремих його підрозділах, зокрема;
- створення цілісної картини виробництва енергетичних та інших ресурсів;
- створення системи обліку та контролю за споживанням ПЕР;
- проведення регулярного аналізу ефективності споживання ПЕР;
- розроблення та впровадження енергозберігаючих заходів (ЕЗЗ).
- упорядкування рекомендацій щодо підвищення рівня енергетичної ефективності та фінансової вигоди.

Відповідно до закону України розроблені уніфіковані форми акту здійснення заходу з державного енергетичного нагляду (контролю), дані яких можуть стати корисними при вирішенні головних завдань енергоаудиту.

Під час проведення аналізу актів перевірки Державної інспекції з енергетичного нагляду певної державної установи, в інформаційному листі, який додається, представлено таку інформацію:

- опис ситуації, що спостерігалась протягом попередніх років (зросла кількість аварій та відмов в системах опалення та ГВП);
- перелік причин, що призвели до такого стану (непроведення випробувань мереж на щільність та міцність, невиконання в повному обсязі планово-попереджувальних ремонтів, непрацюючі регулятори температури, тиску);
- перелік рекомендацій щодо усунення подібної ситуації на наступний період (ремонт обладнання електроустановок, устаткування теплових установок та мереж; привести схеми електропостачання до нормального режиму роботи, передбаченого проектними рішеннями; перевірити систему захисту засобів обліку електричної та теплової енергії в умовах низьких температур).

В акті обстеження представлено розгляд наступних питань:

- характеристика енергоукомплектування, що знаходиться в експлуатації (зазначені: рівень напруги живлення, встановлена потужність, дозволена потужність до використання, категорія надійності електропостачання, опис схеми електропостачання; перелік лічильників, за якими здійснюється облік електричної енергії та місце встановлення лічильника; перелік АВР, місця їх встановлення та джерела живлення; річне, середньомісячне та добове споживання електричної енергії);
- наявність технічної документації (журнал обліку споживання електричної енергії, півгодинних вимірів навантаження в години максимумів електропередавальної організації; журнал показів контрольно-вимірювальних приладів та електролічильників; однолінійна схема електропостачання окремих цехів та ділянок; оперативна схема або схема-маке);
- детальний опис виявленого порушення (обладнання РУ 0,4 кВ в ТП1372 потребує чищення від пилу та бруду; однолінійні схеми електричних з'єднань усіх класів напруги для кожної електроустановки потребують уточнення та Perezatverdzhennya; не виконуються періодичні випробування АВР тощо).

Відповідно до статей стандарту[5], що визначає мінімальний набір вимог, які сприяють виявленню можливостей для підвищення рівня енергетичної ефективності, енергоаудитору необхідно:

- знання відповідних законодавчих та інших вимог;
- документи з проектування, експлуатації та технічного обслуговування;
- результати попередніх енергоаудитів або досліджень, пов'язаних з енергетичною ефективністю;
- розглянути будь-які нормативні та інші узгоджені схеми або обмеження, які могли би вплинути на можливість підвищення рівня енергетичної ефективності.

За перспективу в організації використання матеріалів обстеження наглядовими органами має стати запропонована система державного нагляду (контролю), порядок функціонування якої буде затверджено Кабінетом Міністрів України.

Висновки

1. В умовах необхідності підвищення ефективності проведення ЕА важливим є пошук шляхів отримання інформації та відповідний її аналіз.

2. За рахунок опрацювання результатів наглядової діяльності на суб'єкті господарювання енергоаудитору буде можливість зосередитись на більш гострих питаннях із забезпечення енергоефективності.

Список використаної літератури

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серпня 1996 р. N 929 «Про посилення контролю за режимами споживання електричної і теплової енергії».
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 1999 р. N 189 «Про затвердження Порядку здійснення державного нагляду в електроенергетиці».
3. Указ Президента України «Про Положення про Державну екологічну інспекцію України»
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 9 липня 2014 р. №294 Про затвердження Положення про Державну архітектурно-будівельну інспекцію України.
5. ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення.
6. Веремійчук Ю. А. Підвищення ефективності здійснення енергетичного аудиту шляхом використання результатів перевірки суб'єктів господарювання наглядовими органами [Електронний ресурс] / Ю. А. Веремійчук, А. І. Замулко // Матеріали III міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку (PEMS-2016)» м. Київ, 31 травня - 01 червня 2016 р. . - Електрон. текст. дані. - Київ : НТУУ «КПІ», 2016. - Режим доступу : <http://pems.kpi.ua>.
7. Anatoly Zamulko, Yurii Veremiichuk Methods of controlling power consumption in terms of reforming market conditions. Scientific Journal of Riga Technical University. Series: Power and Electrical Engineering. № 32. 2014. P 41-46.

A. Zamulko, Y. Veremiichuk, M. Matviichuk

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» THE ANALYSIS OF TEST RESULTS OF THE BUSINESS ENTITIES BY SUPERVISORY AUTHORITIES – THE BASIS FOR THE ENERGY AUDIT

The descriptiveness of acts on carrying out of the State energy supervision measures was determined. The need of using developments or test results of the business entity by supervisory authorities during energy audit was researched. Considering the limited time for energy audit as well as the necessity of consideration of all significant for consumer issues of energy resources consumption in developing energy-saving measures, the ensuring an optimal use of the test results of audits of government agencies is expedient. In order to optimize the costs for the audit a priority can be considered the use of developments or the test results of business entities by state supervisory authorities.

Keywords: energy audit, energy management systems, energy efficiency, energy conservation.

References

1. Decree the Cabinet of Ministers of Ukraine of 7 August 1996 N 929 "On strengthening control over the modes of consumption of electricity and heat."
2. Decree the Cabinet of Ministers of Ukraine of 15 February 1999 N 189 "On approval the order exercise of the state supervision in the power industry."
3. Decree of the President of Ukraine "On the position about the State Ecological Inspectorate Ukraine"
4. Decree The Cabinet of Ministers of Ukraine of 9 July 2014 №294 "On approval of position about the State Architectural and Construction Inspectorate of Ukraine."
5. GOST ISO 50002:2016 (ISO 50002: 2014, IDT) Energy audits. Requirements and guidelines for their implementation.

6. Veremiichuk Y. Improving the efficiency implementation of energy audit by using analysis of test results of the business entities by supervisory authorities [electronic resource] / Y. Veremiichuk, A. Zamulko // Materials of III international scientific, technical and training and technical conference "Energy management: status and development prospects (PEMS-2016)" Kyiv, 31 May - June 1, 2016. - Email. text. data. - Kyiv, NTU "KPI" 2016 - Access: <http://pems.kpi.ua>.

7. Anatoly Zamulko, Yurii Veremiichuk Methods of controlling power consumption in terms of reforming market conditions. Scientific Journal of Riga Technical University. Series: Power and Electrical Engineering. № 32. 2014. P 41-46.

УДК 631

А.И. Замулко, канд. техн. наук, доц., **Ю.А. Веремийчук**, канд. техн. наук, ст. преп.,

М.В. Матвийчук, студент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕРКИ СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ НАДЗОРНЫМИ ОРГАНАМИ – ОСНОВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА

Определена информативность актов по проведению мероприятий государственного энергетического надзора (контроля). Исследована необходимость использования наработок или результатов проверок субъекта хозяйствования контролирующими органами при проведении энергетического аудита. Учитывая ограниченность во времени на проведение энергетического аудита, а также необходимость учета при разработке мероприятий по энергосбережению всех значимых для потребителя проблем по использованию энергетических ресурсов, целесообразным является обеспечение оптимального использования результатов проверок государственных органов исполнительной власти. С целью оптимизации расходов на проведение аудита одной из первоочередных задач можно считать использование наработок или результатов проверок субъекта хозяйствования государственными контролирующими органами.

Ключевые слова: энергетический аудит, системы энергетического менеджмента, уровень энергоэффективности, энергосбережения.

Надійшла 12.11.2016

Received 12.11.2016

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ENERGY TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

УДК 662.767.2 : (537.212 + 537-962)

Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, проф., В.Л. Коваленко, канд. техн. наук, доц., О.І. Лапікова
Запорізька державна інженерна академія

ЩОДО ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ТА МІКРОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЗАДІЯНІ В БІОМЕТАНОГЕНЕЗІ МІКРООРГАНІЗМИ

Проаналізовано стан сучасних досліджень щодо впливу електричних полів та мікрохвильового випромінювання на мікроорганізми. Узагальнено інформацію, отриману вітчизняними та іноземними науковцями в результаті експериментів над групами бактерій та дріжджів, що задіяні в біометаногенезі. Проаналізовано можливість стимуляції життєдіяльності мікроорганізмів, задіяних в біометаногенезі, та, як наслідок, збільшення виходу біогазу за рахунок впливу на субстрат електричних полів або мікрохвильового випромінювання. Встановлено існування залежності біологічних ефектів від параметрів зазначеного впливу: напруженості, частоти, форми імпульсу, типу модуляції і тривалості. В результаті проведеного аналізу виявлено безсистемність та вибірковість попередніх досліджень і необхідність подальшого уточнення параметрів інтенсифікації біометаногенезу на кожному його етапі, оптимальних з точки зору енергоефективності.

Ключові слова: біогаз, біометаногенез, електричне поле, мікрохвильове випромінювання, мікроорганізми, бактерії

Вступ. Через дефіцит паливних ресурсів особливо гостро постає питання розвитку нетрадиційної, а зокрема біогазової енергетики як одного з найбільш перспективних її напрямків.

На даний момент біогазові установки потребують великих енергозатрат для забезпечення власних потреб, що значно знижує їх ефективність. Традиційні методи стимуляції процесу біометаногенезу практично вичерпали себе [1], тому в [2] запропоновано підвищувати продуктивність метантенків використанням електромагнітних полів. Дослідження іноземних та вітчизняних науковців довели, що мікроорганізми, які беруть участь у виробництві біогазу на всіх етапах біометаногенезу, чуйно реагують на такий вплив. Одним з основних напрямів в цій області є експерименти з використанням електричних полів різного характеру та інтенсивності.

Мета та завдання. Систематизувати та узагальнити інформацію, отриману вітчизняними та іноземними науковцями в результаті експериментів над різними групами бактерій і дріжджів з використанням електричних полів та мікрохвильового випромінювання. Дослідити можливість інтенсифікації біометаногенезу та підвищення ефективності біогазових установок за рахунок запропонованого методу впливу.

Матеріал і результати досліджень. Застосування як об'єкту дослідження бактерій *E.coli* під впливом імпульсних електричних полів задля підвищення оборотної проникності мембран, інтенсифікації поглинання і виділення клітинних речовин показало прискорення цих процесів на 140%, про що в своїх роботах повідомили Д. Чанг та ін. [3]. Також подібний ефект для *Trichoderma reesei* відзначили Г. Кернс та ін. [4]. Дія електричного поля в статичному і змінному режимі також була досліджена для різного роду дріжджів. Так, поведінка *Saccharomyces Cerevisiae* відрізнялася у порівнянні з контрольною культурою максимальним зростанням на 100% при напруженості 0,85 кВ/см [5], а *Actinomyces Eubacterium* і *Streptomyces noursei* при 1,5 мВ/см стрімко розвивалися тільки протягом перших 50 годин від початку впливу, хоча весь час досліду спостерігалось збільшення рівня споживання кисню та утилізації глюкози [6].

Електростимуляція також може використовуватися для підвищення ефективності підкормки в процесах життєдіяльності мікроорганізмів. Під впливом імпульсів електричного поля напруженістю 0,25 кВ/см тривалістю 10 мс дріжджами *Kluveromyces marxianus* в присутності ферменту целлюлоза поліпшується утилізація поживних речовин і підвищується конверсія субстрату в етанол, вихід якого збільшується майже на 40% порівняно з контрольним зразком [7]. Крім того, Г. Кернс та ін. [8] довели, що завдяки такому

полно з інтенсивністю 1,5 мВ/см впродовж 115 годин в *Trichoderma reesei* збільшується активність целюлази і її секреції на 60% і 80%, відповідно, а для різних груп мікроорганізмів при 1,25–3,25 кВ/см спостерігається більш інтенсивне виведення з них токсичних речовин, що підвищує їх життєздатність [9].

Окремим напрямом досліджень впливу на мікроорганізми є експерименти в режимі так званої «далекої зони», що передбачає розповсюдження енергії в середовищі проживання бактерій у вигляді хвиль надвисокої частоти. Він охоплює неіонізуючі радіохвилі і мікрохвильовий діапазон, а також оптичне й іонізуюче, інфрачервоне, видимого спектру, ультрафіолетове, рентгенівське і гамма-випромінювання. Ефект від хвиль низької інтенсивності спостерігався в дослідженнях, які проводилися в 1970 році в Росії і пізніше були продовжені в Європі. У своїй роботі В. Грюндлер та ін. [10] використовували частоти близькі до 42 ГГц. Експерименти продемонстрували, що резонансні явища в дріжджах *Saccharomyces Cerevisiae* збільшують темп їх зростання до 15% або пригнічують його до 29%, залежно від частоти, а саме в діапазоні від 41,83 до 41,96 ГГц.

С. Банік та ін. [11] досліджували життєздатність бактерій *Methanosarcina barkeri* і *Methanosarcina archaeobacterium*, що приймають участь у процесі виробництва біогазу. Мікроорганізми піддавалися впливу полів надвисокої частоти 13,5–36,5 ГГц тривалістю 2 години протягом трьох днів перед додаванням їх в анаеробні реактори. При цьому спостерігалось значне збільшення концентрації метану в біогазовій суміші, яке досягло максимуму 76,3% при 31,5 ГГц, в порівнянні з 52,3% без зазначеної обробки.

У роботах Л. Тамбієва [12] відзначено, що вплив високочастотних мікрохвиль малої потужності 2,2 мВт/см² тривалістю 30 хв при довжині хвилі 7,1 мкм призводить до збільшення швидкості зростання ціанобактерії *Spirulina Platensis* на 50%. І. Беляєв та ін. [13] довели, що існує частота конкретної резонансної взаємодії між мікрохвилями низької інтенсивності та хромосомної ДНК в *E.coli*, що також позитивно відображається на процесах її життєдіяльності.

Отже, загалом дослідження показали, що питома швидкість зростання більшості мікроорганізмів, і таких, що беруть участь у біометаногенезі, зокрема, збільшується під впливом полів надвисокої частоти. Чисельність бактерій в опроміненій групі зростає, а їх діаметр збільшується, в середньому, на 20%.

У таблиці 1 наведена узагальнена інформація щодо досліджень, які проводилися над групами бактерій та дріжджів за впливу електричних полів та мікрохвильового випромінювання.

Таблиця 1 – Результати досліджень з використанням електричних полів та мікрохвильового впливу

Вид поля	Найменування мікроорганізму	Параметри впливу	Результат
Електроосмос, електрофорез	<i>E.coli</i>		Збільшення об'єму біомаси на 140%
Постійне електричне	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>		Збільшення темпу зростання на 60% в режимі змінного струму і 50% - постійного
Змінне електричне	<i>E.coli</i>	2,5-50 В/см; частота 100 Гц	Підвищення життєдіяльності
	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	до 1500 В/см	Максимальне зростання в 2 рази при 0,85 кВ/см
	<i>Trichoderma reesei</i>		Збільшення об'єму біомаси
	<i>Actinomycetous Eubacterium</i> і <i>Streptomyces noursei</i>	1,5 мВ/см; більше 50 год.	Прискорення росту, але тільки протягом перших 50 годин після початкової фази

Продовження табл. 1

Мікрохвильове випромінювання	Saccharomyces Cerevisiae	1-4 мВт/см ² ; частота близько 42 ГГц	Збільшення темпу зростання до 15% або його зниження до 29% залежно від частоти
	Spirulina Platensis	Довжина хвилі 7,1 мкм; 2,2 мВт/см ² ; тривалість 0,5 год.	Збільшення об'єму біомаси на 50%
	Methanosarcina barkeri і Methanosarcina archaeobacterium	Частота 13,5-36,5 ГГц; 2 год. протягом 3 днів перед завантаженням в реактор	Значне збільшення концентрації метану, яке досягло максимуму в 76,3% CH ₄ при частоті 31,5 ГГц, в порівнянні з 52,3% з контрольним зразком. Збільшення питомої швидкості росту для всього діапазону частот

Як видно з таблиці 1, експерименти мають безсистемний характер та потребують подальшого уточнення, але підтверджують можливість стимуляції процесів життєдіяльності для різних мікроорганізмів даним способом.

Висновки. В результаті аналізу наукових досліджень, що проводилися над різними групами мікроорганізмів при використанні електричного та мікрохвильового впливу, встановлено, що існує пряма залежність біологічних ефектів в них від характеристик зазначених полів: напруженості, частоти, форми імпульсу, типу модуляції і тривалості. Встановлено, що правильно підібрані параметри останніх можуть стимулювати процес виробництва біогазу та підвищити ефективність біогазових установок в цілому. Однак, через безсистемність та вибірковість експериментів, а також явно випадковий їх характер і не оптимальність з точки зору енергетичного критерію, є необхідність подальшого уточнення та узагальнення параметрів інтенсифікації біометаногенезу на кожному його етапі, що дозволить, в перспективі, створити інструментарій динамічного керування зазначеним процесом на більш енергоефективному рівні.

Список використаної літератури

1. Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І. Аналіз доцільності впливу на біомасу електричними і магнітними полями / Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І. // Збірник Міжнародної конференції «Відновлювана енергетика 21 століття». – К. : КНУ, 2015. – С.353-355.
2. Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І. Аналіз ефективності та перспектив розвитку біогазової енергетики / Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І. // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – №5 – С.79-83.
3. Chang, Y.H.D., Grodzinsky A.J., Wang, D.I.C. Augmentation of mass transfer through electrical means for hydrogel-entrapped Escherichia coli cultivation / Chang, Y.H.D., Grodzinsky A.J., Wang, D.I.C. // Biotechnology And Bioengineering., 1995. – № 48 – P.149-157.
4. Cellini L. Bacterial response to the exposure of 50 Hz electromagnetic fields / Cellini L., Grande R., Campi E.D., Bartolomeo S.D., Giulio M.D., Robuffo I., Trubiani O., Mariggio // Bioelectromagnetics, 2008. – №29 – P.302-311.
5. Fologea D. Increase of Saccharomyces cerevisiae plating efficiency after treatment with bipolar electric pulses / Fologea D., Vassu-Dimov T., Stoica I., Csutak O., Radu M. // Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1998. – №46 – P.285-287.

6. Grosse H.H. Electrostimulation during fermentation / Grosse H.H // Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1988. – №20 – P.279-285.
7. McCabe A. Increased efficiency of substrate utilization by exposure of the thermotolerant yeast strain, *Kluyveromyces marxianus* IMB3 to electric-field stimulation / McCabe A., Barron N., McHale L., McHale A.P // Biotechnology Techniques, 1995. – №9 – P.133-136.
8. Kerns G., Bauer E., Berg, H. Electrostimulation of cellulase fermentation by pulsatile electromagnetically induced currents / Kerns G., Bauer E., Berg, H. // Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1993. – №32 – P.89-94.
9. Bustard M., Rollan A., McHale A.P. The effect of pulse voltage and capacitance on biosorption of uranium by biomass derived from whiskey distillery spent wash / Bustard M., Rollan A., McHale A.P. // Bioprocess engineering. 1998. – №18 – P.59-62.
10. Grundler W., Keilmann F., Fröhlich H. Resonant growth rate response of yeast cells irradiated by weak microwaves / Grundler W., Keilmann F., Fröhlich H // Physics Letters. A, 1977. – № 62 – P.463-466.
11. Banik, S.; Bandyopadhyay, S.; Ganguly, S.; Dan, D. Effect of microwave irradiated *Methanosarcina barkeri* DSM-804 on biometanogenesis. Bioresource technology. 2005. – № 97 – P.819-823.
12. Pakhomov A.G. Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves: A Review of the literature / Pakhomov A.G., Akyel Y., Pakhomova O.N., Stuck B.E., Murphy M.R // Bioelectromagnetics, 1998. – №19 – P.393-413.
13. Belyaev I.Y., Alipov Y.D., Shcheglov V.S. Chromosome DNA as a target of Resonant interaction between *Escherichia coli* cells and low-intensity millimeter waves / Belyaev I.Y., Alipov Y.D., Shcheglov V.S. // Electro-Magnetobiology, 1992. – №11 – P.97-108.

Y. Kachan, Dr. Sc. Sciences, prof., **V. Kovalenko**, PhD. Sc. Sciences, **O. Lapikova**
Zaporozhye State Engineering Academy

EFFECT OF ELECTRIC FIELD AND MICROWAVE RADIATION ON MICROORGANISMS INVOLVED IN BIOMETANOGENEZ

The state of current research on the influence of electric fields and microwave radiation on microorganisms is analyzed. The information received by domestic and foreign scientists in experiments on groups of bacteria and yeast that are involved in biometanogenesis is overviewed. The possibility of stimulating of microorganisms involved in biometanogenesis and, consequently, increase the yield of biogas due to the impact on the substrate electric fields or microwave radiation is revealed. The existence of biological effects depending on the settings specified exposure: intensity, frequency, pulse shape, modulation type and duration is detected. The analysis was unsystematic and selectivity of previous studies. The need to further refine of biometanogenesis intensification parameters on every step, optimal in terms of efficiency, is revealed.

Keywords: biogas, biometanogenesis, electric fields, microwave radiation, germs, bacteria

References

1. Kachan Y.G., Kovalenko V.L., Lapikova O.I. Feasibility analysis of impacts on biomass of electric and magnetic fields / Kachan Y.G., Kovalenko V.L., Lapikova O.I. // Collection of International conference "Renewable energy of the 21st century". – K. NUC, 2015. – P. 353-355.
2. Kachan Y.G., Kovalenko V.L., Lapikova O.I. Analysis of efficiency and development prospect of biogas energetic / Kachan Y.G., Kovalenko V.L., Lapikova O.I. // The scientific journal "Energetic: economy, technology, ecology". – NTUU "KPI", 2015. – №5 – P.79-83.
3. Chang, Y.H.D., Grodzinsky A.J., Wang, D.I.C. Augmentation of mass transfer through electrical means for hydrogel-entrapped *Escherichia coli* cultivation / Chang, Y.H.D., Grodzinsky A.J., Wang, D.I.C. // Biotechnology And Bioengineering., 1995. – № 48 – P.149-157.
4. Cellini L. Bacterial response to the exposure of 50 Hz electromagnetic fields / Cellini L., Grande R., Campli E.D., Bartolomeo S.D., Giulio M.D., Robuffo I., Trubiani O., Mariggio // Bioelectromagnetics, 2008. – №29 – P.302-311.
5. Fologea D. Increase of *Saccharomyces cerevisiae* plating efficiency after treatment with bipolar electric pulses / Fologea D., Vassu-Dimov T., Stoica I., Csutak O., Radu M. // Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1998. – №46 – P.285-287.

6. Grosse H.H. Electrostimulation during fermentation / Grosse H.H // Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1988. – №20 – P.279-285.
7. McCabe A. Increased efficiency of substrate utilization by exposure of the thermotolerant yeast strain, *Kluyveromyces marxianus* IMB3 to electric-field stimulation / McCabe A., Barron N., McHale L., McHale A.P // Biotechnology Techniques, 1995. – №9 – P.133-136.
8. Kerns G., Bauer E., Berg, H. Electrostimulation of cellulase fermentation by pulsatile electromagnetically induced currents / Kerns G., Bauer E., Berg, H. // Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 1993. – №32 – P.89-94.
9. Bustard M., Rollan A., McHale A.P. The effect of pulse voltage and capacitance on biosorption of uranium by biomass derived from whiskey distillery spent wash / Bustard M., Rollan A., McHale A.P. // Bioprocess engineering. 1998. – №18 – P.59-62.
10. Grundler W., Keilmann F., Fröhlich H. Resonant growth rate response of yeast cells irradiated by weak microwaves / Grundler W., Keilmann F., Fröhlich H // Physics Letters. A, 1977. – № 62 – P.463-466.
11. Banik, S.; Bandyopadhyay, S.; Ganguly, S.; Dan, D. Effect of microwave irradiated *Methanosarcina barkeri* DSM-804 on biomethanation. Bioresource technology. 2005. – № 97 – P.819-823.
12. Pakhomov A.G. Current state and implications of research on biological effects of millimeter waves: A Review of the literature / Pakhomov A.G., Akyel Y., Pakhomova O.N., Stuck B.E., Murphy M.R // Bioelectromagnetics, 1998. – №19 – P.393-413.
13. Belyaev I.Y., Alipov Y.D., Shcheglov V.S. Chromosome DNA as a target of Resonant interaction between *Esherichia coli* cells and low-intensity millimeter waves / Belyaev I.Y., Alipov Y.D., Shcheglov V.S. // Electro-Magnetobiology, 1992. – №11 – P.97-108.

УДК 662.767.2 : (537.212 + 537-962)

Ю.Г. Качан, д-р. техн. наук, проф., **В.Л. Коваленко**, канд. техн. наук, доц., **О.И. Лапикова**
Запорожская государственная инженерная академия

**О ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА МИКРООРГАНИЗМЫ, ЗАДЕЙСТВОВАННЫЕ В БИОМЕТАНОГЕНЕЗЕ**

Проанализировано состояние современных исследований по влиянию электрических полей и микроволнового излучения на микроорганизмы. Обобщена информация, полученная отечественными и иностранными учеными в результате экспериментов над группами бактерий и дрожжей, которые задействованы в биометаногенезе. Выявлена возможность стимуляции жизнедеятельности микроорганизмов, задействованных в биометаногенезе, и, как следствие, увеличения выхода биогаза за счет влияния на субстрат электрических полей или микроволнового излучения. Установлено существование зависимости биологических эффектов от параметров указанного воздействия: напряженности, частоты, формы импульса, типа модуляции и продолжительности. В результате проведенного анализа выявлена бессистемность и избирательность предыдущих исследований и необходимость дальнейшего уточнения параметров интенсификации биометаногенеза на каждом его этапе, оптимальных с точки зрения энергоэффективности.

Ключевые слова: биогаз, биометаногенез, электрическое поле, микроволновое излучение, микроорганизмы, бактерии

Надійшла 26.12.2016
Received 26.12.2016

В.В. Ніценко, інженер служби релейного захисту
ВП ДП «НЕК «Укренерго» Дніпровська ЕС
Д.О. Кулагін, канд. техн. наук, проф., П.В. Махлін, канд. техн. наук, доц.,
Запорізький національний технічний університет,

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ СЕЛЕКТИВНОСТІ ДІЇ ДИФЕРЕНЦІЙНО-ФАЗНОГО ЗАХИСТУ ЗБІРНИХ ШИН ПРИ НАСИЧЕННІ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

Актуальною проблемою за напрямком розвитку та технічного вдосконалення функціональних властивостей пристроїв релейного захисту елементів електричних станцій та мереж залишається проблема, що полягає у забезпеченні селективної дії цих пристроїв в усталених та перехідних режимах коротких замикань та за інших умов, за яких можливе насичення магнітних систем вимірювальних трансформаторів струму, до вторинних кіл яких підключено релейний захист. У статті проаналізовані ймовірні режими насичення трансформаторів струму та досліджено функціонування диференційно-фазного захисту збірних шин розподільчих установок за виникнення цих режимів. За результатами досліджень авторами виявлена спільна ознака для вищевказаних режимів – наявність у вторинному струмі трансформатора струму безструмових пауз певної тривалості, яка визначається умовами та ступенем його насичення. Застосування даної особливості було покладено в основу створення функціонального алгоритму диференційно-фазного захисту шин, що підвищує селективність його дії за глибокого насичення трансформаторів струму одного або декількох приєднань. Приведена структурна схема та пояснення функціонування розробленого алгоритму, зроблені висновки щодо ефективності його застосування.

Ключові слова: релейний захист, диференційно-фазний захист шин, селективність, формувачі імпульсів, трансформатор струму, насичення, струм намагнічування.

Вступ.

Як відомо, однією з основних причин неселективних спрацювань пристроїв релейного захисту (РЗ) елементів електричних станцій та мереж в усталених та перехідних режимах зовнішніх коротких замикань (КЗ) є функціонування трансформаторів струму (ТС), від вторинних кіл яких отримують живлення зазначені пристрої, з підвищеними струмовими та кутовими похибками трансформації. Струмові похибки ТС обумовлюють відмінність між абсолютними величинами приведенного первинного та вторинного струмів ТС, здійснюючи при цьому негативний вплив на функціонування реагуючих органів пристроїв РЗ, виконаних на струмовому, дистанційному або на диференційному струмовому принципах, у той час як кутові похибки ТС, що обумовлюють відмінність між напрямками векторів протилежно направленою первинного та вторинного струмів ТС, негативно впливають на функціонування пристроїв РЗ, що за своїм принципом дії реагують лише на співвідношення між фазами струмів (диференційно-фазні захисти) або на різницю між абсолютними значеннями та напрямками векторів струмів (диференційні захисти). Допустимі значення струмових та кутових похибок ТС, що застосовуються для підключення кіл пристроїв РЗ, визначені державними нормами та стандартами [1,2]. За певних обставин та умов експлуатації похибки ТС можуть перевищувати встановлені для них допустимі значення. До цих обставин зокрема належить насичення магнітних систем ТС в усталених та перехідних режимах КЗ або ж за кидку струму намагнічування силових трансформаторів. За глибокого насичення ТС відбувається різке зростання їх струмових та кутових похибок [3,4,5], що може виявитись причиною виникнення неселективної дії РЗ. Причому, як було встановлено в [3], зростання струмових похибок ТС відбувається в значно більшому ступені, ніж їх кутових похибок, через що було зроблено висновок про доцільність застосування пристроїв РЗ, які за своїм принципом дії мають бути відлаштовані лише від максимальних значень кутових похибок ТС в усталених та перехідних режимах КЗ. До даного типу пристроїв РЗ належить диференційно-фазний захист, що за принципом дії реагує на співвідношення між фазами струмів, які протікають по кінцях зони, що захищається, обмеженої встановленими комплектами ТС, до яких підключено захист. Зокрема, у статті будуть запропоновані дієві алгоритмічні засоби з забезпечення високої селективності дії диференційно-фазного захисту збірних шин (ДФЗШ) розподільчих установок електричних станцій та мереж в умовах глибокого насичення ТС одного чи декількох приєднань при КЗ та за кидку струму намагнічування увімкненого під напругу силового трансформатора.

Актуальність роботи. Відповідно до [6], при виконанні аналізу впливу насичення ТС на поведінку пристроїв РЗ доцільно розглядати два можливі випадки. За першого з цих випадків насичення ТС обумовлено впливом аперіодичних складових, що містяться в аварійних струмах перехідного процесу КЗ або в однополярному кидку струму намагнічування, за другого – за відсутності аперіодичних складових, наприклад, за перевищення допустимого навантаження вторинного кола ТС або граничної кратності первинного струму КЗ. Обидва зазначені випадки є цілком реальними з практичної точки зору в умовах технічної експлуатації ТС, а саме тому потребують вирішення питань з забезпечення селективної дії пристроїв РЗ за виникнення зазначених режимів. Оскільки пристрій ДФЗШ, який запропоновано до застосування у якості комплексу основного швидкодіючого захисту ЗШ від всіх видів пошкоджень, відповідно до [7,8,9], не відлаштований за часом від перехідних процесів КЗ та від впливу підвищених кутових похибок ТС, що можуть перевищувати уставку кута блокування захисту [8,10], розробка засобів з підвищення селективності його дії в умовах насичення ТС при КЗ та за виникнення кидку струму намагнічування є актуальним завданням, вирішення якого потребує комплексного підходу до аналізу ustalених та перехідних процесів, що супроводжуються насиченням ТС, їх узагальнення та визначення особливостей їх протікання.

Мета роботи – розробка алгоритмічних засобів із забезпечення селективного функціонування диференційно-фазного захисту збірних шин розподільчих установок електричних станцій та мереж в ненормальних та аварійних режимах енергосистеми за умови функціонування ТС, до яких підключено захист, з підвищеними похибками, обумовленими їх насиченням.

Матеріали і результати досліджень. Для дослідження впливу насичення ТС в ustalених та перехідних режимах КЗ, а також за кидку струму намагнічування на функціонування реагуючого органу ДФЗШ проаналізуємо особливості перебігу кожного із зазначених режимів з урахуванням впливу чинників цих режимів на точність трансформації первинного струму у вторинну обмотку ТС, та, як наслідок, на спотворення форми їх вторинних струмів.

Згідно з [6], за наявності в первинних струмах КЗ аперіодичних складових у функціонуванні ТС можна виділити декілька послідовних стадій. У початковій стадії ТС за більшості випадків є ненасиченим, нормальна трансформація первинного струму у вторинне коло ТС не порушується, у вторинному струмі ТС містяться аперіодичні складові, а вищі гармоніки при цьому відсутні та, як наслідок, форма вторинного струму ТС близька до синусоїдальної.

Похибки трансформації ТС на цій стадії, як правило, не перевищують допустимих значень. Тривалість перебування ТС у ненасиченому стані за перехідного процесу КЗ визначається конкретними умовами їх функціонування та може коливатись від одного до декількох періодів струму промислової частоти. За найбільш несприятливих випадків, наприклад за наявності в магнітній системі ТС залишкової індукції, що за своїм напрямком співпадає з потоком намагнічування ТС, та за наявності в перехідному струмі КЗ значної за абсолютною величиною аперіодичної складової, як це показано на рис.1, насичення ТС може здійснюватись вже на першому періоді, що є вкрай негативним явищем з точки зору забезпечення селективного функціонування пристроїв РЗ.

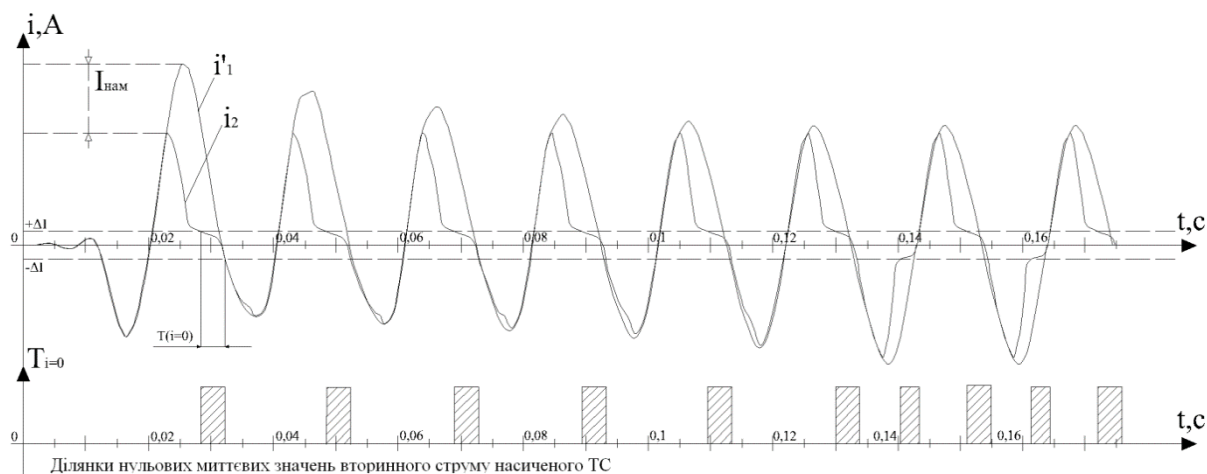


Рисунок 1 – Осцилограма процесу насичення ТС в перехідному режимі КЗ: i_1 – приведений первинний струм ТС, i_2 – вторинний струм ТС, $I_{\text{нама}}$ – величина струму намагнічування ТС, $T_{(i=0)}$ – ділянка нульових миттєвих значень вторинного струму, $\pm \Delta I$ – інтервал, на якому крива вторинного струму ТС наближається до осі нульових миттєвих значень струму.

При насиченні ТС вміст аперіодичної складової у його вторинному струмі різко знижується за рахунок збільшення струму намагнічування ТС, при цьому також у вторинному струмі з'являються парні та непарні гармоніки, переважно друга та третя, що призводять до значного спотворення синусоїдальної форми вторинного струму ТС, та, як наслідок, до суттєвого збільшення його струмових та кутових похибок. Вміст першої гармоніки у вторинному струмі ТС при цьому різко знижується, що може виявитись причиною відмови при внутрішніх КЗ пристроїв РЗ, що за принципом дії реагують на діючі чи амплітудні значення першої гармоніки струмів, або ж на їх фази. Характерною особливістю спотвореної форми вторинного струму насиченого ТС є наявність ділянок на яких за рахунок перемагнічування ТС миттєві значення його вторинного струму наближаються до нуля, як це показано на рис.1 (інтервал $\pm\Delta I$). Тривалість цих ділянок за різних умов виявляється неоднаковою та обумовлена впливом чинників, зазначених у [4]. Проте у більшості випадків їх тривалість становить близько чверті періоду струму промислової частоти (5 мс). На цих ділянках, як показано на рис.1, крива вторинного струму ТС наближається до осі нульових миттєвих значень струму, що дозволяє нам знехтувати цими значеннями та наближено вважати їх рівними нулю. **Застосування даної особливості може бути покладено в основу розробки алгоритмічних засобів з підвищення селективності функціонування пристрою ДФЗШ за глибокого насичення ТС одного або одночасно декількох присідань.**

По мірі затухання перехідного процесу ТС виходить з режиму насичення, відновлюється його нормальне функціонування, при цьому похибки трансформації первинного струму зменшуються, вторинний струм ТС набуває форми близької до синусоїдальної.

Відповідно до [6,8], процес насичення ТС в усталених режимах КЗ за відсутності у первинному струмі КЗ аперіодичних складових та при кидку струму намагнічування має подібний характер процесу насичення ТС в перехідних режимах. На рис.2 наведено осцилограму процесу насичення ТС в усталеному режимі КЗ за умови перевищення допустимого навантаження його вторинного кола.

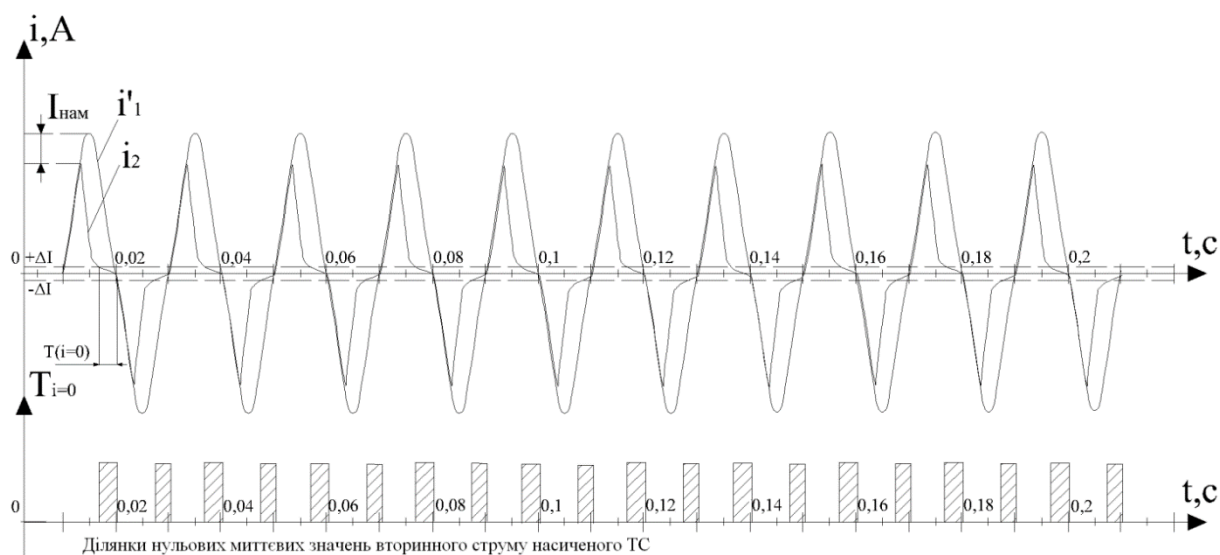


Рисунок 2 – Осцилограма процесу насичення ТС в усталеному режимі КЗ за умови перевищення допустимого навантаження його вторинного кола.

За даного режиму, як показано на рис.2, насичення ТС здійснюється, як правило, вже на першому періоді струму промислової частоти [4,6,8]. У спотворених вторинних струмах ТС з'являються лише непарні гармоніки, переважно третя та п'ята, що також спотворюють синусоїдальну форму струму та призводять до різкого збільшення струмових та кутових похибок ТС, які залишаються практично незмінними на протязі всього часу існування КЗ. Відсутність парних гармонік обумовлена відсутністю аперіодичної складової, що призводить до порушення симетрії кривої вторинного струму ТС відносно осі часу. Як показано на рис.2, подібно процесу насичення ТС за впливу аперіодичної складової, у даному випадку також існують ділянки, на яких миттєві значення вторинного струму ТС наближаються до нуля, причому тривалість цих ділянок аналогічна вищезгаданому випадку. Можемо також допустити, що на цих ділянках миттєві значення вторинного струму ТС рівні нулю.

На рис.3 наведена осцилограма процесу насичення ТС за умови кидку струму намагнічування при увімкненні в мережу силового трансформатора, що також містить подібні ділянки (безструмові паузи), на яких можемо вважати миттєві значення вторинного струму ТС рівними нулю.

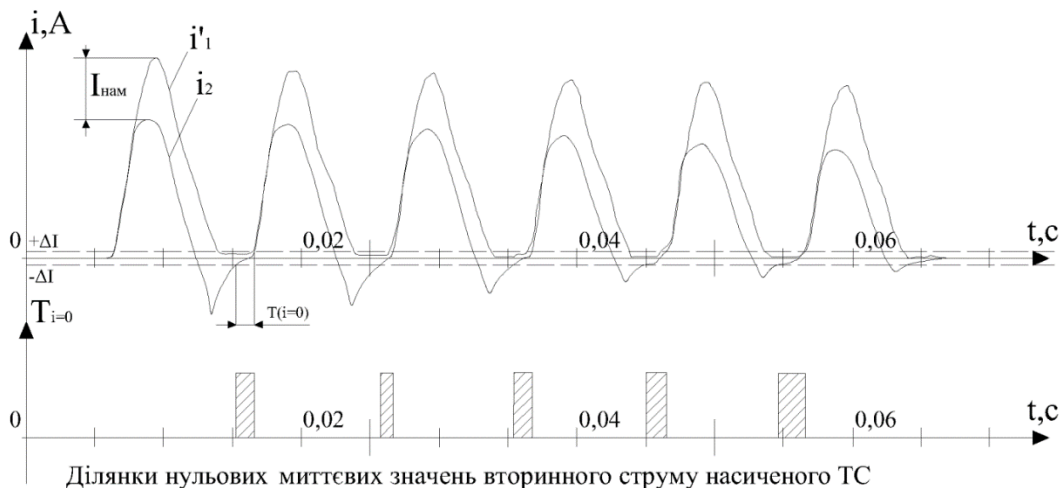
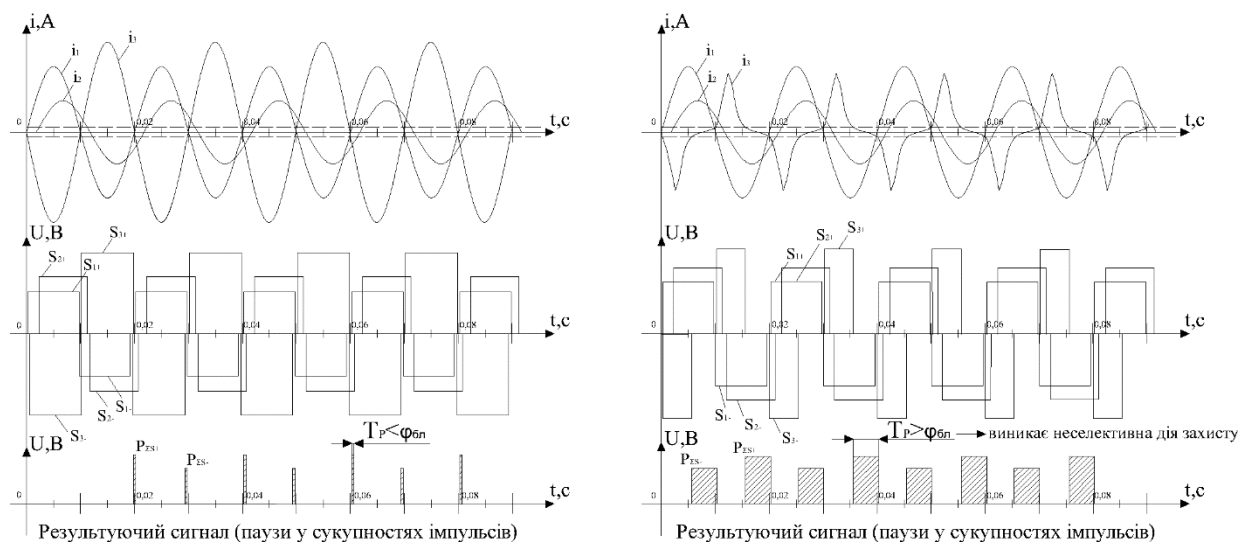


Рисунок 3 - Осцилограма процесу насичення ТС при кидку струму намагнічування силового трансформатора

Таким чином, криві вторинного струму ТС, за умови його насичення в усталених та перехідних режимах КЗ та за кидку струму намагнічування мають спільну ознаку – наявність безструмових пауз певної тривалості, яка визначається умовами та ступенем насичення ТС [4,6,8].

Наявність ділянок з нульовими миттєвими значеннями вторинних струмів ТС (при його насиченні) для одного з приєднань, підключених до спільної системи ЗШ, та відсутність цих ділянок для інших приєднань (з ненасиченими ТС) може призвести до виникнення неселективної дії пристрою ДФЗШ, алгоритм дії якого заснований на визначенні тривалості пауз у сукупностях різнополярних імпульсів, сформованих із напівхвиль вторинних струмів ТС [7,8], у разі, якщо тривалість безструмових пауз перевищуватиме уставку кута блокування захисту [7-10]. Реагуючим органом ДФЗШ безперервно здійснюється визначення співвідношень між фазами струмів приєднань шляхом формування прямокутних імпульсів напруги позитивної та негативної полярності з відповідних їм напівхвиль вторинних фазних струмів ТС у момент переходу синусоїди цих струмів через нуль, або через встановлене уставкою значення рівня формування імпульсів [8-10]. Більш детальніше механізм функціонування пристрою ДФЗШ та способи реалізації його логічних кіл розглянуті в [8]. На рис.4 проілюстровано функціонування пристрою ДФЗШ в режимі зовнішнього КЗ без насичення ТС пошкодженого приєднання (рис.4а) та за умови їх насичення (рис.4б).



а) Зовнішнє КЗ при ненасичених ТС пошкодженого приєднання

б) Зовнішнє КЗ при насичених ТС пошкодженого приєднання

Рисунок 4 – Функціонування ДФЗШ в режимі зовнішнього КЗ при ненасичених та насичених ТС пошкодженого приєднання: i_1-i_3 – вторинні фазні струми ТС приєднань, підключених до спільної системи ЗШ; $S_{1+}-S_{3+}$ – сформовані імпульси позитивної полярності; $S_{1-}-S_{3-}$ – сформовані імпульси негативної полярності; $P_{\gamma S_{+}}, P_{\gamma S_{-}}$ – паузи у сукупностях позитивних та негативних імпульсів відповідно.

Як показано на рис.4а, при ненасиченому стані ТС пошкодженого приєднання селективне функціонування ДФЗШ при зовнішніх КЗ не порушується, тривалість пауз в сукупностях різнополярних імпульсів напруги T_p не перевищує уставки кута блокування захисту $\varphi_{\text{бл}}$, тобто виконується умова його неспрацювання $T_p < \varphi_{\text{бл}}$. При насиченні ТС пошкодженого приєднання, як це показано на рис.4б, селективність функціонування ДФЗШ порушується за рахунок того, що з безструмових пауз формування імпульсів напруги не здійснюється, натомість «провал», що виникає у результируючому сигналі, хибно сприймається захистом, як сигнал, що свідчить про синфазність струмів усіх приєднань, підключених до спільної системи ЗШ, а отже і про її пошкодження, що не відповідає дійсності. Тривалість пауз в сукупностях різнополярних імпульсів напруги перевищуватиме уставку кута блокування захисту, тобто виконуватиметься умова його спрацювання $T_p > \varphi_{\text{бл}}$, що призведе до його надлишкової дії.

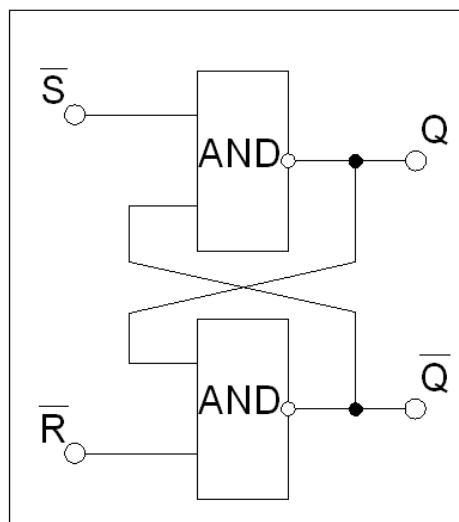
Для попередження можливої неселективної дії ДФЗШ за вищерозглянутих випадків авторами розроблено функціональний алгоритм, яким передбачається реалізація можливості подовження різнополярних імпульсів напруги, сформованих зі спотворених напівхвиль вторинних фазних струмів насичених ТС приєднань. Структурна схема розробленого алгоритму приведена на рис.5.



Рисунок 5 – Структурна схема алгоритму формування імпульсів у ДФЗШ

Структурна схема, що приведена на рис.5, містить наступні функціональні та логічні блоки:

- 1- блоки формування прямокутних імпульсів напруги позитивної та негативної полярності при переході вхідного сигналу вторинного фазного струму через рівень формування імпульсів $\pm i_y$;
- 2 – блоки елементів пам'яті (фіксації вхідних сигналів), у якості яких застосовані асинхронні RS-тригери, структурна схема яких приведена на рис.6;
- 3 – блоки інтегрування сигналів;
- 4 – блоки подовження імпульсів;
- 5, 6 – блоки порівняння миттєвих величин з заданими уставками T_1 та T_2 відповідно;
- блоки логічних операцій «АБО» (OR), «НЕ» (NOT), «І» (AND);
- вихідні блоки імпульсних сигналів позитивної S+ та негативної S- полярності.



RS-trigger

Рисунок 6 – Структурна схема асинхронного RS-триггера

Розроблений авторами алгоритм функціонує наступним чином. Формування різнополярних імпульсів напруги здійснюється із напівхвиль позитивної та негативної полярності вторинних фазних струмів ТС приєднань в момент переходу зазначених сигналів через встановлений рівень формування імпульсів $\pm i_y$ (блоки 1), що задається параметрами налаштування захисту, або через нуль за умови, якщо не передбачається встановлення уставки рівня формування, $\pm i_y = 0$. Сформовані імпульси напруги надходять до входу 1 тригерних блоків пам'яті (блоки 2), якими забезпечується фіксація (запам'ятовування) цих імпульсів на деякий час. Незалежно від тривалості вхідних імпульсів, підрич їхньої фіксації здійснюється кожного разу при зміні полярності вхідного імпульсу, тобто при надходженні до входу зняття фіксації (вхід 0) тригерного блоку імпульсу протилежної полярності або за умови визначення блоком 5 тривалості вихідного імпульсу такою, що перевищує значення параметру його налаштування ($T_1 = 20 \text{ мс}$), яким визначається відключений стан вимикача приєднання або існування однополярного сигналу, наприклад кидку струму намагнічування. Визначення тривалості вхідних та вихідних імпульсів забезпечується шляхом їх інтегрування у блоках 3. У разі визначення тривалості вхідного імпульсу, що перевищує значення параметру налаштування блоку 6 ($T_2 = 10 \text{ мс}$), здійснюється укорочення вихідного імпульсу, що забезпечується шляхом підричу його фіксації за входом 0 тригерного блоку, що необхідно для забезпечення селективної дії ДФЗШ у перехідних режимах. В обох контурах формування як позитивних, так і негативних імпульсів передбачається можливість подовження вхідних імпульсів незалежно від їх початкової тривалості на деякий час, що визначається параметром налаштування блоку 4 ($T_{\text{PULSE}} = 0 \text{ мс}$), що може виявитись необхідним для підвищення селективності захисту при зовнішніх КЗ за умови завищення уставки рівня формування імпульсів $\pm i_y$, що, як наслідок, призводить до зниження чутливості ДФЗШ, зокрема за наявності приєднань зі слабким живленням.

Розробленим алгоритмом виключається ймовірність виникнення «провалу» імпульсу у результуючому сигналі при зовнішніх КЗ за наявності у вторинному струмі ТС пошкодженого приєднання безструмових пауз, обумовлених його насиченням та, як наслідок, виникнення неселективної дії ДФЗШ. Під час безструмових пауз забезпечуватиметься подовження позитивних або (та) негативних імпульсів, що формуються зі спотворених напівхвиль вторинного струму насиченого ТС і, як наслідок, перекриття цих пауз. При зовнішніх КЗ за ненасичених ТС завжди здійснюватиметься підрич фіксації вхідних імпульсів у кожному разі за зміни їх полярності.

На рис.7, рис.8 проілюстровано функціонування розробленого авторами алгоритму для випадків усталеного та перехідного режимів КЗ з насиченням ТС.

Як показано на рис.7 та рис.8, вихідні позитивні та негативні імпульси є подовженими у порівнянні з вхідними імпульсами, що обумовлено дією тригерних блоків, причому між різнополярними вихідними імпульсами відсутні паузи, наявність яких може призводити до неселективної дії ДФЗШ, про що було зазначено.

На рис.9 проілюстровано функціонування пристрою ДФЗШ в режимі зовнішнього КЗ за умови насичення ТС пошкодженого приєднання, але вже при застосуванні розробленого алгоритму формування імпульсів. При цьому у результуючому сигналі, що аналізується реагуючим органом ДФЗШ відсутні паузи між сукупностями імпульсів позитивної та негативної полярності, тобто виконується нерівність $T_p = 0 < \varphi_{\text{дл}}$, що відповідає умові неспрацювання захисту, тим самим забезпечується його селективна дія.

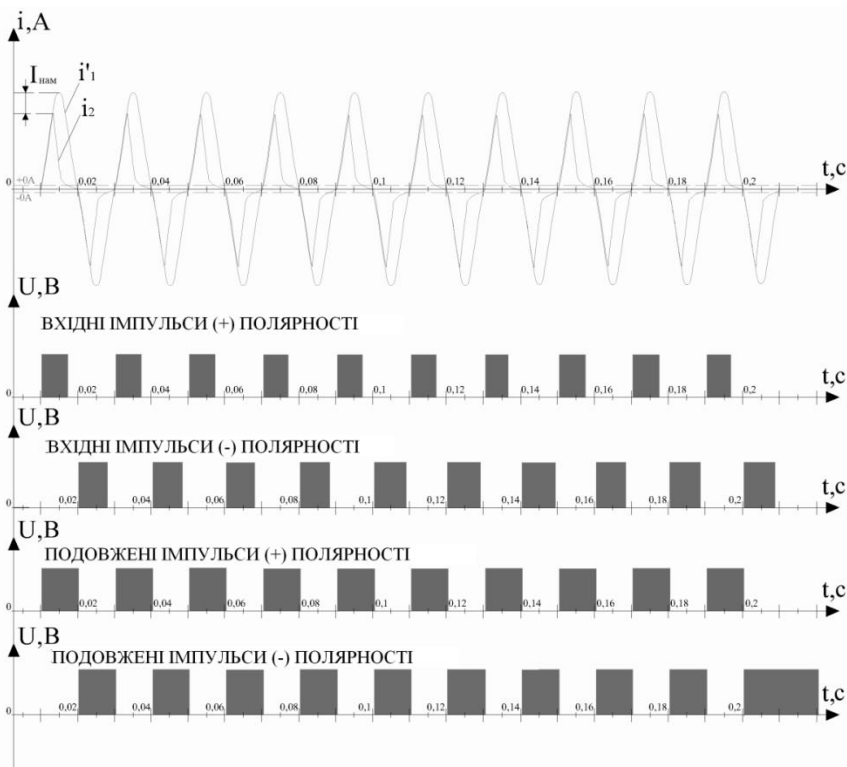


Рисунок 7 – Ілюстрація функціонування розробленого алгоритму в усталеному режимі КЗ

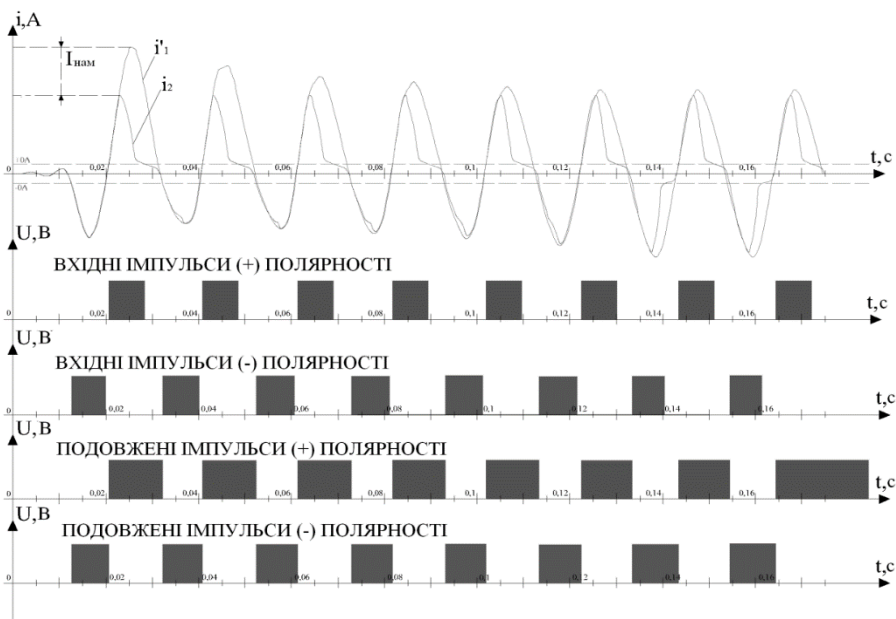


Рисунок 8 – Ілюстрація функціонування розробленого алгоритму в перехідному режимі КЗ

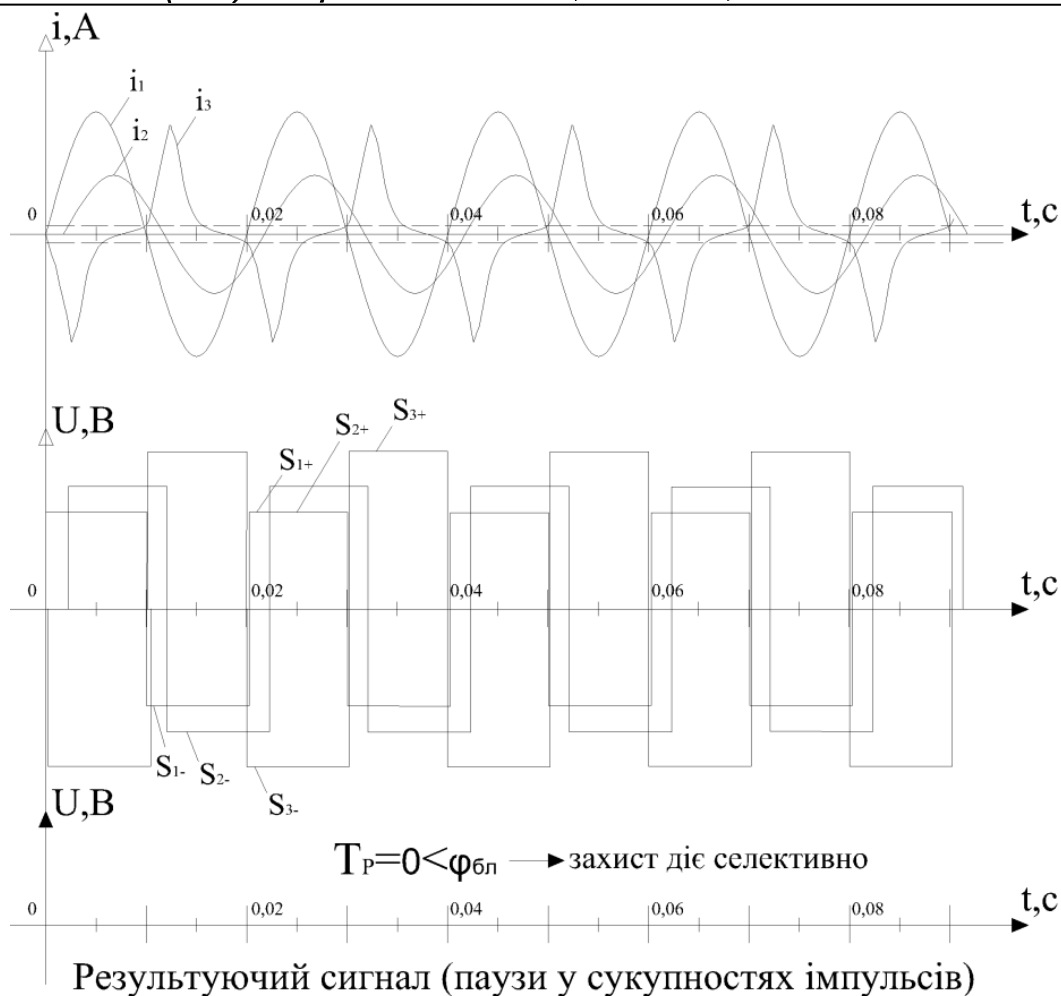


Рисунок 9 - Функціонування ДФЗШ при застосуванні розробленого алгоритму в режимі зовнішнього КЗ з насиченням ТС пошкодженого приєднання

Висновки.

У статті авторами було розроблено функціональний алгоритм формування імпульсів у ДФЗШ, що сприяє підвищенню селективності дії захисту в усталених та перехідних режимах КЗ та за кидку струму намагнічування при насиченні ТС одного або декількох приєднань, підключених до спільної системи ЗШ. За основу, при створенні даного алгоритму, була покладена виявлена спільна ознака протікання зазначених режимів – наявність безструмових пауз у вторинному струмі насичених ТС, тобто ділянок, що характеризуються близькими до нуля миттєвими значеннями вторинного струму. Шляхом застосування розробленого алгоритму здійснюється подовження сформованих із спотворених напівхвиль вторинних струмів імпульсів позитивної та негативної полярності, чим забезпечується перекриття виникаючих при цьому у вторинному струмі насиченого ТС безструмових пауз та попередження «провалу» імпульсу у результуючому сигналі, що аналізується реагуючим органом ДФЗШ. Як наслідок, умова спрацювання захисту $T_p > \varphi_{\text{бл}}$ при зовнішніх КЗ та при кидку струму намагнічування не виконується, на відміну від ймовірного виконання зазначеної умови без впровадження розробленого алгоритму, що свідчить про ефективність застосування даного алгоритму та досягнення поставленої у статті мети.

Список використаної літератури

1. Правила устройства электроустановок: Глава 3.2. Релейная защита / Минэнерго Украины. – 7-е изд., перераб. и доп. - X: Форт, 2009. – 704 с.
2. Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму (IEC 60044-1:2003, IDT) : ДСТУ IEC 60044-1:2008. — [Чинний від 2010-01-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2010. — 38 с. — (Національний стандарт України).

3. Ніценко В. В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми / В.В. Ніценко, Д.О. Кулагін, П.В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – Вип.2/2016. – С.32-45.
4. Афанасьев В. В. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В.М. Кибель, И. М. Сирота, Б.С. Стогний – Л: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
5. S. E. Zocholl (2012), “Current Transformer Concepts”, Journal of Reliable Power : Vol. 5, pp. 31-55 (Eng).
6. Романюк Ф.А. Влияние насыщения трансформаторов тока на работу токовых защит / Романюк Ф.А., Тишечкин А.А., Румянцев В.Ю., Новаш И.В., Бобко Н.Н., Глинский Е.В. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика __: научно-технический и производственный журнал. – Минск: БНТУ, 2010. – Вип. 1/2010. – С. 5-9.
7. Ніценко В. В. Перспективы использования дифференциально-фазного принципа для защиты систем сборных шин распределительных устройств 110–750 кВ / Ніценко В. В., Кулагін Д. А. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 3/2015 (31). – С. 158-166.
8. Кужеков С. Л. Защита шин электростанций и подстанций / С. Л. Кужеков, В. Я. Синельников. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
9. Бобин Д. Н. Исследование и разработка методов выполнения защит шин на перспективной микропроцессорной базе: дис. ... кандидата техн. наук : 05.14.02 / Бобин Дмитрий Николаевич. – М., 1999. – 211 с.
10. Ніценко В. В. Исследование основных расчетных параметров дифференциально-фазной защиты сборных шин энергообъектов и факторов электрической сети, оказывающих влияние на их выбор / В.В. Ніценко, Д.А. Кулагін, П.В. Махлін, А.Н. Климко // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – Вип.2/2015. – С.87-94. [http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET\(2\)_2015.pdf](http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET(2)_2015.pdf)

V. Nicenko, engineer of relay protection service

DP “NEC “Ukrenergo” Dniprovsk ES

D. Kulagin, , PhD. Sc. Sciences, prof., P. Makhlin, PhD. Sc. Sciences, Assoc.

Zaporizhzhya national technical University

DEVELOPMENT OF THE MEANS TO IMPROVE A SELECTIVE OPERATION OF THE DIFFERENTIAL-PHASE BUSBAR PROTECTION IN CASE OF CURRENT TRANSFORMERS SATURATION

An important problem in the field of development and technical improvement of the functional features of relay protection devices used at the electric power stations and power grids is a problem concerning with providing selective operation of these devices in the steady and transient emergency conditions and other modes under which the possible a saturation of the magnetic systems of measuring current transformers, to which are connected relay protection.

The purpose of this paper is a development of the algorithmical means to increase selective operation of differential-phase busbar protection of switchgears of power stations and power grids in off-normal and emergency conditions in case of operation with saturation of current transformers.

The paper analyzes the possible current transformer saturation conditions, and the functioning of the differential-phase busbar protection of switchgears in these conditions. According to the results of investigations a common feature for the above conditions was identified by authors. It is a presence of no-current pauses in the secondary circuits of saturated current transformers having some duration which is determined by the conditions and the degree of its saturation.

The presence of no-current pauses at the secondary circuits of saturated current transformers for one of the bays that are connected to a common busbar and the lack of these pauses for other bays with unsaturated current transformers can lead to unselective operations of differential-phase busbar protection using the operational algorithm which is based in determining the duration of pauses in the impulse signals created from a half-waves of secondary currents.

This feature were taken as the basis for the development of a functional algorithm of operation of differential-phase busbar protection, the use of which increases the selectivity of the protection in case of a deep saturation of current transformers of one or more bays. The diagram and explanations of developed algorithm operation were given in the paper. In end of the paper were made conclusions about the effectiveness of its application.

Keywords: relay protection, differential-phase busbar protection, selectivity, impulse forming, current transformer saturation, magnetizing current.

References

1. Pravila ustroystva electroustanovok. Glava 3.2. Releynaya zachita [The rules of electrical. Head 3.2. Relays protections], (2009), Fort, Kharkov, Ukraine.
2. Transformatori vimiryuvalni. Chastina 1. Transformatori strumu (IEC 60044-1:2003, IDT) : DSTU IEC 60044-1:2008 [Instrumental transformers. Chapter 1. Current transformers (IEC 60044-1:2003, IDT) : DSTU IEC 60044-1:2008], (2010), Derzhspozhivstandart Ukraini, Kiiv, Ukraine.
3. Nicenko V. V. (2016), "Investigations of current transformer's errors in relay protection systems during steady and transient conditions of power grid", *Electrotekhnika i electroenergetika*: Vol. 1, pp.32-45. (UA).
4. Aphanasiev V. V., Adoniev V.M, Kibel I.M., Sirota I. M., Stogniy B. S. (1989), Transformatori toka [Current transformers], Energoatomizdat, Leningrad, USSR.
5. S. E. Zocholl (2012), "Current Transformer Concepts", *Journal of Reliable Power* : Vol. 5, pp. 31-55 (Eng).
6. Romanyuk F.A. (2010), "Influence of current transformer saturation to operation of current protection", *Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii i energeticheskikh obedinenii SNG – Energetica: nauchno tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal*: Vol. 1, pp. 5-9. (Rus.).
7. Nicenko V. V. (2015), "Prospects differential-phase principle to protect busbar system switchgears 110-750 kV", *Electromekhanicheskie i energosberigaushie sistemi*: Vol. 3, pp. 158-166. (Rus.).
8. Kuzhekov S. L., Sinelnikov V. Y. (1983), *Zachita shin electrostantsiy i podstantsiy* [Busbar protection powerstation and substation], Energoatomizdat, Moscow, USSR. (Rus.).
9. Bobin D. N. (1999), "Research and development methods of performance busbar protection prospectively based microprocessor", dissertation of Cand. Sci. (Tech.), 05.14.02. (Rus.).
10. Nicenko V. V. (2015), "Investigations of main counted parametrs of differential-phase busbars protection and factors of power grid, which influences for its setting", *Electrotekhnika i electroenergetika*: Vol. 2, pp. 87-94. (Rus.) [http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET\(2\)_2015.pdf](http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET(2)_2015.pdf).

В.В. Ниценко, инженер службы релейной защиты

ОП ГП «НЕК «Укренерго» Днепровская ЭС

Д.А. Кулагин, канд. техн. наук, проф. , **П.В. Махлин**, канд. техн. наук, доц.,

Запорожский национальный технический университет,

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ЗАЩИТЫ СБОРНЫХ ШИН ПРИ НАСЫЩЕНИИ
ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА**

Актуальной проблемой в области развития и технического совершенствования функциональных свойств устройств релейной защиты элементов электрических станций и сетей остается проблема, которая заключается в обеспечении селективного действия указанных устройств в установившихся и переходных режимах коротких замыканий и при других условиях, при которых возможно насыщение магнитных систем измерительных трансформаторов тока, ко вторичным цепям которых подключена релейная защита. В статье проанализированы возможные режимы насыщения трансформаторов тока и исследовано функционирование дифференциально-фазной защиты сборных шин распределительных установок при возникновении этих режимов. По результатам исследований авторами выявлен общий признак для вышеупомянутых режимов - наличие во вторичном токе трансформатора тока бестоковых пауз определенной длительности, которая определяется условиями и степенью его насыщения. Применение этой особенности были взяты за основу при разработке функционального алгоритма действия дифференциально-фазной защиты шин, использование которого повышает селективность действия защиты по глубоком насыщении трансформаторов тока одного или нескольких присоединений. Приведена структурная схема и даны пояснения функционирования разработанного алгоритма, сделаны выводы об эффективности его применения.

Ключевые слова: релейная защита, дифференциально-фазная защита шин, селективность, формирователи импульсов, трансформатор тока, насыщение, ток намагничивания.

Надійшла 12.12.2016

Received 12.12.2016

А.В. Волошко, д-р техн. наук, проф.,
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
 Я.С. Бедрак, инженер,
 ПАО «АЗОТ», г. Черкассы

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье рассмотрены вопросы применения фрактального анализа временных рядов (графиков электрических нагрузок) на вводах главной понижающей подстанции. Получены три вида зависимостей фрактальной размерности от объема выборок временного ряда и обобщенный коэффициент корреляции. На основании анализа данных зависимостей проведена оценка динамики временных рядов. Также выявлена зависимость качества прогнозирования временных рядов на один-два периода интеграции от значений фрактальных размерностей.

Ключевые слова: временные ряды, фрактальный анализ, электропотребление.

Введение

Действенным методом оценки динамики процесса по результатам измерения является фрактальный анализ временного ряда результатов измерения:

$$x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n) \quad (1)$$

В основе метода лежат понятия «фрактал» и «фрактальная размерность» D [1]. Фрактальная размерность D характеризует сложность фазового портрета процесса или системы, принимает как целые, так и дробные значения.

Для определения фрактальной размерности временного ряда (1) с количеством наблюдений N используется преимущественно статистический метод нормированного размаха (R/S – анализ), выведенный эмпирическим путем П. Херстом. Анализ временного ряда наблюдений методом Херста позволяет получить одноименный показатель H , который связан с фрактальной размерностью D временного ряда выражением:

$$D = 2 - H \quad (2)$$

В [2] предложена фрактальная шкала оценки результатов измерения (1). Шкала была успешно применена для оценки динамики проведения параметров лазера.

Фрактальная шкала имеет три характерные точки $D = 1$ ($H=1$); $D = 1,5$ ($H=0,5$); $D = 2$ ($H=0$).

- при $D = 1$ результат измерения трактуется как строго детерминированное поведение системы, возможно составление уравнения поведения динамических переменных;

- при $D = 2$ система ведет себя регулярным образом, но разброс измеряемых значений очень велик, что не позволяет использовать методы обработки результатов измерений;

- при $D = 1,5$ процесс является случайным, для анализа значений характеристик таких систем применяются статистические методы;

- при $1 < D < 1,5$ ($0,5 < H < 1$) рассматриваемый процесс представляется как персистентный (измеряемая величина сохраняет тенденцию увеличения или уменьшения своего значения) и приближается к детерминированному закону). Если в этом случае приращения были положительными в течение некоторого времени в прошлом, т.е. происходило увеличение, то и впредь в среднем будет происходить увеличение. Таким образом, для процесса с $0,5 < H < 1$ тенденция к увеличению в прошлом означает тенденцию к увеличению в будущем и, более того, это справедливо для произвольно больших t . И наоборот, тенденция к уменьшению в прошлом означает, в среднем, продолжение уменьшения в будущем. Для многих естественных процессов H находится в интервале $0,5 < H < 1$ [3];

- при $1,5 < D < 2$ ($0 < H < 0,5$), процесс представляется антиперсистентным (измеряемая величина меняет на противоположную тенденцию увеличения или уменьшения своего значения) и имеет случайный (шумовой) разброс, превышающий величину медленных изменений.

Показатель Херста H определяется через величину R / S , где R – размах между максимальным и минимальным значениями функции приращения $x(i, n)$, а величина S – среднее квадратическое отклонение (СКО).

$$\left. \begin{aligned} R(i) &= \max_{1 \leq i \leq n} x(i, n) - \min_{1 \leq i \leq n} x(i, n) \\ x(i, n) &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i) \\ S &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X_{cp})^2}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где X_{cp} - среднее арифметическое значение временного ряда (1). $X_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$.

Соотношение $R(i) / S$, полученное из уравнений (3) связано с параметром Херста H выражением [3]:

$$\frac{R(i)}{S} = \left(\frac{n}{2}\right)^H \quad (4)$$

Из выражений (2) и (4) можно получить значение фрактальной размерности D как всего интервала наблюдений (1), так и его отдельных интервалов, определить характер динамики измеряемой динамической переменной как на отдельных временных интервалах, так и на весь период наблюдений в целом [1].

Показатель Херста используется также для определения степени долговременной корреляции между прошлыми приращениями и будущими. Обобщенный коэффициент корреляции C определяется из выражения:

$$C = 2^{2H-1} - 1.$$

Метод виртуальных объемов (метод NF) используется для анализа одномерных временных рядов, выявляя их стационарные свойства.

На основании этих данных находится квадрат отношения размаха ряда $R(i)$ к СКО ряда S – при разных объемах выборки N :

$$NF = (R(i)/S)^2. \quad (5)$$

В работе [4] показано, что значение виртуального объема NF может применяться для определения закона распределения временного ряда данных электропотребления.

Значения NF и соответствующий ему закон распределения приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость вида закона распределения от значения виртуального объема NF

Закон распределения	Значение NF
Двумодальный	4
Арсинусный	8
Равномерный	12
Симпсона	21
Релея	28
Нормальный	32
Лапласа	36
Экспоненциальный	42

В работе [1] была исследована динамика изменения напряжения в сети общего назначения методом фрактального анализа результатов измерения.

В работе Е. Федера [3] указано, что многие наблюдения природных процессов приводят к временным зависимостям или рядам измерения. Временные последовательности измерений таких величин, как температура, сток рек, количество осадков или толщина колец деревьев можно исследовать с помощью метода нормированного размаха, или метода Херста. Такой метод применим и для анализа временного ряда напряжения, электрической нагрузки, частоты и т.п. Это доказали специалисты ЛЭТИ г. Санкт-Петербург в публикации [5], в которой проведен анализ временного ряда электропотребления за различные временные интервалы (получасовые, часовые, и среднесуточные). Аналогичные исследования проводятся и на Украине [1].

Цель работы: провести фрактальный анализ электрических нагрузок (ЭН) за пятиминутные интервалы времени на вводах химического предприятия для выяснения характера поведения ЭН производственных объектов.

Результаты исследования

Объектом исследования является ЭН одного ввода главной понизительной подстанции (ГПП) №1 (потребителями являются в основном электроприемники 6 и 0,4 кВ цехов аммиака, котельного цеха и водоснабжения) и ЭН ввода ГПП №2 (потребителями являются электроприемники 6 и 0,4 кВ цехов слабоазотной кислоты, аммиачной селитры, карбамида и водоснабжения) энергоемкого химического предприятия.

Если на вводе ГПП №1 крупные потребители 6 кВ имеют номинальные мощности от 400 кВт до 7000 кВт (полная мощность ввода в среднем около 22000 кВА), то на вводе ГПП №2 имеется в наличии один мощный потребитель (синхронный электродвигатель с номинальной мощностью $P=8000$ кВт), который определяет не менее чем на 70 % нагрузку ввода.

Для исследований были использованы пятиминутные усредненные значения полной S , активной P , реактивной потребляемой $Q+$ и генерируемой $Q-$ мощностей за месяц, собранные электронными счетчиками электроэнергии и переданные в базу данных автоматизированной системы учета электроэнергии (АСУЭ).

Для анализа результатов измерения был исследован временный ряд активной $P(t)$, потребленной реактивной $Q+(t)$, генерируемой реактивной $Q-(t)$, полной $S(t)$ мощностей. Для суточного интервала наблюдения, состоящего из 288 пятиминутных значений, на каждом вводе рассчитаны значения фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции, виртуального объема.

Результаты вычислений приведены в табл. 2 (ввод ГПП №1) и табл. 3 (ввод ГПП №2).

Таблица 2 – Результаты расчета фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на вводе ГПП №1

Дата месяца	P			$Q+$			$Q-$			S		
	D	C	NF	D	C	NF	D	C	NF	D	C	NF
01...201...	1,06	0,84	19,6	1,05	0,87	13,0	1,01	0,96	5,1	1,02	0,94	10,6
02...201...	1,10	0,74	22,3	1,10	0,65	27,3	1,22	0,47	31,1	1,10	0,74	22,9
03...201...*	1,30	0,31	24	1,30	0,31	34,2	1,42	0,12	27,3	1,30	0,31	24,6
04...201...*	1,39	0,16	16,1	0	0	0	1,12	0,69	18,1	1,38	0,18	16,1
...
29...201...	1,08	0,80	15,3	1,19	0,54	19,6	1,11	0,71	19,6	1,08	0,80	15,4
30...201...	1,10	0,74	19,1	1,33	0,26	17,5	1,14	0,65	17,5	1,10	0,74	19,4

Третьего и четвертого числа исследуемого месяца на вводе ГПП №1 временной ряд был получен только за первые 84÷93 значения. Далее по техническим причинам информация не была получена. Вышеуказанные сутки отмечены знаком *. Как видно, в вышеуказанный интервал времени рассчитанные значения D и C значительно больше результатов расчетов за полные сутки.

Таблица 3 - Результаты расчета фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на вводе ГПП №2

Дата месяца	P			Q+			Q-			S		
	D	C	NF	D	C	NF	D	C	NF	D	C	NF
01...201...	1,03	0,91	18,7	1,04	0,88	16,2	1,02	0,94	10,3	1,03	0,91	19,0
02...201...	1,02	0,94	17,4	0	0	0	1,01	0,96	28,6	1,02	0,94	18,3
03...201...	1,08	0,80	25,8	0	0	0	1,08	0,79	28,2	1,08	0,79	26,4
...
29...201...	1,09	0,75	28,6	0	0	0	1,10	0,73	35,3	1,08	0,78	27,1
30...201...	1,00	0,98	8,4	0	0	0	1,01	0,95	12,2	1,00	0,98	9,0

Сравнение результатов расчетов значений D и C на ГПП №1 и №2 показывает, что на ГПП №2, где один крупный потребитель определяет нагрузку на вводе, персистентность сильнее выражена, чем на вводе ГПП 1, где имеется большое количество различных электроприемников.

Фрактальный анализ показал, что на всем интервале наблюдения динамика поведения ЭН близка к случайному поведению, фрактальная размерность на вводах ГПП №1 и ГПП №2 принимала значения на интервале $1 \leq D < 1,5$. Это означает, что рассматриваемый процесс является персистентным. При этом электрическая нагрузка сохраняет тенденцию увеличения или уменьшения своего значения и приближается к детерминированному закону. Отдельные интервалы характеризуются различной степенью персистентности. На отдельных интервалах времени ЭН ведет себя детерминированным образом при $D = 1$. Полученные результаты исследования согласуются с работами Херста, в которых он показал, что для многих естественных процессов $0,5 < H < 1$. Так, если фрактальная размерность выборки активной мощности 29 числа на вводе ГПП №2 равна 1,09 и показатель Херста равен 0,91, то это означает, что вероятность того, что за ростом активной нагрузки последует дальнейшее увеличение, составляет 91 %.

Персистентный временный ряд характеризуется эффектами долговременной памяти [5].

Так как результаты вычислений 3 и 4 числа месяца на вводе ГПП №1 при неполной выборке показали, что при уменьшении объема выборки значение фрактальной размерности значительно выше, чем у временного ряда за полные сутки, то целесообразно проверить зависимость фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема от количества временных интервалов выборок. Для исследований выбраны количества временных интервалов от 24 до 288 пятиминутных значений с шагом, равным 24.

Выборки 3 и 6 взяты потому, что за сутки у них фрактальная размерность равна 1,00. У выборок 1, 2, 4, 5 фрактальная размерность находится в интервале $1,08 \div 1,31$.

Результаты исследований зависимости различных показателей от объема выборки сведены в табл. 4.

Таблица 4 - Значения фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на различных временных интервалах

Номер выборки		Количество пятиминутных интервалов											
		24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288
1	D	1,23	1,23	1,19	1,22	1,25	1,26	1,27	1,29	1,28	1,26	1,30	1,31
	C	0,46	0,46	0,53	0,47	0,42	0,39	0,37	0,33	0,35	0,39	0,32	0,30
	NF	9,70	23,8	25,3	32,2	37,8	44,8	51,2	54,5	60,5	65,9	71,2	75,9
№2	D	1,31	1,39	1,44	1,16	1,12	1,14	1,19	1,12	1,22	1,23	1,24	1,23
	C	0,28	0,15	0,08	0,58	0,69	0,64	0,53	0,68	0,47	0,44	0,43	0,45
	NF	9,06	11,2	12,8	17,8	21,8	20,3	17,3	15,3	184,1	202,9	222,0	237,3
№3	D	1,40	1,18	1,22	1,09	1,07	1,12	1,04	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00
	C	0,15	0,56	0,47	0,76	0,82	0,70	0,89	0,96	0,99	1,00	0,99	1,00
	NF	8,43	17,9	19,8	20,3	20,1	12,8	6,4	5,2	4,7	4,6	4,8	4,7

Продовження табл. 4

№4	<i>D</i>	1,22	1,22	1,12	1,16	1,12	1,10	1,08	1,07	1,08	1,07	1,07	1,08
	<i>C</i>	0,47	0,47	0,68	0,61	0,69	0,74	0,79	0,80	0,79	0,81	0,81	0,79
	<i>NF</i>	14,9	22,2	18,3	21,4	24,9	23,4	23,9	24,6	25,9	26,3	26,6	28,2
№5	<i>D</i>	1,39	1,31	1,34	1,03	1,14	1,14	1,13	1,16	1,16	1,16	1,16	1,18
	<i>C</i>	0,16	0,30	0,24	0,90	0,66	0,65	0,67	0,60	0,59	0,6	0,6	0,56
	<i>NF</i>	11,7	17,0	18,5	5,4	18,9	20,3	20,0	20,2	24,0	23,5	22,4	22,4
№6	<i>D</i>	1,37	1,38	1,13	1,11	1,16	1,17	1,07	1,03	1,02	1,00	1,00	1,00
	<i>C</i>	0,19	0,18	0,66	0,72	0,61	0,59	0,83	0,92	0,95	0,97	0,98	0,98
	<i>NF</i>	17,4	22,0	16,8	21,9	24,6	40,3	16,4	10,8	9,1	8,3	8,4	8,4

Расчеты показали, что для выборок № 3 и № 6 (фрактальная размерность у них равна 1,00) значения *D* с увеличением объема выборки уменьшаются и приближаются к 1, а значение *C* увеличивается и также приближаются к 1.

Выборка №1 (фрактальная размерность *D* больше 1,3) в зависимости от объема выборки не меняет в больших интервалах значения *D*, *C*, а для выборок №№ 2, 4, 5, у которых фрактальная размерность $1,05 < D < 1,25$ с увеличением объема выборки наблюдается тенденция уменьшения значения *D* и увеличения значения *C*.

В работе [6] применялся метод экспоненциального сглаживания для восстановления утерянных данных технического учета и прогнозирования на один-два периода прогноза по данным почасового электропотребления крупнотоннажного цеха аммиака за сутки. По этим же данным рассчитаны фрактальная размерность, обобщенный коэффициент корреляции и виртуальный объем за каждые из 7 рассматриваемых суток.

Таблица 5 - Значения почасового электропотребления крупнотоннажного цеха аммиака за сутки, МВт и коэффициента вариации КВ, %, фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема

Нагрузка выборки и параметры ее	Номер суток						
	1	2	3	4	5	6	7
Нагрузка за 1 час, МВт	31,930	36,609	36,570	37,107	37,146	37,264	37,118
2	31,875	36,641	36,585	37,054	37,091	37,275	37,088
...
23	36,594	36,594	37,035	37,159	37,138	37,074	37,387
24	36,578	36,535	37,050	37,146	37,188	37,133	37,420
Значение КВ, %	6,90	0,24	0,49	0,81	0,23	0,39	0,30
<i>D</i>	1,02	1,10	1,11	1,41	1,09	1,13	1,06
<i>C</i>	0,96	0,73	0,72	0,14	0,75	0,66	0,84
<i>NF</i>	4,85	16,53	8,91	18,55	18,56	10,29	11,14

Хотя временной ряд за 1-е сутки и имеет большой разброс, но фрактальная размерность его $D = 1,02$ (коэффициент Херста равен $H = 0,98$). Временный ряд сильно персистентный, а значит должен достаточно легко поддаваться прогнозированию на основании данных о его предыдущих значениях. За 4-е сутки персистентность менее выражена. Поэтому и прогноз нагрузки менее точен, что показано в статье [6].

В таблице 6 показано сравнение показателей, рассчитанных по 10 выборкам активной электроэнергии, состоящих из 48 получасовых значений мощности на вводе ГПП 2, с показателями по 10 выборкам за те же сутки, но состоящих из 288 пятиминутных значений (табл. 6).

Таблица 6 - Результаты расчета фрактальной размерности, обобщенного коэффициента корреляции и виртуального объема на вводе ГПП №2

Дата месяца	5-минутные значения			30-минутные значения		
	D	C	NF	D	C	NF
01...201...	1,03	0,91	18,7	1,05	0,86	11,3
02...201...	1,02	0,94	17,4	1,03	0,91	7,9
03...201...	1,08	0,80	25,8	1,10	0,74	13,2
04...201...	1,07	0,81	28,9	1,06	0,83	13,2
05...201...	1,08	0,78	30,0	1,10	0,74	13,4
06...201...	1,06	0,85	27,4	1,05	0,86	10,3
07...201...	1,17	0,57	42,3	1,17	0,59	25,0
08...201...	1,03	0,93	14,7	1,03	0,92	8,2
09...201...	1,08	0,78	27,1	1,06	0,84	13,9
10...201...	1,24	0,43	23,1	1,26	0,39	12,9

Временный ряд получасового потребления практически так же персистентен, как и ряд пятиминутных значений.

Выводы:

Фрактальный анализ ЭН двух вводов главных понизительных подстанций, потребителями которых являются электроприемники 6 и 0,4 кВ химических энергоемких производств показал:

1. На подстанции, где один крупный потребитель определяет нагрузку на вводе, персистентность сильнее выражена, чем на вводе подстанции, где имеется большое количество различных электроприемников.

2. На всем интервале наблюдения динамика поведения ЭН близка к случайному поведению.

3. Процесс электропотребления на непрерывном химическом производстве является персистентным.

4. Впервые получены три вида зависимости фрактальной размерности D от объема выборки и обобщенного коэффициента корреляции C . Для выборок первого типа (у которых $D=1$) значения D уменьшаются и приближаются к 1, а значение C с увеличением объема выборки увеличивается и также приближаются к 1. Выборки второго типа ($D>1,3$) в зависимости от объема выборки не меняют в больших интервалах значения D , C . Для выборок третьего типа (у которых $1,05<D<1,25$) с увеличением объема выборки наблюдается тенденция уменьшения значения фрактальной размерности D и увеличения значения обобщенного коэффициента корреляции C . Данные зависимости поведения временных рядов позволяют оценить их динамику.

4. Выявлена зависимость качества прогноза электропотребления на один-два периода интеграции от значения D . Чем ближе фрактальная размерность D к 1 (чем сильнее персистентность), тем меньше ошибка прогноза, что может быть использовано в практической деятельности для оперативного прогнозирования электрической нагрузки.

5. Временный ряд получасового потребления практически так же персистентен, как и ряд пятиминутных значений (персистентность выборок данных не зависит от дискретности их).

Список использованной литературы

1. Курской Ю.С. Фрактальный анализ результатов электрических измерений / Ю.С. Курской // Энергоснабжение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – №1. – С. 52 – 57.
2. Мачехин Ю. Фрактальная шкала для временных рядов результатов измерений / Ю. Мачехин // Измерительная техника. – 2008. – Вып. 08. – С. 40–43.
3. Федер Е. Фракталы / М.: Мир, 1991. — 258 с.
4. Кликушин Ю.Н. Фрактальная шкала для измерения формы распределения вероятности / Ю.Н. Кликушин // Журнал радиоэлектроники. – 2000. – №3.
5. <http://jre.cplire.ru/koi/mar00/2/text.html>
6. Филатова Е.С. Анализ временного ряда электропотребления методом нормированного размаха / Е.С. Филатова, Д.М. Филатов, А.Д. Стоцкая // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». – 2015. – №3.
7. http://www.science-education.ru/_pdf/2014/5/625.pdf

9. Бедерак Я.С. Применение метода экспоненциального сглаживания для восстановления утерянных данных технического учета на промышленных предприятиях / Я.С. Бедерак // Электротехника і Електромеханіка. – 2014. – №4. – С. 52–55.

**A. Voloshko, Dr. Sc. Sciences, prof.,
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Y Bederak**

FRactal ANALYSIS OF ELECTRICAL LOADS CHEMICAL PLANTS

The article deals with the application of fractal analysis of time series (schedules electrical load) at the input down-the main substation. The resulting three types of dependencies fractal dimension of time series sample volume and generalized correlation coefficient. Based on the analysis of data dependencies evaluated the dynamics of time series. Also identified as dependent time series prediction for one or two periods of integration of the values of fractal dimensions.

Key words: time series, fractal analysis, power consumption.

References

1. Y.S. Kurskoy. Fractal analysis of electrical measurements / Y.S. Kurskoy // Энергоснабжение. Энергетика. Power audit. - 2014. - №1. - P. 52 - 57.
2. E. Feder. Fraktaly / M.: Mir, 1991. - 258 p.
3. J.N. Klykushyn. Fraktalnaya scale for measuring the apportionment forms Probability / Y.N. Klykushyn // Radioelectronics Magazine. - 2000. - №3.
<http://jre.cplire.ru/koi/mar00/2/text.html>
4. E.S. Filatov. Analysis of Bygone tjada elektropotreblenyya by normyrovannoho razmaha / E.S. Filatov, D.M. Filatov, A.D. Stotskaya // Nauchnyy Electronic Journal "Modern problems of science and education." - 2015. - №3.
http://www.science-education.ru/_pdf/2014/5/625.pdf
5. J.S. Bederak. Application method eksponentsyalnoho shlazhyvaniya for data recovery uteryannykh of technical accounting at the enterprise of industrial / JS Bederak // Electronics and Electromechanics. - 2014. - №4. - P. 52-55.

УДК 621.3.016.3

А.В. Волошко, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Я.С. Бедерак, інженер,
ПАТ «АЗОТ», м. Черкаси

ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

У статті розглянуто питання застосування фрактального аналізу часових рядів (графіків електричного навантаження) на вводах головної понижувальної підстанції. Отримані три види залежностей фрактальної розмірності від об'єму вибірок часового ряду та узагальнений коефіцієнт кореляції. На основі аналізу даних залежностей проведена оцінка динаміки часових рядів. Також виявлена залежність якості прогнозування часових рядів на один-два періоди інтеграції від величин фрактальних розмірностей.

Ключові слова: часові ряди, фрактальний аналіз, електроспоживання.

Надійшла 15.12.2016
Received 15.12.2016

УДК 621.18.063

М.М. Вознюк, мл. научн. сотр., А.В. Семеняко, асист., В.А. Бондарь, магистр
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ОПТИМАЛЬНАЯ ВЫСОТА ПОПЕРЕЧНЫХ РЕБЕР ПЛОСКООВАЛЬНОЙ ТРУБЫ

На основании экспериментальных исследований и анализа интенсивности теплообмена и аэродинамического сопротивления пучков плоскоовальных труб проведена оптимизация высоты поперечного оребрения. Проанализировано влияние материала ребер на оптимальную высоту оребрения. Впервые в Украине предложена обобщенная зависимость для определения оптимальной высоты ребра в зависимости от материала оребрения и относительной длины линии контакта ребра с несущей трубой. Результаты проведенного анализа представлены в виде сравнительных теплоаэродинамических и массогабаритных характеристик экономайзера-утилизатора для котла ПТВМ-30м. Показано что, использование оптимизированного оребрения позволяет улучшить массогабаритные характеристики теплообменного устройства на (15-20) %.

Ключевые слова: труба, плоскоовальный, ребро, оптимизация, тепловой поток, теплоаэродинамика

Введение

Экспериментальные исследования теплообмена и гидродинамики потока (визуализация течения на ребрах, поля давлений на ребрах и несущей трубе), проведенные на натурных образцах плоскоовальных труб с неполным оребрением [1-2] позволили подойти к важному вопросу – оптимизации геометрических характеристик оребрения (табл.1, рис.1). Оптимизация проведена на примере труб показанных в табл.1, при этом учтена необходимость изготовления плоскоовальных труб с неполным оребрением из различных материалов (углеродистые, аустенитные стали, алюминий).

Актуальность предлагаемой статьи состоит в том, что оптимизация геометрических размеров теплообменной поверхности тесно связана с улучшением массогабаритных показателей теплообменного аппарата в целом.

Таблица 1 – Геометрические характеристики плоскоовальных труб с неполным оребрением выпускаемых

ООО «Научно-производственная фирма «Ганза».

Наименование величин	Обозначение	Значение
Поперечный размер трубы, мм	d_1	10 - 25,0
Продольный размер трубы, мм	d_2	30,0 - 60
Полная высота ребер, мм	h	5 - 40,0
Шаг ребер, мм	t	1,5 - 3,5
Толщина ребер, мм	δ	0,8 - 1,2
Длина ребра, мм	l	15 - 50
Коэффициент оребрения	ψ	7-20

Оптимизация размеров ребер

Под оптимизацией оребрения подразумевается определение экспериментальным и (или) аналитическим путем наиболее выгодных размеров (длины, высоты, толщины), в нашем случае, прямоугольных ребер, а также шага между ними, обеспечивающих заданный передаваемый оребренной поверхностью тепловой поток при минимальной массе ребер, которая вносят наибольший вклад в общую массу теплообменной поверхности.

О наличии оптимальных значений параметров оребрения (h, t, l, δ) можно судить по тому обстоятельству, что для достижения заданного максимального значения теплового потока Q за счет увеличения конвективного коэффициента теплоотдачи α_k , эффективности ребра E , поверхности оребренной трубы H необходимо изменять параметры оребрения (h, t, l, δ) в противоположных направлениях [3]. Так, для увеличения площади теплоотдающей поверхности H необходимо увеличить

высоту h , длину l ребер и уменьшить шаг t между ними. В то же время такое изменение размеров оребрения приводит к снижению интенсивности конвективной теплоотдачи [4]. В рассматриваемом случае, прямоугольные ребра, расположенные на прямых участках плоскоовальной трубы, образуют систему полуоткрытых плоских каналов.

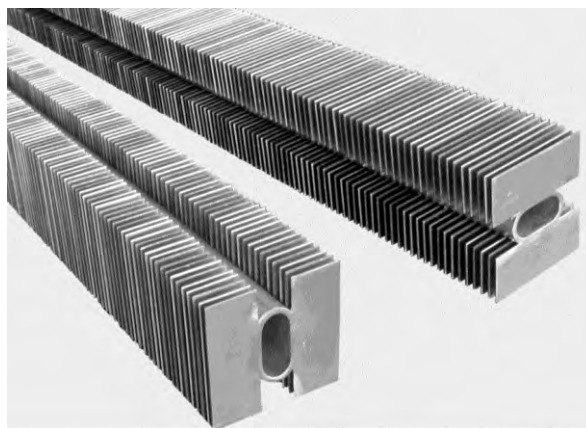


Рисунок 1 – Плоскоовальная труба с неполным оребрением [1]

При увеличении их относительной глубины, характеризующейся отношением h/t , а также длины l возрастает эффект вытеснения потока из межреберных каналов из-за нарастания толщины пограничного слоя на ребрах, что в целом приводит к снижению интенсивности теплоотдачи и росту аэродинамического сопротивления ребристой поверхности. Исходя из этого, шаг пластинчатых ребер для плоскоовальных труб рекомендуется выбирать в диапазоне $t = 3,5-4,0$ мм.

Толщина ребра δ также является важным геометрическим параметром ребра от правильности выбора которого зависит общая масса ребристой поверхности. Уменьшение его толщины приводит с одной стороны к уменьшению массы поверхности, с другой - к уменьшению коэффициента эффективности ребра и ухудшению теплоотводящих возможностей самого ребра. Зависимость плотности теплового потока от толщины ребра $q_{\text{р}} = f(\delta)$ носит экстремальный характер с максимумом значений толщины ребра $\delta = 0,8-0,9$ мм. [4]

Изменение высоты ребра влияет на коэффициент эффективности ребра E и площадь поверхности теплообмена в противоположных направлениях. В связи с этим при анализе следует использовать комплекс, который представляет собой произведение коэффициента эффективности ребра E на площадь единицы длины развитой поверхности H_L .

Как отмечают авторы работы [4], коэффициент эффективности ребра при применении упрощенного подхода Т. Шмидта, основанного на замене ребра сложной формы эквивалентным по эффективности условным прямым прямоугольным ребром высотой h_y , определяется выражением

$$E = \frac{\text{th}(mh_y)}{mh_y}, \quad (1)$$

где $m = \sqrt{\frac{2\alpha_k}{\delta \cdot \lambda}}$ - параметр; h_y - условная высота ребра с учетом приближения Харпера-Брауна определяется из выражения

$$h_y = \left(h + \frac{\delta}{2} \right) \left[1 + b(1 + 2K_L) \ln \left(\frac{1}{K_L} \right) \right], \quad (2)$$

где b – эмпирический коэффициент, K_L – обобщенный параметр, характеризующий различие прямых прямоугольных ребер, полностью расположенных на плоском основании и ребер плоскоовальных труб, $K_L = l_k/l$ (рис. 2).

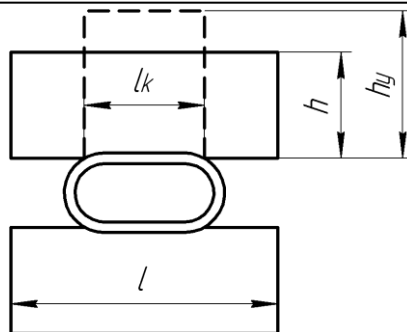


Рисунок 2 – К определению условной высоты ребра.

Так как зависимость передаваемого теплового потока Q от h определяется асимптотической функцией, значение которой при $mh_{\text{вн}} > 2$ практически не изменяется ($\text{th}(3)/\text{th}(2) \approx 1,0,3$), то приняв в качестве «порогового» значения аргумента гиперболической функции $mh_{\text{вн}}=2$, получим приближенное выражение для определения оптимальной высоты ребер плоскоовальных труб $h_{\text{опт}}$.

$$h_{\text{опт}} = \frac{2}{\left\{ m \left[1 + b(1 + 2K_L) \ln \left(\frac{1}{K_L} \right) \right] \right\}} \quad (3)$$

Как видно из выражения (3), значительное влияние на коэффициент эффективности оказывает теплопроводность ребра λ , входящая в параметр m .

График, представленный на рис.3, иллюстрирует зависимость комплекса $EN_{\text{г}}$ от высоты ребер h при разных значениях теплопроводности ребер λ , фиксированных значениях длины ребер $l = 50$ мм, их шага $t = 3,5$ мм и толщины $\delta = 0,8$ мм; поперечном размере трубы $d_{\text{вн}}=15$ мм, продольном размере трубы $d_{\text{д}}=30$ мм, толщине стенки трубы $\delta_{\text{ст}}=2$ мм, числе Рейнольдса $Re=5,3 \cdot 10^3$.

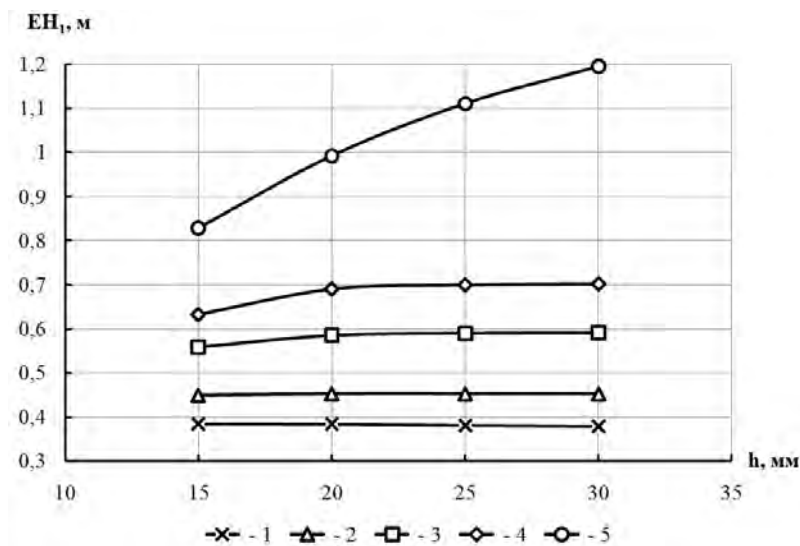


Рисунок 3 – Зависимость комплекса $EN_{\text{г}}$ от высоты ребра h для ребер, выполненных из различных материалов:

1 – сталь 08X18H10 (AISI 304) $\lambda = 17$ Вт/(м·К); 2 – сталь 08X17 (AISI 430) $\lambda = 24$ Вт/(м·К); 3 – сталь 15XM $\lambda = 41,6$ Вт/(м·К); 4 – сталь 08кп $\lambda = 60,6$ Вт/(м·К); 5 – алюминий марки АД1 $\lambda = 225$ Вт/(м·К).

Приведенные на рис.3 зависимости комплекса $EN_{\text{г}}$ от высоты ребра h показывают, что необходимо учитывать влияние материала ребер при определении их оптимальной высоты. Так, для углеродистой

стали 08кп, имеющей достаточно высокий коэффициент теплопроводности, кривую, в выбранном диапазоне, можно разбить на два участка – первый, участок роста комплекса EH_l , по мере увеличения высоты ребер до значений 19-21 мм, и второй участок, в котором комплекс EH_l с ростом высоты ребер ($h > (20-21)$ мм остается практически неизменным. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что увеличение высоты ребра больше чем 20-21 мм ведет только к возрастанию массы теплообменной поверхности без увеличения теплового потока, передаваемого через нее. Следовательно, оптимальная высота ребер для стали 08кп составит $h = 20-21$ мм.

Для рассмотренных сталей 15ХМ и 08Х18Н10, обладающих низкой теплопроводностью, в выбранном диапазоне значений высоты ребра комплекс EH_l является практически неизменным, что свидетельствует о том, что для этих сталей более целесообразно использование низких ребер (менее 15 мм). И, напротив, для рассмотренного материала с высокой теплопроводностью – алюминия АД1 наблюдается стремительный рост значения комплекса EH_l в рассматриваемом диапазоне, следовательно, является целесообразным дальнейшее увеличение поверхности трубы с помощью увеличения высоты ребра.

С целью выбора оптимальной высоты оребрения в конкретном теплообменном аппарате были проведены несколько вариантов теплоаэродинамических расчетов экономайзера для котла ПТВМ-30м, на базе плоскоовальных труб с неполным оребрением с учетом данных, представленных в этой статье. Требуемые технические характеристики данного экономайзера при максимальном режиме работы котла представлены в таблице 2.

Расчеты проведены с учетом использования стали 08кп, для четырех значений высоты ребра $h = 30; 25; 20; 15$ мм при постоянных других параметрах оребрения: $t = 3,5$ мм, $\delta = 0,8$ мм и $l = 50$ мм. Продольный шаг труб принимался минимально возможным в связи с технологическими ограничениями. Внешняя площадь поверхности одного погонного метра плоскоовальной трубы для четырех значений высоты ребра равнялась соответственно $1,817 \text{ м}^2/\text{м}$, $1,527 \text{ м}^2/\text{м}$, $1,238 \text{ м}^2/\text{м}$, $0,948 \text{ м}^2/\text{м}$.

При сравнении результатов теплоаэродинамических расчетов экономайзера использовался подход, основанный на сопоставлении аэродинамического сопротивления ΔP , массы труб M , компактности поверхности Π , общей длины оребренных труб L , теплосъема с погонного метра длины трубы q_l , учитывающий влияние на теплоотдающие свойства поверхности не только характеристик интенсивности теплообмена, но и степени развития поверхности H [5].

Таблица 2 – Требуемые технические характеристики экономайзера

Наименование величины	Значение
Теплопроизводительность экономайзера Q_{ek} , МВт	1,4
Температура дымовых газов перед экономайзером ϑ_1 , °С	207
Температура дымовых газов после экономайзера ϑ_2 , °С	130
Температура воды на входе в экономайзер t_1 , °С	48
Температура воды на выходе из экономайзера t_2 , °С	61,9
Расход воды через экономайзер D , т/ч	77
Аэродинамическое сопротивление экономайзера ΔP , Па, не более	200

Результаты сравнения расчетных характеристик экономайзера при четырех значениях высоты ребер плоскоовальных труб с неполным оребрением и неизменных других параметрах оребрения (t, l, δ) представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Таблица 3 – Характеристики экономайзера при различных высотах ребер

№ вар	h мм	S_1 мм	S_2 мм	ΔP Па	$\alpha_{пр\psi}$ Вт/(м ² К)	q_l кВт/м.п	L м	M кг	Π м ² /м ³
$t = 3,5$ мм; $l = 50$ мм; $\delta = 0,8$ мм									
1	30	80	100	296	1180	7,46	189	1209	240
2	25	70	100	235	1124	7,46	189	1041	230
3	20	60	100	155	1059	7,46	189	872	217
4	15	60	100	130	948	6,4	220,5	820	165

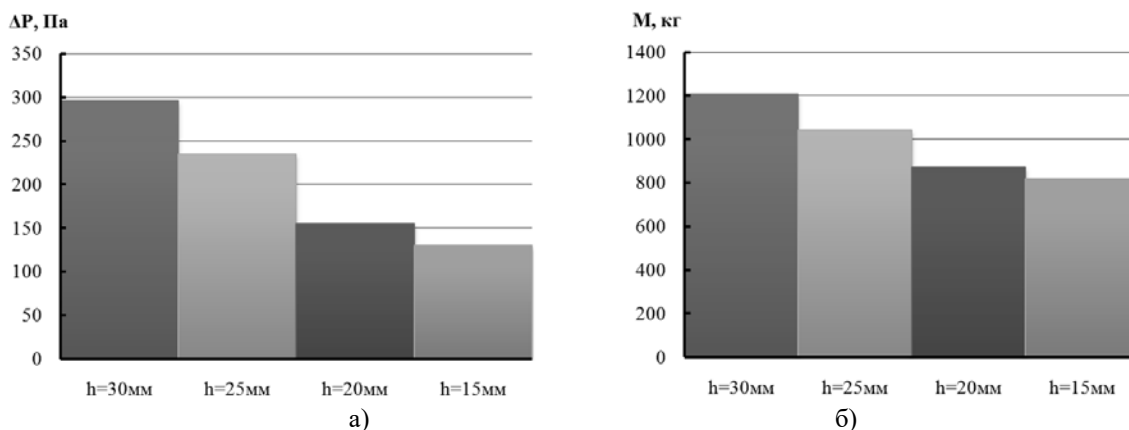


Рисунок 4 – Влияние высоты ребра на аэродинамическое сопротивление (а) и массу труб экономайзера (б).

Анализ табличных и графических данных показывает, что теплосъем с погонного метра длины трубы q_l для высоты ребра $h=20,25,30$ мм остается неизменным и составляет около 6,6 кВт/м.п., для высоты ребра 15 мм он снижается до значения 5,6 кВт/м.п., аэродинамическое сопротивление экономайзера при $h = 20$ мм снижается более чем в 1,9 раза (рис. 4,а) по сравнению с вариантом для которого высота ребер составляет 30 мм, при этом масса трубной части уменьшается более чем на 330 кг (27%) (рис. 4,б). Следовательно, увеличение высоты ребра более 20мм является нецелесообразным.

При сравнении вариантов №3 и №4 (табл.3) было обнаружено что масса труб и аэродинамическое сопротивление экономайзера незначительно снижаются, но при этом происходит увеличение длины и общего количества труб, а, следовательно, и количества сварных соединений, что снижает надежность экономайзера и приводит к его удорожанию.

С учетом вышесказанного при проектировании экономайзера была выбрана высота ребра $h=20$ мм при всех остальных равных характеристиках оребрения (t, l, δ).

Такой компактный экономайзер с высотой поперечных ребер плоскоовальных труб 20 мм был установлен между котлом и дымососом в пределах здания котельной в г. Вишневое Киевской области (рис.5). Производственные испытания показали соответствие технических характеристик экономайзера требуемым показателям, его эффективность, простоту эксплуатации и надежность. За счет использования плоскоовальных труб с неполным оребрением с учетом оптимальных геометрических размеров ребра было получено низкое аэродинамическое сопротивление экономайзера, при котором не потребовалось производить замену дымососа и его регулирование на большую мощность.



Рисунок 5 – Экономайзер, установленный за котлом ПТВМ-30м, г. Вишневое Киевской области

Выводы

Проведенная оптимизация оребрения плоскоовальных труб позволила определить выгодную высоту пластинчатого ребра. При этом показано, что оптимальная высота ребра сильно зависит от применяемого материала (его теплопроводности). Использование оптимизированных ребер для плоскоовальных труб позволяет на 20-30% уменьшить массу трубной части теплообменного аппарата без ухудшения его теплопередающей способности, уменьшить аэродинамическое сопротивление в 1,9 раза, значительно улучшить компактность и снизить геометрические размеры и металлоемкость теплообменного аппарата.

Список использованной литературы

1. Багрий П.И. Сравнение тепловой эффективности шахматных пучков поперечно-ребренных труб различного профиля/ П.И. Багрий, А.М. Терех, В. А. Рогачов //Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – №6/5(30). – С. 51-56 .
2. Письменный Е.Н. Новые теплообменные поверхности из плоскоовальных труб с неполным оребрением / Е.Н. Письменный, А.М. Терех, П.И. Багрий //тез. докл. VI Минский международный форум по тепло-и массообмену. 19-23 мая 2008 г., г. Минск, Беларусь. – С.281-283.
3. Письменный Е.Н. Новые эффективные развитые поверхности теплообмена для решения задач энерго- и ресурсосбережения/ Е.Н. Письменный // Промышленная теплотехника. – 2007. – Т. 29. - №5. – С. 7-16.
4. Письменный Е.Н. Оптимизация оребрения новой теплообменной поверхности на основе плоскоовальных труб/ Е.Н. Письменный, П.И. Багрий, А.М. Терех, А.В. Семеняко // Инженерно-физический журнал. 2013. Т.86 №5. С. 1002-1007.
5. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева./ В.М. Антуфьев – М. Л.:Энергия, 1966. – 184 с.

M. Voznyuk, JRF, A. Semenyako, TF, V. Bondar, Msc.

**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
OPTIMAL HEIGHT OF TRANSVERSAL FINS OF FLAT-OVAL TUBE**

Based on experimental studies and analysis of intensity of heat transfer and aerodynamic drag of flat-oval tubes bundles the optimization of transversal finning height is carried out. The influence of the used material on optimal finning height is analyzed. For the first time in Ukraine offered generalized dependence for determining the optimal height of fins depending on the material and the relative length of the line of contact with the fins and tube. The results of the analysis are presented as comparative heat-aerodynamic and weight and size characteristics of the waste economizer for boiler PTVM-30m. It is shown that the using the optimized finning will allow to improve mass-dimensions characteristics of heat-transfer device on the (15-20) %.

Keywords: tube, flat-oval, fin, optimization, heat flux, heat-aerodynamic

References

1. Bagriy P.I. Comparison of heat efficiency of staggered bundles of transversal finned tubes of different shape/P.I. Bagriy, A.M. Terekh, V.A. Rogachov// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies– 2007. – №6/5(30). – P. 51-56 .
2. Pis'mennyi E.N. New heat transfer surfaces assembled from partially finned flat-oval tubes / E.N. Pis'mennyi, A.M. Terekh, P.I. Bagriy// theses of the report VI Minsk International heat and mass transfer forum. 19-23 May 2008, Minsk, Belarus. – P.281-283.
3. Pis'mennyi E.N. New effective advanced heat transfer surfaces for solving the problems of energy and resource saving/ E.N. Pis'mennyi// Industrial Heat Engineering. – 2007. – V. 29. - №5. – P. 7-16.
4. Pis'mennyi E.N. Optimization of finning of new heat transfer surface assembled from partially finned flat-oval / E.N. Pis'mennyi, P.I. Bagriy, A.M. Terekh, A.V. Semenyako // Engineering Physics Journal. 2013. V.86 №5. P. 1002-1007.
5. Antufyev V.M. Efficiency of different shapes of convective heat transfer surfaces./ V.M. Antufyev – М. L.:Energiya, 1966. – 184 p.

УДК 621.18.063

М.М. Вознюк, мл. науч. сотр., О.В. Семеняко, асс., В. А. Бондар, магистр.

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ОПТИМАЛЬНА ВИСОТА ПОПЕРЕЧНИХ РЕБЕР ПЛОСКООВАЛЬНОЇ ТРУБИ**

На підставі експериментальних досліджень і аналізу інтенсивності теплообміну та аеродинамічного опору пучків плоскоовальних труб проведена оптимізація висоти поперечного оребрення. Проаналізовано вплив використовуваного матеріалу на оптимальну висоту оребрення. Вперше в Україні запропонована узагальнююча залежність для визначення оптимальної висоти ребра в залежності від матеріалу оребрення та відносної довжини лінії контакту ребра з несною трубою. Результати проведеного аналізу представлені у вигляді порівняльних теплоаеродинамічних і масогабаритних характеристик економайзера-утилізатора для котла ПТВМ-30м. Показано що, використання оптимізованого оребрення дозволяє полішити масогабаритні характеристики теплообмінного пристрою на (15-20)%.

Ключові слова: труба, плоскоовальний, ребро, оптимізація, тепловий потік, теплоаеродинаміка

Надійшла 22.12.2016

Received 22.12.2015

МЕХАТРОННА СИСТЕМА ІМПЛОЗІЙНОГО ВПЛИВУ НА ПРИВИБІЙНУ ЗОНУ ПЛАСТА НАФТОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Представлено мехатронну систему імпульсного впливу на привибійну зону пласта. Використання розробленої системи через вплив на привибійну зону пласта дозволяє підвищити продуктивність нафтової свердловини.

Система містить занурену (силову) та наземну (керуючу) частини. Аналітично обґрунтовано раціональні параметри системи, запропоновано конструктивні рішення зануреної і наземної частини, створено алгоритм управління імпульсним генератором з використанням ПЛК.

Ключові слова: нафтова свердловина, імпульсія, привибійна зона пласта (ПЗП), проникність колектора, гідроудар, програмований логічний контролер (ПЛК).

Вступ. Ефективність розробки нафтових родовищ багато в чому визначається станом привибійної зони пласта (ПЗП) нагнітальних і видобувних свердловин. В процесі розробки знижується проникність ПЗП і відбувається погіршення фільтраційних характеристик продуктивних пластів, що веде до зниження швидкості руху рідин в привибійній зоні пласта, що в свою чергу приводить до виникнення шламових відкладень і піщаних пробок.

Існує велика низка різноманітних методів фізичного впливу на привибійну зону пласта свердловин, зокрема – імпульсні методи. Ці методи дозволяють досить ефективно здійснювати руйнування кольматантів, розширювати й подовжувати існуючі в гірській породі тріщини, викликати утворення нових тріщин. Імпульси високої енергії можна створювати різними способами, базуються на використанні енергії вибухових речовин, електричних розрядів, закачки газу або води в деякі ізольовані об'єми з високим тиском і т.і. Ефективність імпульсного впливу великої енергії (ударні хвилі) зростає, якщо попередньо очистити й промити вибій свердловини [1].

Одним із перспективних методів фізичного впливу на привибійну зону свердловини є метод імпульсії. Цей метод відносно новий у порівнянні з кислотною, термокислотною і пінокислотною обробками, гідравлічним розривом пласта або електропрогрівом і має хороші перспективи розвитку.

Імпульсія - вибух всередину, який досягається за рахунок різкого підвищення тиску в деякому об'ємі рідкого середовища при раптовому заповненні в цьому об'ємі певного, наперед заданого, простору, не заповненого рідиною. [2] Наприклад, імпульсійний ефект може бути досягнутий шляхом розриву опущених у свердловину, заповнених рідиною пустотілих балонів або металевих посудин, що перебувають під атмосферним тиском.

Ефективність дії на середовище методом імпульсії визначається амплітудою підвищення тиску і часом, протягом якого продовжується це підвищення [2]. Причому, імпульсія супроводжується не тільки різким підвищенням тиску, але й наступною пульсацією його на протязі деякого часу, значно більшого, ніж тривалість самого удару. Розміри утворених при цьому тріщин залежать від характеристик пласта, об'єму задоволеної рідини і величини відношення тиску, створеного в свердловині, до гірського тиску.

У момент, коли рідина стрімко прямує всередину пустотілого корпусу також здійснюється розрідження на вибої. За рахунок цієї депресії пластова рідина з великою швидкістю починає надходити у свердловину, що сприяє очистці частини пласта від забруднень (відкладень смол, парафіну і т.і.), а іноді приводить до руйнування породи привибійної зони пласта і створення там розгалуженої сітки тріщин. Приток нафти в свердловині після імпульсійної обробки може вирости в декілька разів. Іноді свердловини, що експлуатуються механізованим способом переходять в ряд фонтануючих [3].

Загалом, більшість пристроїв для проведення імпульсійної обробки привибійної зони пласта мають один істотний недолік - з їхньою допомогою за один спуск глибинного устаткування в свердловину можливо провести лише один процес імпульсії, що не гарантує високої якості обробки.

Метою роботи є обґрунтування структури та режиму роботи багаторазового імпульсійного генератора та розробка мехатронної системи управління генератором з урахуванням особливостей його функціонування.

Постановка задачі. Для досягнення мети необхідно визначити головні геометричні параметри генератора з урахуванням глибини занурення пристрою та діаметра його імпульсійної камери. Далі, взявши за основу режим роботи генератора, розробити принципову мехатронну систему управління генератором з поверхні.

Матеріали і результати досліджень.

Тиск гідравлічного удару по рівнянню Н.С. Жуковського становить:

$$p_{e.y.} = \rho w c, \quad (1.1)$$

де $p_{e.y.}$ - тиск гідравлічного удару, Па; ρ - щільність рідини, кг/м³; w - швидкість руху рідини, м/с; c - швидкість поширення ударної хвилі в трубах, м/с - рівна для прийнятих умов

$$w = \phi \sqrt{\frac{2p_0 D_k}{\rho \lambda l_k} (1 - \exp(-\frac{\lambda(l_k - l_0)}{D_k}))} = 0,706 \sqrt{\frac{2 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 0,059}{1000 \cdot 0,02 \cdot 3} (1 - \exp(-\frac{0,02(3 - 0,03)}{0,059}))} = 54,8 \frac{m}{c} \quad (1.2)$$

$$c = \sqrt{\frac{k}{\rho(1 + \frac{dk}{\delta E})}} = \sqrt{\frac{1,324 \cdot 10^9}{950(1 + \frac{0,59 \cdot 1,324 \cdot 10^9}{0,007 \cdot 196 \cdot 10^9})}} = 942,4 m/c, \quad (1.3)$$

де $\delta = 0,007$ мм - задана товщина стінок корпусу генератора; k - модуль пружності робочої рідини, для води $2,03 \cdot 10^9$ Н/м² і для нафти $1,324 \cdot 10^9$ Н/м²; ρ - густина робочої рідини, кг/м³; d - внутрішній діаметр корпусу генератора, м; E - модуль пружності матеріалу корпусу генератора, для сталі - $196 \cdot 10^9$ Н/м².

Підставляючи в (1.1) відповідні числові значення вихідних даних знаходимо, що величина імпульсу тиску гідравлічного удару, що створюється, може сягати 52 МПа. Це у 1,5 рази більше гірського тиску. Таким чином, за допомогою цього способу може бути забезпечено створення гідравлічного удару, що сприяє створенню в привибійній зоні свердловини тріщин або для розширення вже існуючих там мікротріщин.

Щоб одержати залежність тиску гідравлічного удару від конструктивних параметрів пристрою та глибин пластів, необхідно провести цей розрахунок для різних значень. За результатами розрахунків побудовані залежності $p_{e.y.} = f(d_{кам})$, які зображені на рис. 1, а також залежність $p_{e.y.} = f(h)$, де h - глибина занурення пристрою в свердловину, при $d_{кам} = const = 0,059$ м (рис. 2).

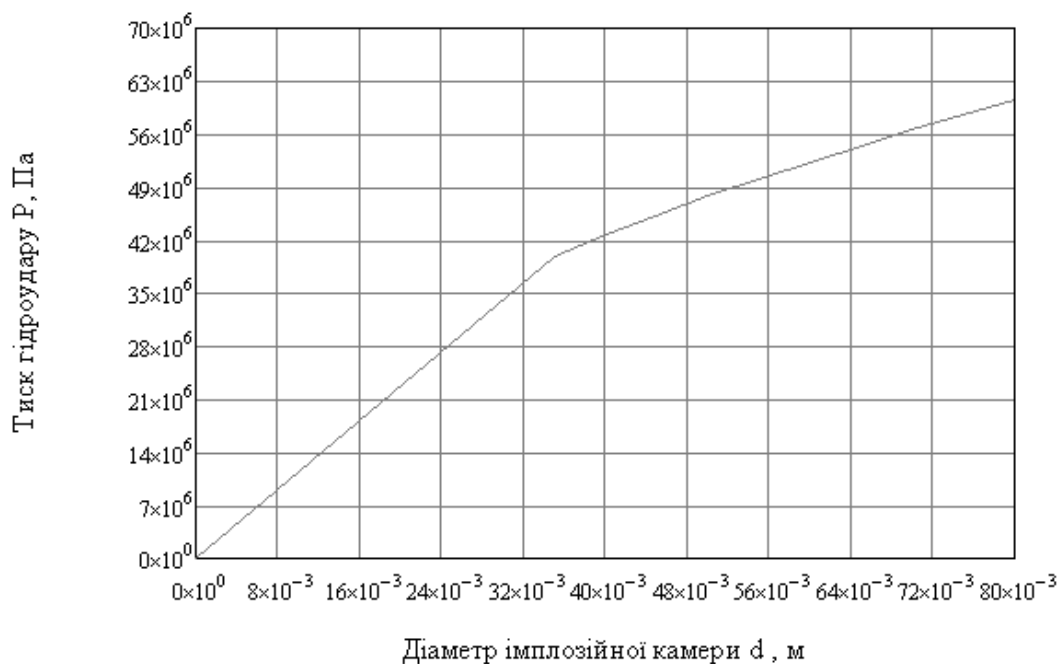


Рисунок 1 – Залежність тиску гідравлічного удару від діаметру імпульсійної камери при $H = 3600$ м.

При розробці заглибного імпульсійного генератора було усунуто проблему відсутності багаторазового використання устаткування. Однак, у зв'язку з достатньо тривалим та одноманітним процесом роботи пристрою, систематичним повторенням однакових дій для проведення якісної обробки ПЗП, виникла

необхідність автоматизувати даний процес, створивши систему управління імпульсним генератором багатократної дії.

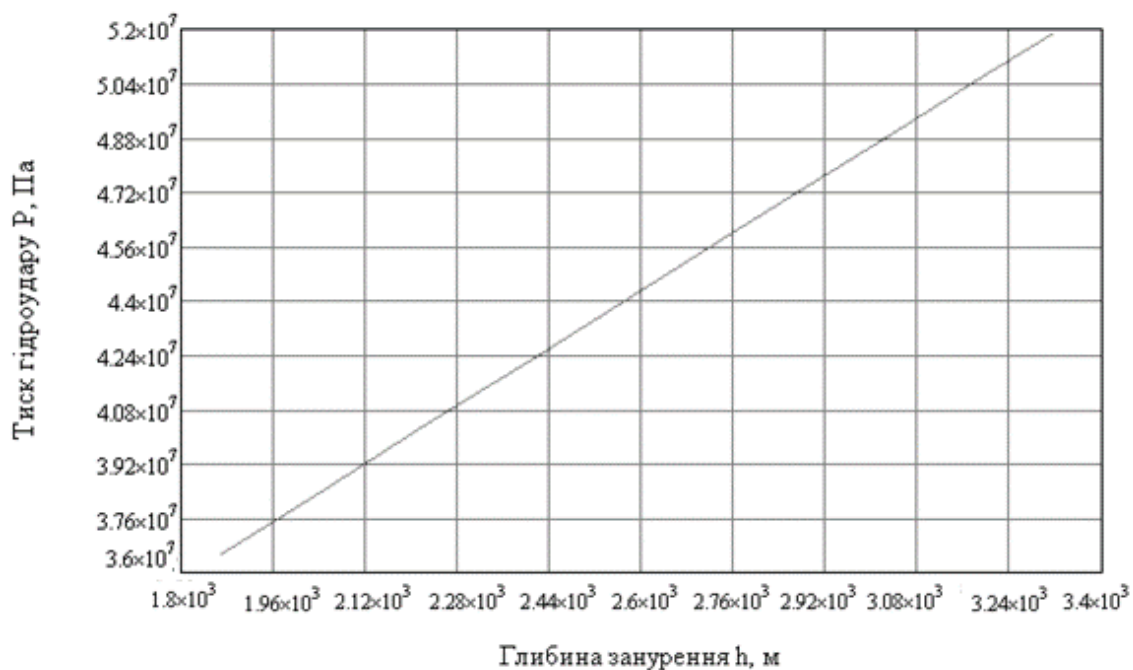


Рисунок 2 – Залежність тиску гідравлічного удару від глибини занурення пристрою, при умові $d_{кам} = const$.

Всю систему багатократної імпульсної обробки ПЗП умовно поділено на занурену частину (рис. 3) і наземну частину (рис. 4) [4].

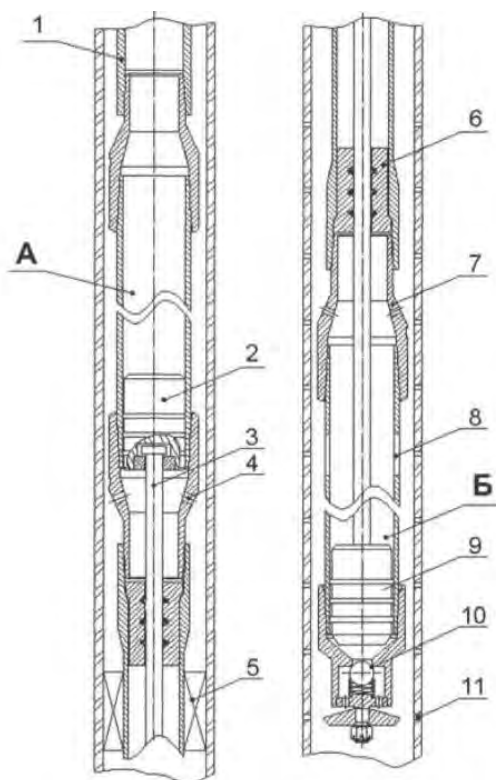


Рисунок 3 – Конструкція зануреного імпульсного генератора багаторазової дії

Занурена частина це занурений імпульсний генератор багатократної дії, який створює ефект багатократної імпульсії з метою впливу на привибійну зону свердловини. Занурена частина системи монтується на колону НКТ і спускається в район оброблюваної зони ПЗП. Після спуску обладнання в свердловину встановлюється пакер, який герметизує затрубний простір.

З поверхні рідина подається через затрубний простір в отвори 4 під поршень 2. З підвищенням тиску поршнева пара починає рухатися вгору. При цьому в камері Б під поршнем 9 створюється порожнина з пониженим тиском, в порівнянні з затрубним простором, і чим більше піднімається поршень, тим більше створюється рівень розрідження. Підйом здійснюється до того моменту, поки поршень 2 не підніметься до упору в верхній частині камери А. При цьому в камері Б поршень 9 проходить радіальні отвори 8 камери Б, і тим самим сполучає імпульсний камеру Б з розрідженням під поршнем із затрубним простором. Рідина з затрубного простору надходить в зону розрідження з великою швидкістю. Маючи велику кінетичну енергію, в результаті прискорення, рідина відкриває клапан 10 і впливає на перфораційні отвори 11 в обсадній колоні. Після витримки часу рідина подається в колону НКТ, тим самим діючи на верхню площину поршня 2, і поршнева пара опускається до упору вниз, стаючи у вихідне положення. Після цього процес повторюється.

Пристрій створення ефекту багатократної імпульсії для впливу на привибійну зону свердловини приводиться в дію гідравлічною системою керування, що розташована на поверхні, і яка сполучена з затрубним простором і НКТ через гирлове устаткування. На трубопроводах, що підводяться до гирлового устаткування, встановлені датчики контролю тиску, що подають сигнали на систему керування, на яких і базуються дія системи на керуючий гідравлічний розподільвач, що в свою чергу здійснює перемикання в силовому гідравлічному розподільвачі, який керує гідравлічним потоком силової маслостанції. Маслостанція забезпечує роботу гідравлічної розподільвача.

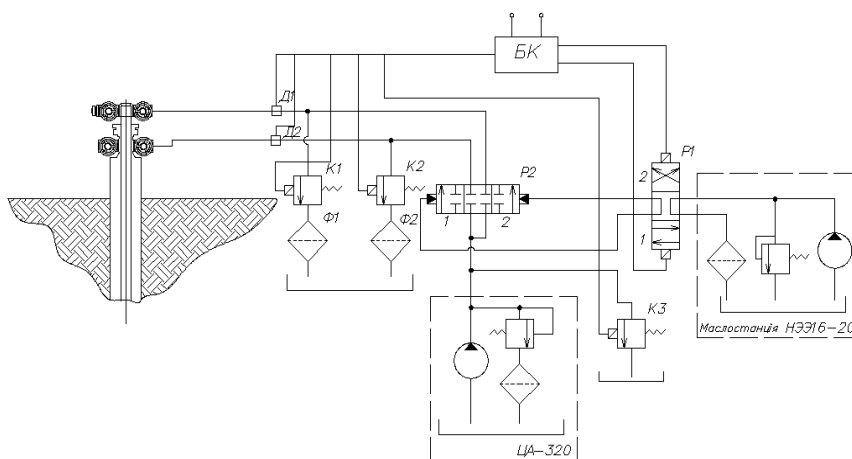


Рисунок 4 – Наземна частина - устаткування керування зануреним імпульсним генератором

Наземна частина – це система з'єднаних між собою пристроїв та засобів, які дозволяють проводити автоматизований процес управління зануреним обладнанням. До даної схеми входять такі ключові елементи: Д1, Д2 – датчики тиску; К1, К2, К3 – електричні зливні клапани; Р1 - електрогіддорозподільвач та Р2 – гіддорозподільвач; маслостанція типу НЭЭ16-20; БК – блок керування. Описана система з одного боку підключається до насосної установки ЦА-320, з іншого - до фонтанного устаткування свердловини з допомогою рукавів високого тиску та швидкокороз'ємних з'єднань.

Обладнання наземної частина монтується на рамі та встановлюється на автомобільний причіп. Змонтоване обладнання зображено на рис. 5. До складу даного обладнання входять: маслостанція 1 типу НЭЭ16-20 з вбудованим керуючим електрогіддорозподільвачем 2 та блоком керування 3 (БК), гідроциліндр 4 ГЦ 30x16-130, керований гіддорозподільвач 5, датчики тиску 6 та зливні електроклапани 7.

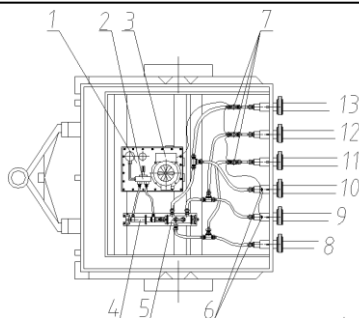


Рисунок 5 – Компонівка наземного обладнання

До виводу 8 приєднується рукав високого тиску, який подає рідину в систему від насосної установки ЦА-320. Вивід 9 приєднують до затрубного простору свердловини, а вивід 10 – до труби НКТ. Виходи 11, 12, 13 призначені для зливу рідини. Рукава високого тиску, приєднані до цих виводів, іншими кінцями спускаються у зливний бак установки ЦА-320. Виходячи з показників датчиків тиску 6, БК 3 посилає сигнал заданої величини на зливні електроклапани 7 і відкриває один або кілька з них, дозволяючи цим самим керувати подачею рідини відповідно у затрубний простір або в колону НКТ через виводи 9 та 10.

Після з'єднання живлення до маслостанції та блоку керування, запущена система починає працювати в режимі холостого ходу. Тобто, зливні клапани виводів 11, 12, 13 знаходяться у відкритому положенні і вся рідина, яка подається від установки ЦА-320, зливається у зливний бак.

Натиснувши кнопку ПУСК/ЗЛИВ на БК 3 система переходить в робочий режим - точка 1 циклограми (рис. 6): з БК подається сигнал на зливні клапани 7 і клапани виводів 12 та 13 закриваються, клапан виводу 11 лишається відкритим. Така конфігурація клапанів забезпечує нагнітання рідини у затрубний простір і, цим самим, призводить до початку зведення поршневої пари.

Подача рідини в затрубний простір буде відбуватись до тих пір, поки не відбудеться явище імпульсії і тиск у затрубному просторі не досягне рівня тиску перемикання клапанів – точка 3 на циклограмі. Якщо датчики тиску фіксують вказаний рівень тиску, БК 3 відкриває всі зливні клапани 7 і тримає їх відкритими певний заданий час, для того, аби припинились гідравлічні коливальні процеси, які відбуваються в зоні обробки – ділянка 3-4 циклограми.

Після заданої затримки, БК 3 закриває зливні клапани виводів 11 та 13 і відкриває зливний клапан виводу 12, забезпечуючи, тим самим, нагнітання рідини в колону НКТ – точка 4 циклограми. Рідина, яка нагнітається, діє на верхню площину поршня 2, і поршнева пара опускається до упору вниз, стаючи у вихідне положення. При досягненні поршневою парою нижнього положення, тиск в колоні НКТ починає зростати і, досягнувши заданого значення яке фіксують датчики тиску 6, БК 3 подає сигнал, який відкриває всі зливні клапани, переводячи всю систему в початкове положення – точка 5 циклограми (рис. 7.9).

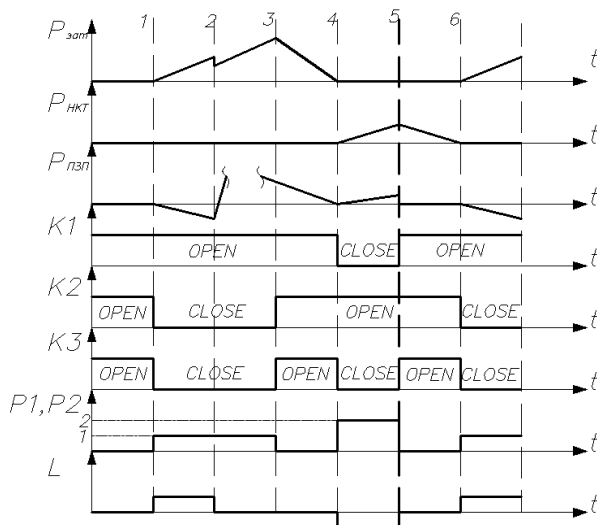


Рисунок 6 – Циклограма роботи системи

Висновки

Обґрунтовано необхідність використання автоматичної системи управління імпульсним генератором. Аналітично визначено залежності тиску в передній хвилі гідроудару від діаметру імпульсній камери генератора - гіперболічна залежність, та тиску в передній хвилі гідроудару від глибини занурення генератора - прямо пропорційна залежність.

Розроблений алгоритм управління дозволяє автоматизувати процес обробки нафтової свердловини та оптимізувати час обробки та її інтенсивність в залежності від гірничо-геологічних умов залягання продуктивного пласта.

Список використаної літератури

1. Попов А. А. Импульсия в процессах нефтедобычи./ Попов А. А. - М.: «Недра», 1996. – 186 с.
2. Аммян В. А. Повышение производительности скважин/ Аммян В. А. М.: Энергия, 1969. – 304 с.
3. Мирзаджанзаде А.Х. Технология и техника добычи нефти/ Мирзаджанзаде А.Х. М.: «Недра», 1986. – 385 с.
4. Пат. 104267 Україна, МПК (2006.01) F15B 21/12, E21B 43/00 Генератор імпульсів тиску/ Лісовол О.П., Лістовщик Л.К., Сліденко В.М.; заявник і власник патенту Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». - № у 201505257 заявл. 28.05.2015; опубл. 25.01.2016, Бюл. №2.

L. Listovshchik, V. Slidenko, O. Lisovol

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” MECHATRONIC SYSTEM OF IMPLOSION ACTION ON A BOTTOMHOLE ZONE OF THE OIL WELL

Was presented by the mechatronic system of implosion effects on the bottomhole formation zone. Using the developed system by influencing the bottomhole formation zone can improve productivity the oil well.

The system consists of deep (high power) and part of the ground (control) part. Analytically justified rational parameters of the system, offer constructive solutions depth and the ground parts, created a control algorithm of implosion generator with using PLC.

Keywords: oil well, implosion, bottomhole formation zone (PPP), the reservoir permeability, hydraulic impact, a programmable logic controller (PLC).

References

1. Popov A. A. Ymplozyya v protsessakh nefte dobychy./ Popov A. A. - М.: «Nedra», 1996. – 186 s.
2. Amyyan V. A. Povyshenye proyzvodytel'nosty skvazhyn/ Amyyan V. A. М.: Enerhyya, 1969. – 304 s.
3. Myrzadzhanzade A.Kh. Tekhnolohyya y tekhnika dobychy nefty/ Myrzadzhanzade A.Kh. М.: «Nedra», 1986. – 385 s.
4. Pat. 104267 Ukrayina, MPK (2006.01) F15V 21/12, E21V 43/00 Henerator impul'siv tysku / Lisovol O.P., Listovshchik L.K., Slidenko V.M.; zayavnyk i vlasnyk patentu Natsional'nyy tekhnichnyy universytet Ukrayiny «Kyuyiv's'kyu politekhnichnyy instytut». - # u 201505257 zayavl. 28.05.2015; opubl. 25.01.2016, Byul. #2.

УДК 622.276

Л.К. Листовщик, канд. техн. наук, доц., В. М. Сліденко, канд. техн. наук, доц.,
А.П. Лисовол, студент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА ИМПЛОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ПЛАСТА НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ

Представлено мехатронную систему имплозионного воздействия на призабойную зону пласта. Использование разработанной системы посредством влияния на призабойную зону пласта позволяет повысить производительность нефтяной скважины.

Система состоит из глубинной (силовой) части и наземной (управляющей) части. Аналитически обосновано рациональные параметры системы, предложено конструктивные решения глубинной и наземной части, создано алгоритм управления имплозионным генератором с использованием ПЛК.

Ключевые слова: нефтяная скважина, импульсия, призабойная зона пласта (ПЗП), проницаемость коллектора, гидроудар, программируемый логический контроллер (ПЛК)

Надійшла 26.10.2016

Received 26.10.2016

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНДУКТИВНИХ ЗАВАД НА СИСТЕМУ З НЕТРАДИЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Наведено класифікацію кондуктивних завад та причини їх виникнення в системах електрогенерації. Представлено моделювання роботи системи електроживлення у випадку дії прямокутних періодичних імпульсів зі змінною полярністю. Розглянуто роботу системи під час вмикання генератора періодичних завад прямокутних імпульсів змінної полярності зі змінними початковими параметрами. На основі вимірних даних при різних значеннях амплітуди імпульсів спотворення та періоду роботи генератора спотворення побудовано сімейства характеристик. Розроблено та проаналізовано алгоритм порядку дій при здійсненні аналізу впливу кондуктивних завад на систему еквівалентний генератор – еквівалентне навантаження. Представлено залежності обмінної потужності при різних кутах зсуву фаз при різних формах імпульсних сигналів.

Ключові слова: джерело кондуктивних завад, потужність Фризе, електромагнітна сумісність, обмінна потужність.

Вступ. Однією з ключових проблем роботи систем розсосередженої генерації з пристроями силової електроніки є нормальна робота системи під дією імпульсних періодичних завад. При роботі системи електроживлення використовуються різноманітні перетворювачі електроенергії, які є джерелом завад в мережі.

Через дію завад змінюється графік навантажувальної та передаточної характеристик, коливаються діючі значення робочого струму та амплітуди. Чим більша потужність використаного перетворювача, тим більші завади він вносить в систему, тому слід більш докладно дослідити питання впливу періодичних імпульсних завад на роботу системи електроживлення [1–4].

Кондуктивні завади можна поділити за наступними характеристиками [2–5]:

- 1) за характером поширення: симетричні(диференціальні), несиметричні (загального виду);
- 2) за тривалістю та регулярністю завади – безперервні (стаціонарна), короткотривалі, регулярні, випадкові;
- 3) за формою генерованої завади – моносинусоїдальні, полісинусоїдальні, імпульсні;
- 4) за енергетичним спектром перешкоди – вузькосмугові, широкосмугові;
- 5) за областю частот перешкоди – низькочастотні, високочастотні, радіочастотні.

Порушення функціонування технічних засобів, як і дію завад, неможливо передбачити. Це можна пояснити як наявністю великої кількості механізмів, що викликають завади, так і статичним характером завадостійкості у більшості пристроїв автоматики.

До причин виникнення в системі кондуктивних електромагнітних завад, тобто взаємного впливу пристроїв або кондуктивних елементів, можна віднести такі:

- напруга живлення з частотою 50 Гц;
- високочастотні та низькочастотні тактові сигнали;
- сигнали в проводах управління або лініях передачі даних;
- комутаційні процеси в індуктивності;
- розряди в моменти замикання або розмикання контактів.

Мета та завдання. Метою даного дослідження є аналіз впливу джерела кондуктивних завад на систему електроживлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести моделювання системи електроживлення з генератором прямокутних завад зі зміною полярністю;
- побудувати графічні залежності, провести аналіз отриманих результатів та зробити відповідні висновки.

Матеріал і результати дослідження.

Для моделювання роботи системи під дією таких завад розглянемо випадок дії прямокутних періодичних імпульсів зі змінною полярністю. Слід зазначити, що імпульси завад можуть бути довільної

форми (трикутні, трапецеїдальні тощо) та періоду, тому візьмемо найпростіший для обрахування варіант періодичних прямокутних завад.

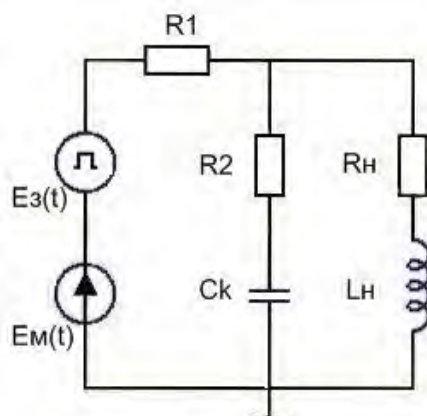


Рисунок 1 – Модель системи живлення з генератором імпульсних завад

Вирішення проблеми нормальної роботи системи під дією періодичних завад слід розглядати на моделі генератор – ємнісний компенсатор – навантаження, що є спрощеним виглядом роботи системи електроживлення з перетворювачами електроенергії. Використовуючи таку модель, зручно прослідкувати зміни в роботі компенсатора при подачі періодичних імпульсів завад в системі, в нашому випадку – періодичних прямокутних завад зі змінною полярністю [2, 5, 6].

Проаналізуємо вплив імпульсних завад на роботу компенсатора реактивної потужності (C_k). За допомогою генератора синусоїдальної напруги мережі ($E_M(t)$) та генератора періодичних імпульсів завад ($E_3(t)$) будемо подавати живлення в систему та прямокутні завади змінної полярності. Для остаточного аналізу за допомогою методу накладання ми об'єднаємо графіки роботи двох генераторів та проаналізуємо зміни відносно системи без впливу імпульсів спотворень. Будемо мати ($E_\Sigma(t)$):

$$E_\Sigma(t) = E_\zeta(t) + E_i(t).$$

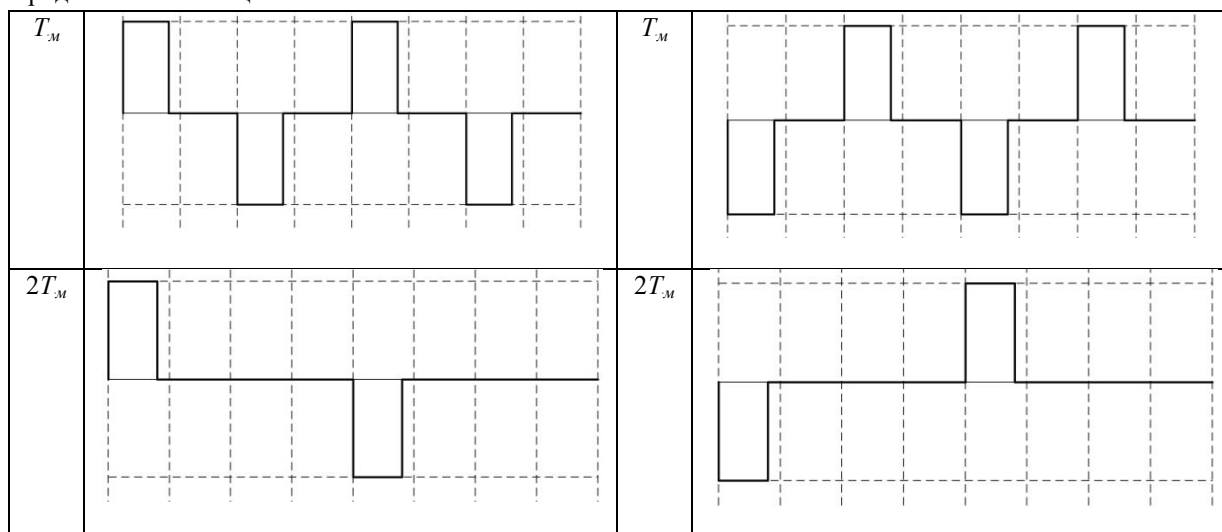
Для того, щоб визначити, як впливають періодичні прямокутні завади на роботу системи електроживлення, будемо змінювати параметри роботи генератора імпульсів завад ($E_\zeta(t)$) та генератора живлення мережі ($E_i(t)$), а саме: фазу імпульсу завад (φ), тривалість імпульсу завад ($T_{имп}$), період роботи генератора завад (T_3) відносно періоду роботи генератора живлення (T_M), шпаруватість (γ) та амплітуду імпульсу завад (U_3) відносно амплітуди синусоїдального генератора (U_M). Для визначення впливу завад на синусоїдальний генератор і подальшого порівняння результатів знайдемо струм на компенсаторі (I_k) без дії імпульсів завад. Зміна заданих параметрів впливає на миттєві та діючі значення робочих струмів та напруг як у навантаженні, так і в компенсаторі, що спотворює графіки їх навантажувальних та керувальних характеристик.

Розглянемо роботу системи під час вмикання генератора періодичних прямокутних імпульсів змінної полярності. Для цього розглянемо роботу системи при трьох сталих значеннях періоду роботи генератора завад відносно $E_\zeta(t)$ періоду роботи генератора мережевої напруги $E_i(t)$: 1) $T_3=0,5T_M$; 2) $T_3=T_M$; 3) $T_3=2T_M$ (таблиця 1) та трьох сталих значеннях амплітуди імпульсів завад U_3 відносно амплітуди генератора живлення U_M : 1) $U_3 = U_M$, $U_3 = 0,5U_M$, $U_3 = 1,5U_M$. Будемо брати до уваги один період роботи генератора живлення і генератора завад.

Таблиця 1 – Графічні залежності завад

T_3	Вигляд завади	T_3	Вигляд завади
$0,5T_M$		$0,5T_M$	

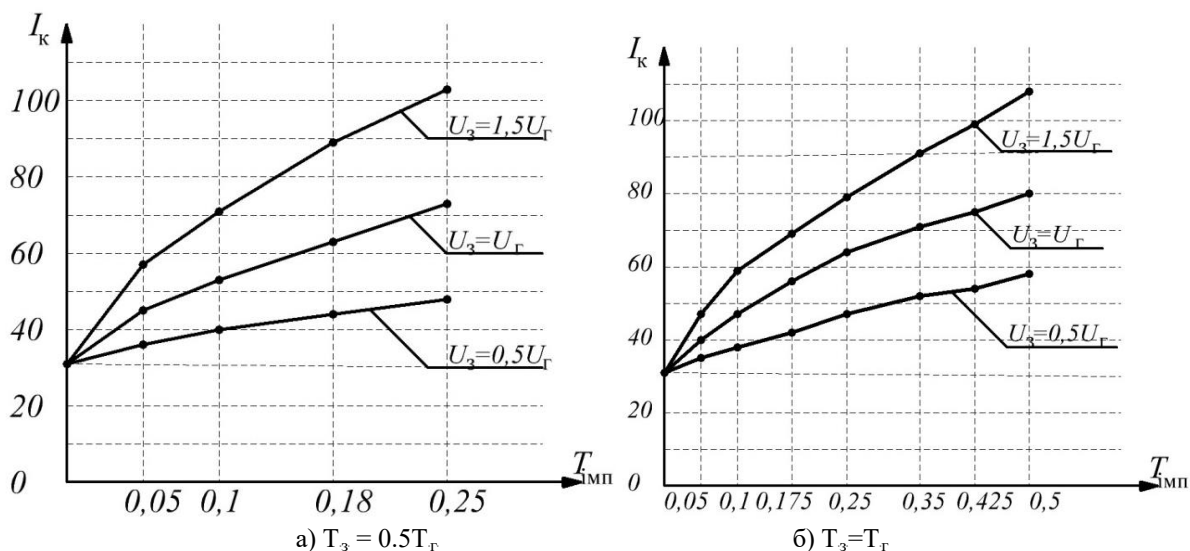
Продовження таблиці 1.



На основі вимірних даних при різних значеннях амплітуди імпульсів спотворення та періоду роботи генератора спотворення побудуємо сімейства характеристик, за якими можна спостерігати зміну струму на компенсаторі реактивної потужності при зміні описаних вище параметрів. Такий аналіз покаже, який параметр має найбільший вплив на роботу системи електроживлення під дією прямокутних періодичних завад.

Загалом, отримані сімейства характеристик вказують на те, що струм на компенсаторі поступово збільшується за експоненціальним законом при збільшенні амплітуди генератора завад та при збільшенні тривалості імпульсів. При подальшому збільшенні періоду роботи генератора завад його вплив на роботи системи нівелюється.

За наведеними графіками (рис. 2.1-2.2) можна зробити висновок, що зі збільшенням тривалості імпульсу завад $T_{имп}$ пропорційно збільшується і діюче значення струму на компенсаторі. При збільшенні періоду роботи генератора завад T_3 спостерігається тенденція до зменшення миттєвого значення струму на компенсаторі реактивної потужності. Зі збільшенням амплітуди імпульсів завад U_3 збільшуються і діючі значення струму на компенсаторі незалежно від тривалості імпульсу завад



а) $T_3 = 0.5T_r$ б) $T_3 = T_r$
Рисунок 2.1 – $I_k = f(T_{имп})$, синфазна робота генераторів

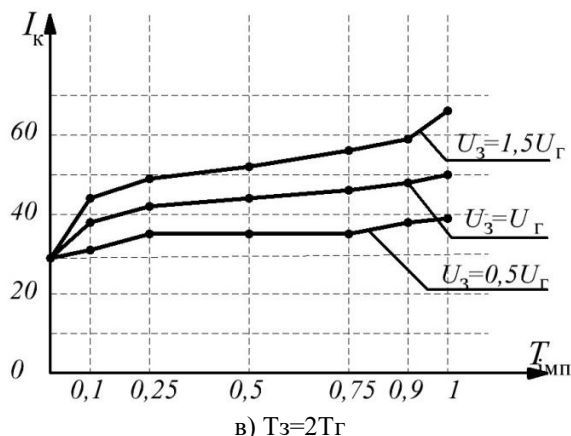


Рисунок 2.2 – $I_k = f(T_{имп})$, синфазна робота генераторів

Можна зробити висновок, що залежність діючих струмів у компенсаторі має прямо пропорційний характер відносно тривалості імпульсів генератора завад $T_{имп}$ та відносно амплітуди імпульсів спотворень T_3 (при співпадінні фаз імпульсів завад та фази синусоїди живлення). Це можна пояснити збільшенням площі під графіком напруги завдяки накладанню графіка імпульсів завад на графік напруги живлення мережі.

При зміні полярності імпульсів завад спостерігаються подібні зміни в роботі системи (рис. 3), як було описано вище. Очевидна відмінність є тільки при однаковому періоді роботи генератора живлення $E_i(t)$ та генератора завад $E_c(t)$. При співпадінні фази імпульсів спотворення з синусоїдальною напругою живлення отримаємо найбільшу різницю значень струму, що на рисунку 4 відображено відрізком з найбільшою різницею між графіками за значенням струму. В цілому режим роботи системи має незначні зміни відносно зміни полярності імпульсів завад, і головні описані закономірності мають місце у випадку зі зміною полярності роботи генератора імпульсів.

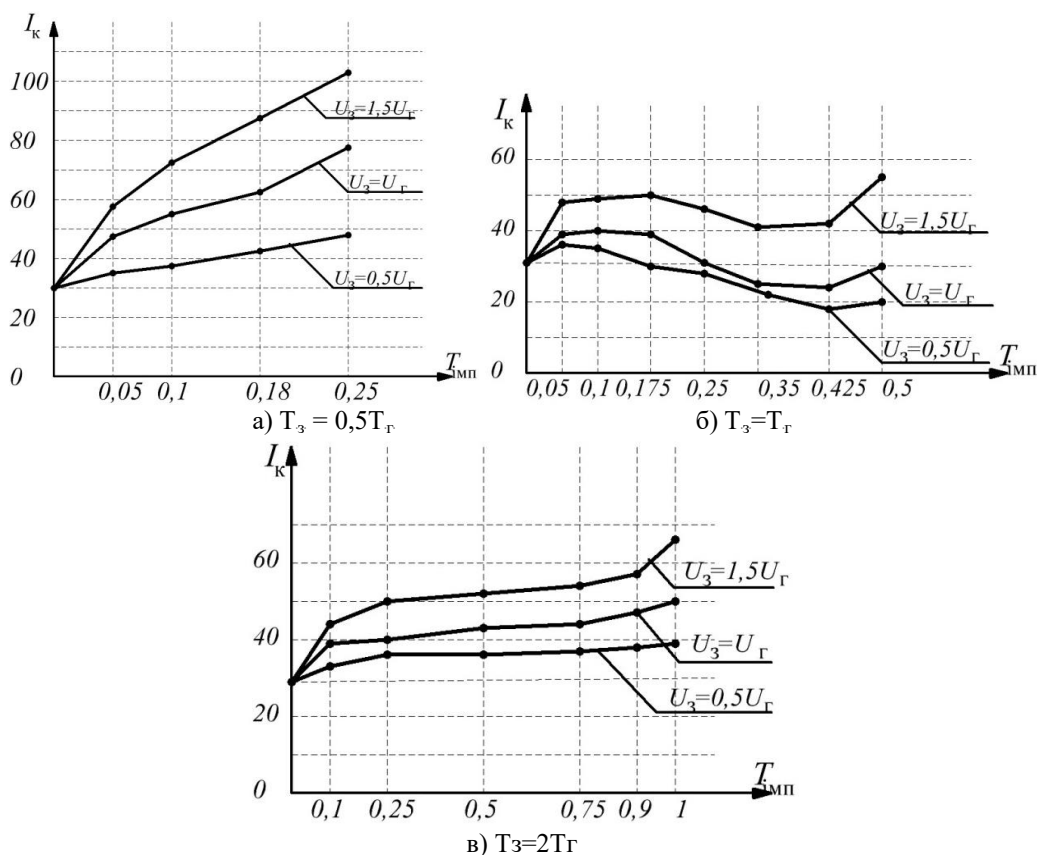


Рисунок 3 – $I_k = f(T_{имп})$, протифазна робота генераторів

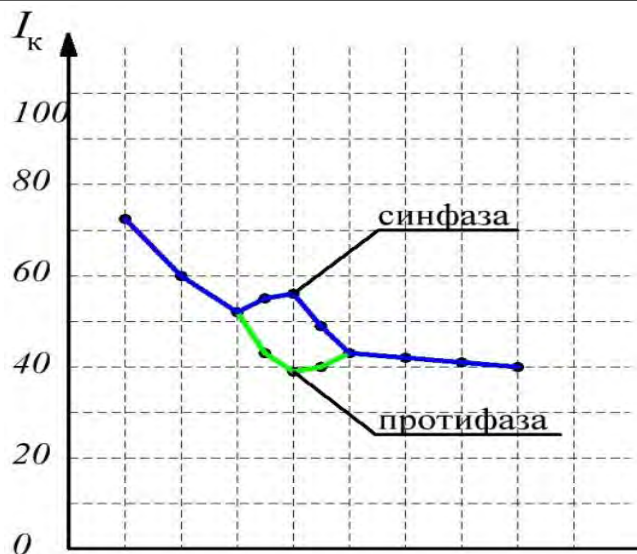


Рисунок 4 – Залежність діючого значення струму на компенсаторі від періоду роботи генератора завад

Отримані графіки показують збільшення пікового імпульсного значення струму та значне спотворення графіка напруги живлення. Цього ефекту можна позбутися введенням в систему фільтруючих пристроїв, які будуть фільтрувати високочастотну складову напруги живлення. Також увагу слід приділити роботі системи при рівних періодах генератора завад та генератора живлення. Значення струму в такому режимі може мати найбільш протилежне значення через співпадіння або не співпадіння фаз роботи генераторів.

Згідно методу окремих складових, оригінал струму на інтервалі $i_i(t)$ знаходиться як різниця перехідного струму $i_{pi}(t)$ (результат роботи генератора на інтервалі, який розглядається) і вільного струму $i_{vi}(t)$ (результат роботи генераторів на всіх інших інтервалах, окрім того, що розглядається) [5–10]:

$$i_i(t) = i_{pi}(t) - i_{vi}(t)$$

Розрахунок здійснюється на основі формул визначення струмів на інтервалах для різних видів функцій змін параметрів еквівалентного генератора та еквівалентного навантаження за наступними етапами:

1. Визначення початкових часових констант моделі $\{Г\}$ – $\{Н\}$.
2. Побудова графіків $U_T(t)$, $R_H(t)$, визначення періодів роботи генератора та навантаження, формування матриць моментів комутацій T_U , T_R , аналіз синхронності перемикачів генератора та навантаження для визначення спільних моментів комутацій.
3. Визначення початкових параметрів системи на інтервалах та представлення їх у вигляді матриць початкових параметрів напруги U_{MI} та опору R_{MI} .
4. Визначення параметрів струмів навантаження на інтервалах через матриці параметрів вільних та перехідних струмів на поточному періоді, проведення розрахунків для кожного наступного інтервалу періоду T_T .

Для того, щоб розглянути вплив завад різної форми, розглянемо обмінні процеси в системі електроживлення. Обмінна потужність [9–16]:

$$Q_{iA} = \frac{2}{T} \int_0^{t^+} u(t) i_p(t) dt;$$

$$\text{де } u(t) = U_m \sin(\omega t); i_o(t) = i(t) - i_a(t); i(t) = \frac{4I_m}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2k-1)(3\omega t + \varphi)}{2k-1};$$

$$i_a(t) = \frac{u(t)P}{U_D^2}; \quad P = \frac{1}{2} \int_0^T u(t)i(t)dt.$$

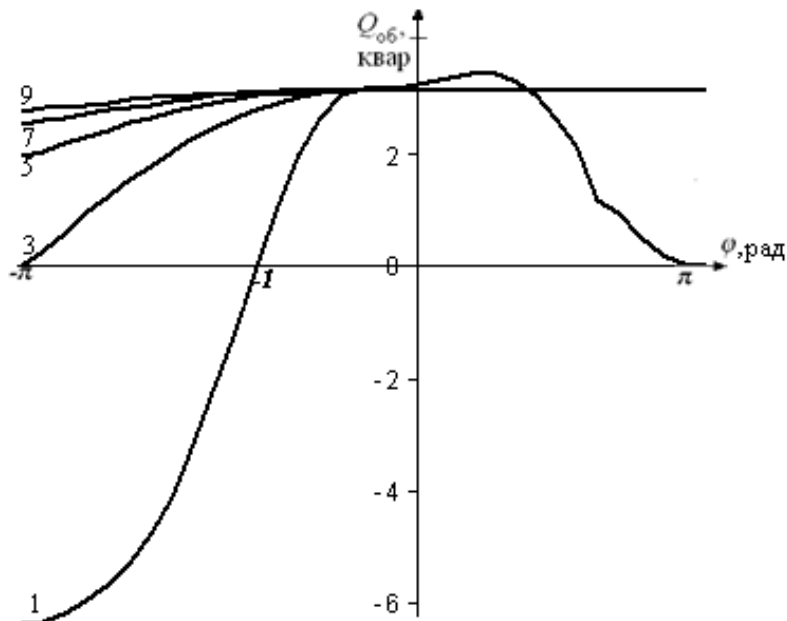


Рисунок 5 – Зміна обмінної потужності при дії третьої гармоніки прямокутної форми сигналу та з зсуві фаз між напругою та струмом $\varphi = \pi / 2$

Як видно з наведених графіків, у випадку дії лише основної гармонічної складової сигналу (рис. 4, а) функція $Q_{iA}(\varphi)$ для всіх типів сигналу змінюється майже однаково, проте максимальні відхилення між прямокутним сигналом та синусоїдальним перевищує 50 %, тоді як для трикутного сигналу не перевищує 35%.

Залежність впливу третьої гармонічної складової на залежність $Q_{iA}(\varphi)$ (рис. 5) зростає від нуля, і при значенні кута зсуву фаз $\varphi \approx -0,3$ рад залежності не змінюються і розташовані паралельно одна до одної і до горизонтальної осі. Відхилення як при дії прямокутного сигналу, так і при дії трикутного сигналу складає приблизно 36%.

Для гармонік п'ятої та вищих (рис. 5) функція $Q_{iA}(\varphi)$ прямує до прямої паралельної горизонтальній осі, й відхилення різних сигналів від синусоїдального зменшується.

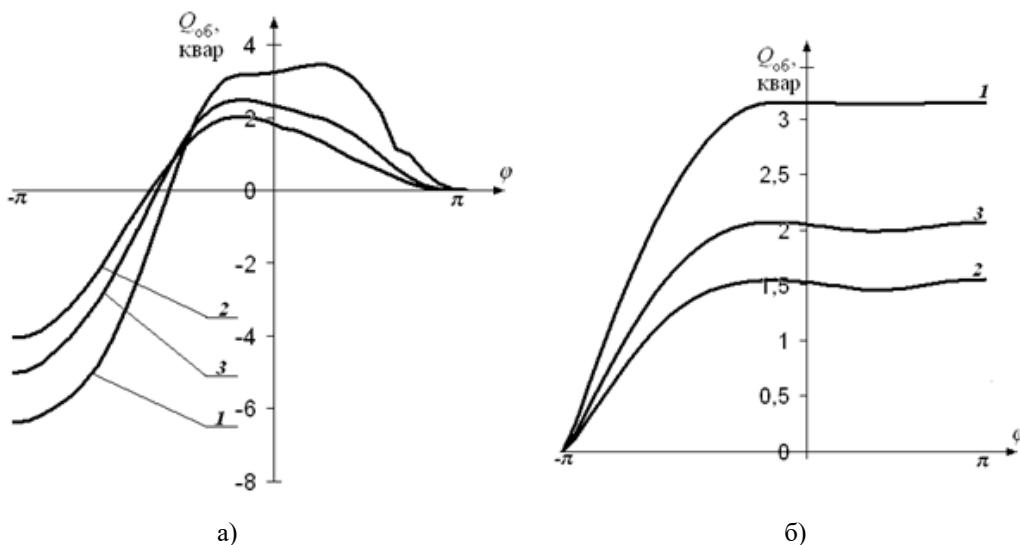


Рисунок 6 – Залежність обмінної потужності від кута зсуву фаз при дії

основної гармонічної складової джерела перешкод

1 – прямокутний імпульсний сигнал; 2 – трикутний імпульсний сигнал;

3 – синусоїдальний сигнал

Провівши кореляційний аналіз отриманих результатів для математичного співставлення графіків з різнотипним збурювальним сигналом, виявилось, що незалежно від того, які сигнали співставлялися, залежності обмінної потужності від кута зсуву фаз є корельованими, тобто для спрощення розрахунків можна виконувати заміну синусоїдального сигналу перешкоди на прямокутний або трикутний сигнали з однаковими амплітудами та частотами. Також, як видно з рисунків, на діапазоні кута $\varphi[-\pi;0]$ для вищих та основної гармонічних складових струмів обмінна потужність зростає і досягає певного пікового значення, а на діапазоні кута $\varphi[0;\pi]$ при дії вищих гармонік обмінна потужність не змінюється або змінюється несуттєво, а при дії основної гармоніки продовжує зростати до свого максимуму, після чого збігається в нуль. Така тенденція спостерігається для всіх періодичних, різних за формою сигналів похибки. Також, виходячи з розрахунків, можна визначити умови, при яких обмінна потужність буде дорівнювати нулю, що означає її повну взаємокомпенсацію, а не відсутність обмінних процесів у системі. Дане дослідження дозволить розробити алгоритм аналізу впливу не лише періодичних сигналів різної форми, але також випадкових імпульсних сигналів.

Висновки.

Одним з найбільш оптимальних шляхів розв'язання подібних задач у моделях генератор – навантаження (здійснення інженерних розрахунків при проектуванні, вибір оптимальних параметрів елементів систем з перетворювачами електроенергії, оптимізація процедур у системах керування, кількісний та якісний аналіз вихідних характеристик та проведення енергоаудиту систем з перетворювачами електроенергії тощо) є розширення використання аналізу на основі методу окремих складових.

Даний метод дозволяє формувати в аналітичній формі співвідношення між періодами функції напруги генератора T_G та функції зміни параметрів навантаження T_H , а також визначати аналітичний розклад сигналів струму навантаження у гармонічний спектр, аналітичні вирази активної потужності P , реактивної потужності Q , потужності Фризе Q_Φ , а також створює можливості для здійснення параметричного аналізу роботи системи з перетворювачами електроенергії при зміні початкових параметрів генератора та навантаження, зміні закону керування тощо.

Список використаної літератури

1. Неактивная мощность в электроэнергетических системах / А.А.Шпота, Д.В. Орлов, Р.А. Набиуллин, А.А. Планков. // Омский государственный технических университет.
2. Жарков Ф.П. Об одном способе определения реактивной мощности / Ф.П. Жарков. // Наука. – 1984. – №2. – С. 73–81.
3. Жуйков В.Я. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами / В.Я. Жуйков, С.П.Денисюк. – Київ 2010. – 264 с.
4. Костин М.О. Ознака наявності обмінної потужності в силових електричних тягових колах системи потійного струму / М.О. Костин, О.Г. Шейкина. – 2012. – С. 98–102
5. Баланс энергий в электрических цепях / [В.Е. Тонкаль, А.В. Новосельцев, С.П. Денисюк та ін.]. – Киев: Наук. думка, 1992. – 312 с.
6. Кириленко, О.В. Особливості забезпечення електромагнітної сумісності в електричних мережах України [Текст] / О.В. Кириленко, С.П. Денисюк, О.Б. Рибіна // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. праць. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – № 1(16), Частина 1. – С. 27–30.
7. Journals, B., EMC and Smart Grid applications / B. Journals // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. – 2010.
8. Oliveira, P.M.D., Reactive Power Response of Wind Generators Under an Incremental Network-Loss Allocation Approach [Текст] / P.M.D. Oliveira, P.M. Jesus., E.D. Castronuovo, M.T. Leao // IEEE Transactions on Energy Conversion, June. 2008, – № 2 (23), С. 612–621.
9. Verma, S.P. Smart Grid, Its Power Quality and Electromagnetic Compatibility [Текст] / S.P. Verma, P. Kumar, Noor-ul-Islam. // MIT International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering. – 2012. – №1. – С. 55–64.
10. Akagi H., Watanabe E.H., Aredes M. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning [Текст] / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes // New York: Wiley. – 2007. – 380 с.
11. Leszek, S., Czarnecki, K. Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems [Текст] / S. Leszek, K. Czarnecki // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2006. – 21. – С. 362-367.

12. Загирняк, М.В. Анализ процессов преобразования энергии в электромеханических системах / М.В. Загирняк, Д.И. Родькин // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – 2012. – 3(19). – С. 30–36
13. Загирняк, М.В. Направления развития теории мгновенной мощности и ее применение в задачах электромеханики [Текст] / М.В. Загирняк, Д.И. Родькин, А.П. Черный, Т.В. Коренькова // *Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика»*. – 2011. – С. 347–354.
14. Денисюк, С.П. Аналіз взаємного впливу елементів системи електроживлення з перетворювачами [Текст] / С.П. Денисюк // *Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. праць*. – К.: ІЕД НАНУ. – 2007. – № 2(17). – С. 13–17.
15. Костин, Н.А. Методы определения составляющих полной мощности в системах электрической тяги [Текст] / Н. А. Костин, А. В. Петров // *Технічна електродинаміка. Тем. вип.«ПСЕ –2011»*. – 2011. – 3. – С. 53–59.
16. Жемеров, Г.Г. Система составляющих полной мощности и энергетических коэффициентов на основе р-ч-г теории мощности [Текст] / Г.Г Жемеров, Д.С. Крылов, Д.В. Тугай // *Технічна електродинаміка, тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки*. – 2004. – Ч. 1. – С. 69–74.
17. Жуйков В.Я. Развитие методу окремих складових для розрахунку складних електронних систем / В.Я. Жуйков, С.П. Денисюк, Г.В. Мельничук // *Техн.електродинаміка, темат. вип. «Проблеми сучасної електроніки»*, 2008. – Ч.3, – С.3–8.
18. Денисюк С.П. Розрахунок електромагнітних процесів у системах з перетворювачами електричної енергії для технологічних систем з циклічно змінюваними параметрами / С.П.Денисюк, Г.В.Мельничук, П.С.Колесник // *Праці ІЕД*. – 25. – 2010.

D.Horenko, G. Melnychuk

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

ANALYSIS OF THE IMPAKT OF CONDUCTIVE NOISE ON SYSTEMS WITH NON-TRADITIONAL SOURCES OF ELECTRICITY

Classification of conducted interference and their causes in systems of power generation. The modeling work of the power supply system in case of rectangular periodic pulses with variable polarity. The work of the system during the on-time generator periodic interference of rectangular pulses of alternating polarity with variable initial parameters. Based on the measured data at various values of the pulse amplitude distortion and the period of operation of the generator distortion built family characteristics. Designed and analyzed the algorithm of the procedure for the analysis of the influence of conducted interference on the system is equivalent to the generator – equivalent load. The dependence of exchange capacities at various angles of phase shift in various forms of pulsed signals.

Key words: source of conducted interference, power Freeze, electromagnetic compatibility, the exchange capacity.

References

1. The inactive power in electric power systems / A.A. Shpot, D.V. Orlov, R.A. Nabiullin, A.A. Plankov. // Omsk state technical University. (Rus.)
2. F. Zharkov, P. one way to determine reactive power / P.F. Zharkov. // *Science*. – 1984. – №. 2. – S. 73-81. (Rus.)
3. Zhuikov, V.Y. Energetics Procesi in electionic Coly s klicovymi elements / V.Y. Zhuykov, S.P. Denysiuk. – Kyiv 2010. – 264 p. (Ukr.)
4. Kostin, M.O. Oznaka nayavnost obmenno paternost in the powerplant elektrichnih of TEGoVA kolah system patinage the Struma / M.O. Costin, O.G. Sheykina. – 2012. – P. 98–102. (Ukr.)
5. The balance of energies in electrical circuits / [Tonkal V. E., Novoseltsev A.V., S.P. Denysiuk TA IR.]. – Kiev: Sciences. Dumka, 1992. 312. (Rus.)
6. Kyrylenko, O.V. Features zabezpechennya electromagneto cumshot in elektrichnih the traps of Ukraine [Text] / O.V. Kyrylenko, S.P. Denysuk, and O. B. RIBA // *PR. I n-Tu elektrodinamiki NAN Ukrainy: ZB. Sciences.]*. – K.: NASU ED, 2007. – № 1(16), Part 1. – S. 27–30. (Ukr.)
7. Journals, B., EMC and Smart Grid applications / B. Journals // *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*. – 2010.
8. Oliveira, P.M.D., Reactive Power Response of Wind Generators Under an Incremental Network-Loss Allocation Approach [Text] / P.M.D. Oliveira, P.M. Jesus., E.D. Castronuovo, and M.T. Leao // *IEEE Transaction on Energy Conversion*, June. 2008, – № 2 (23), P. 612-621.
9. Verma, S.P. Smart Grid and Its Power Quality and Electromagnetic Compatibility [Text] / S.P. Verma, P. Kumar, Noor-ul-Islam. // *MIT International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering*. – 2012. – No. 1. – P. 55-64.

10. Akagi, H., Watanabe, E. H., Aredes, M. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning [Text] / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes // New York:Wiley. – 2007. – 380 с.
11. Leszek, S., drew Mego, K. Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems [Text] / S. Leszek, K. drew Mego // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2006. – 21. – P. 362-367.
12. Zagirnyak, M. V. Analysis of processes of energy conversion in Electromechanical systems / M. V. Zagirnyak, D. I. Rodkin // Electromechanics I energozberigayuchi system. – 2012. – 3(19). – S. 30–36. (Rus.)
13. Zagirnyak, M. V. directions of development of the theory of instantaneous power and its application in problems of electrical engineering [Text] / M. V. Zagirnyak, D. I. Rodkin, A. P. Black, T. V. Korenkova // Minur. Sciences.-tech. Conf. "Problems avtomatizovanih Electroprivod. Teoriya I Praktika". – 2011. – S. 347-354. (Rus.)
14. Denysiuk, S. P. Annals vzaimnogo vpliva elements system electrozeilen s peretvorjuvach [Text] / C. P. Denisyuk // PR. I n-Tu elektrodinamiki NAN Ukrainy: ZB. Sciences.]. – K.: NASU ED. – 2007. – № 2(17). – S. 13–17. (Ukr.)
15. Kostin, N.. Methods for determining the components of the total power in electric traction systems [Text] / N. A. Kostin, A. V. Petrov // Technon elektrodynamika. The. VIP."The DOG -2011". – 2011. – 3. – S. 53-59. (Rus.)
16. Gumerov, G.G. System components with full power and energy coefficients based on p-q-r power theory [Text] / G.G Gumerov, D.S. Krylov, D.V. Tugay // Technon Elektrodynamika, tematyczny the issue. Problems Suchasna elektrotehniki. – 2004. – Part 1. – P. 69-74. (Rus.)
17. Zhuikov, V. Ya. Rozvytok method okremih of warehouses for rozrahunkiv folding electronic systems / V. Y. Zhuykov, S. P. Denysiuk, G. V. Melnychuk // Tech.Elektrodynamika, themed slots. VIP. "Problems Suchasna elektronke", 2008. – № 3, – P 3–8. (Ukr.)
18. Denysiuk, S. P. Rozrahunkiv electromagnetic process have systems s peretvorjuvach elektricno ENERГ for technologicznyh systems s cycle zminyuvati parameters / S. P. Denysiuk, G. V. Melnychuk, P. S. Kolesnik // Pratsi ED. – 25. – 2010. (Ukr.)

УДК 621.31

Д.С. Горенко, Г.В. Мельничук

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ НА СИСТЕМУ С НЕТРАДИЦИОННЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Приведена классификация кондуктивных помех и причины их возникновения в системах электрогенерации. Представлено моделирование работы системы электропитания в случае действия прямоугольных периодических импульсов с переменной полярностью. Рассмотрена работа системы во время включения генератора периодических помех прямоугольных импульсов переменной полярности с переменными начальными параметрами. На основе измеренных данных при различных значениях амплитуды импульсов искажения и периода работы генератора искажений построено семейства характеристик. Разработан и проанализирован алгоритм порядка действий при осуществлении анализа влияния кондуктивных помех на систему эквивалентный генератор – эквивалентная нагрузка. Представлены зависимости обменной мощности при различных углах сдвига фаз, при различных формах импульсных сигналов.

Ключевые слова: источник кондуктивных помех, мощность Фризе, электромагнитная совместимость, обменная мощность.

Надійшла 15.11.2016

Received 15.11.2016

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

УДК 620.9:658.26

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Л.В. Давиденко, канд.техн.наук, доц., Н.В. Давиденко
Луцький національний технічний університет

СТРУКТУРА СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

В статті розглянуто питання побудови системи комплексного контролю ефективності режимів енергоспоживання об'єктів комунального водопостачання як складової енергоменеджменту. Сформульовано її завдання та функції. В структурі системи виділено процедури оперативного контролю та порівняльного аналізу. Для формування нормативів та «стандартів» енергоспоживання запропоновано використовувати дані системи моніторингу та враховувати кращі зразки ефективного енергоспоживання. Формалізацію контролю енергоефективності здійснено на основі об'єктно-орієнтованої технології. Сформовано класи, що враховують параметри стану і функціонування об'єкту, енергоспоживання, зовнішнього середовища, методи планування та контролю енергоспоживання. Виконано опис функцій класів та запропоновано алгоритм контролю. Використання запропонованих принципів дозволяє враховувати реальні умови функціонування об'єкту водопостачання, здійснювати контроль енергоефективності в режимі реального часу, інтегрувати процедури контролю в систему енергоменеджменту підприємства.

Ключові слова: енергоефективність, контроль ефективності енергоспоживання, система комунального водопостачання.

Вступ. Енергетична ефективність на сьогоднішній день є одним із пріоритетів ЄС. В умовах скорочення запасів енергоносіїв і зростання їх ринкової вартості, питання підвищення рівня ефективності енергоспоживання належить до стратегічних завдань держав та є пріоритетним завданням окремих організацій і підприємств. Однією з умов сталого та пропорційного розвитку держави є вирішення проблем енергоемності виробництва. Директива IPPC 2008/1/ЕС [1] вимагає ефективного використання енергії при експлуатації будь-яких установок, а енергоефективність є одним з критеріїв, які використовуються для визначення найкращих доступних технологій для будь-якого виробничого процесу. Досягнення енергетичної ефективності підприємств і організацій вимагає управління не лише на державному та регіональному рівні, а й на рівні підприємств, організацій, окремих технологічних процесів чи енергоемних установок [2], а основною такого підходу має бути поліпшення проектних рішень, а також менеджменту та контролю виробничих процесів.

Ключовим елементом забезпечення енергоефективності, згідно [3], є підходи, спрямовані на створення відповідної системи менеджменту. Стандарт з енергоменеджменту ISO 50001:2011 [4] на відміну від технічного «точкового» підходу, який базується на інвестиціях в енергозбереження, пропонує управлінський підхід за рахунок застосування кращої управлінської практики. Забезпечення постійного підвищення рівня енергоефективності потребує удосконалення існуючих та розроблення нових функцій і процедур контролю та їх інтеграцію в систему енергетичного менеджменту. При цьому виникає необхідність використання процедур моніторингу енергоспоживання, порівняльного аналізу результативності (бенчмаркінгу) з використанням галузевих, регіональних тощо орієнтирів, а також організації на постійній основі комплексного контролю енергоефективності виробничої системи та її об'єктів, процедури якого повинні враховувати специфіку функціонування об'єкту контролю.

Мета статті. Створення передумов для підвищення ефективності енергоспоживання в системі комунального водопостачання шляхом формування принципів побудови системи комплексного контролю енергоефективності її об'єктів, які б дозволяли врахувати ієрархічну приналежність об'єкту дослідження, а також структуру проблеми енергоефективності.

Основні матеріали дослідження. Система комунального водопостачання (СКВ) – складна виробнича система, яка має ієрархічну структуру та розгалужену мережу взаємозв'язків між елементами, що споживають певні види енергії для реалізації технологічного процесу, характеризуються певними вихідними умовами, знаходяться на різних ієрархічних рівнях і мають свої особливості функціонування.

Енергоефективність будь-якої виробничої системи як її синтетична характеристика є ознакою, що характеризує здатність об'єкта дослідження ефективно функціонувати в певних умовах, що вимагає раціонального використання енергоресурсів. Ефективність енергоспоживання – один з індикаторів стану справ у виробничій системі з точки зору технічного рівня виробництва, провадження технологічних процесів, а також організації енергоменеджменту. Згідно [3] серед ключових принципів забезпечення енергоефективності відзначено такі: розробка та впровадження систем енергетичного менеджменту; системний підхід до забезпечення енергоефективності (врахування всіх аспектів і взаємозв'язків між процесами і установками, що функціонують на підприємстві); виявлення ключових аспектів забезпечення енергоефективності та можливостей енергозбереження; визначення показників енергоефективності, їх оцінка, перегляд і вдосконалення; порівняльний аналіз або бенчмаркінг (порівняння з найкращими досягнутими результатами); послідовне вдосконалення енергоефективності (поетапне досягнення кращих показників); розробка та впровадження методів вдосконалення енергоефективності, включаючи моніторинг і контроль.

Моніторинг ефективності енерговикористання в будь-якій виробничій системі покликаний забезпечити визначення її стану та ефективності організації технологічного процесу, а також створити передумови для підвищення якості функціонування системи та її об'єктів. Основним принципом функціонування системи моніторингу має бути безперервність пооб'єктного контролю та урахування отриманої інформації для удосконалення виробничого процесу і планування енергоефективних режимів.

Контроль енергоефективності – складова процесу управління ефективністю енергоспоживання (рис. 1). Адекватна процедура контролю енергоефективності повинна давати змогу оперативно визначати моменти невідповідного підвищення чи зниження енергоефективності на досліджуваному об'єкті, а також давати обґрунтовану оцінку, з яких причин відбулись ці зміни [2].

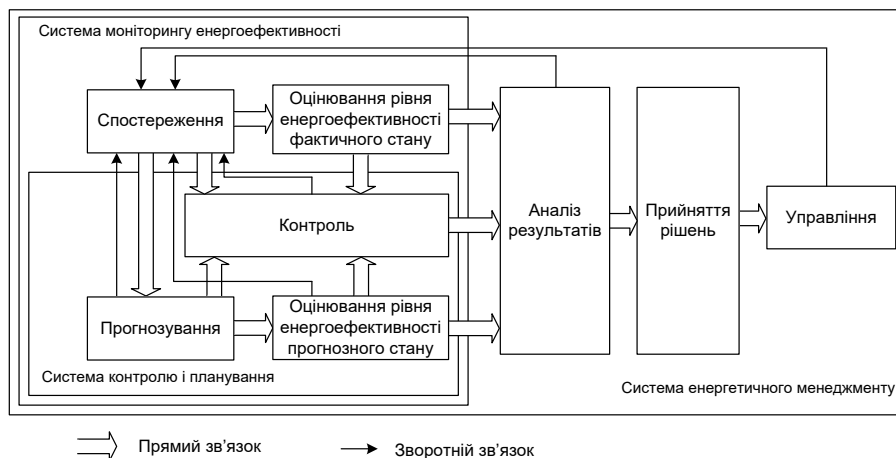


Рисунок 1 – Структура системи енергоменеджменту

В загальному випадку контроль представляє собою самостійний, безперервний процес управлінської діяльності, який полягає в спостереженні, перевірці, зборі та (за необхідності) реєстрації інформації про ефективність функціонування керованого об'єкта; своєчасному виявленні відхилень від прийнятних нормативів та стандартів, аналізі причин їх виникнення; коригуванні функціонування об'єкту контролю, виборі способів впливу на об'єкт контролю для попередження негативних тенденцій. Основними етапами контролю є: 1) отримання первинної інформації про фактичний стан об'єкта контролю, його контрольовані показники; 2) отримання вторинної інформації - відхилень від заданих параметрів шляхом зіставлення первинної інформації з встановленими нормативами; 3) підготовка інформації для вироблення відповідних керуючих впливів на об'єкт. За результатами контролю здійснюються управлінські впливи на об'єкт контролю для корегування його функціонування.

Контроль може бути ефективним у випадку отримання та раціонального використання достовірної та своєчасної інформації про стан керованої системи, відповідності її функціонування намічених цілей.

Вимірювання є важливим інструментом отримання достовірної та доступної для спостереження інформації як щодо обсягів енергоспоживання, так і щодо технологічних характеристик виробничих процесів. Необхідною умовою забезпечення ефективної роботи складної виробничої системи є

автоматизація процесу збору даних про параметри режимів роботи кожного з її структурних елементів та виробничої системи в цілому. Сучасні світові тенденції у галузі управління енергоефективністю відповідно стандарту ISO 50001 передбачають широке впровадження автоматизованих систем обліку енергоресурсів, управління технологічними процесами, які є складовою частиною загальної системи моніторингу, а також інформаційних систем енергоменеджменту. Наявність автоматизованих систем управління спрощує збір та обробку інформації по кожному із об'єктів системи комунального водопостачання. Їх підключення до мережі INTERNET забезпечить зв'язок між контрольними пунктами об'єктів управління та центральним сервером підприємства, що дозволить здійснити консолідацію даних в одній системі. Використання WEB – технологій забезпечує можливість створення систем обліку та аналізу енергоспоживання будь-якого масштабу, забезпечуючи просте їх конструювання.

Впровадження системи моніторингу забезпечує можливість створення великих баз даних, що містять інформацію про режими роботи об'єктів СКВ, використання методів інтелектуального аналізу даних для вивчення постійно зростаючих об'ємів інформації та виявлення прихованих закономірностей, що визначають формування технологічних режимів об'єктів водопостачання. Здійснення комп'ютерного моніторингу витрат енергоресурсів дозволяє розкрити потенціал непродуктивних їх витрат і витрат; контролювати енергоефективність СКВ та кожного з її об'єктів, за видами енергоресурсів, за періодами часу тощо. Прив'язка моніторингу до місць використання енергії закладає фундамент системи контролю енергоефективності, яка передбачає [3]: адекватний контроль технологічних процесів на всіх етапах і у всіх режимах; виявлення ключових показників енергоефективності, а також методів, що дозволяють вимірювати і контролювати ці параметри; документування та аналіз позаштатних ситуацій і умов з метою виявлення і усунення їх причин для запобігання повторення подібних ситуацій у майбутньому.

Окрема увага повинна бути приділена моніторингу чинників зовнішнього середовища, що мають вплив на ефективність режиму енергоспоживання в СКВ. Одним з них є водоспоживання. Організація режиму водопостачання повинна максимально відповідати водоспоживанню. Тому, необхідним є аналіз режимів водоспоживання, виявлення тенденцій його зміни залежно від сезону, кліматичних умов та формування на його основі типових графіків водоподачі. Урахування впливу соціальних особливостей та чинників зовнішнього середовища на характер добового водоспоживання є необхідною умовою реалізації процедур-алгоритмів планування ефективних режимів водоподачі та електроспоживання для кожного з характерних днів. Контроль дотримання режиму водоподачі та виявлення відхилень контрольованих параметрів сприятиме виявленню аварійних та нештатних ситуацій в мережі.

Контроль ефективності енергоспоживання вимагає постійного аналізу енергоспоживання, динаміки показників енергоефективності та виявлення тенденцій до погіршення (покращення).

Забезпечення підвищення загальної ефективності функціонування складної виробничої системи є можливим за умови забезпечення ефективного використання енергоресурсів в усіх її структурних об'єктах та управління енергоспоживанням. Для аналізу енергоефективності СКВ необхідно використовувати багаторівневу систему показників, яка б забезпечувала можливість аналізування ефективності енерговикористання на різних ієрархічних рівнях; кількісної оцінки параметрів стану та вихідних умов функціонування; розкриття закономірностей використання енергії; контролювання енергоспоживання, дотримання оптимальних параметрів технологічного процесу. Перевагу слід надавати системі показників енергоефективності, яка відображатиме [5] технічний стан, рівень енергоспоживання та ефективність організації технологічного процесу водопостачання. Формування сукупності показників енергоефективності об'єктів водопостачання потребує врахування ієрархічної приналежності об'єкту дослідження та ідентифікації класу задачі дослідження. Контроль показників енергоефективності дозволить отримати інформацію щодо ефективності роботи СКВ та її об'єктів.

Одним з завдань системи оперативного контролю енергоефективності є встановлення нормативів для контрольованих технологічних параметрів та показників енергоефективності (або їх «еталонів»), а також «стандарту» енергоспоживання.

Нормативи енергоспоживання по об'єктах, виробничих процесах доцільно встановлювати на базі накопиченої статистики про споживання енергоресурсів, показники енергоефективності та технічні параметри в розрізі вибраного об'єкту дослідження. Це дозволить врахувати реальні умови функціонування об'єкту дослідження та виключити завищення або заниження нормативу, поява яких можлива у випадку застосування традиційних методів нормування.

«Стандарт» енергоспоживання повинен представляти собою деякий максимально реалістичний прогноз енергоспоживання, який можливо досягти на даному об'єкті. Моніторинг можна трактувати як аналіз хронології використання енергоресурсів за певний період часу, що дозволяє здійснити обґрунтоване їх прогнозування для визначення очікуваних теоретичних рівнів. Визначення теоретичних рівнів енергоспоживання в системі комунального водопостачання повинне передбачати два етапи:

1) моделювання водоподачі, яке передбачає: прогнозування водоспоживання, формування типових графіків водоподачі та їх коректування з урахуванням зміни соціальних і кліматичних чинників;

2) побудова моделей електроспоживання з урахуванням типових графіків водоподачі, а також технічних та технологічних чинників, що впливають на рівень ефективності електроспоживання.

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 [6]. Зміни енергоефективності повинні вимірюватися відносно базового енергоспоживання («стандарту»), зафіксованого у вихідному енергетичному профілі, а також з урахуванням кращих зразків ефективного енергоспоживання. Тому побудова математичних моделей «стандартів» енергоспоживання повинна виконуватись для об'єкту дослідження з урахуванням його реальних умов функціонування для поточного контролю ефективності енергоспоживання, а також для аналогічного об'єкту, який є кращим за рівнем енергоефективності в групі однотипних, для порівняльного аналізу ефективності енергоспоживання.

Порівняльний аналіз (бенчмаркінг) енергоефективності представляє собою процедуру вивчення кращих практик ефективного енергоспоживання у виробничій системі з урахуванням ієрархічного рівня об'єкту дослідження, порівняння його характеристик енергоефективності з еталонними зразками з метою впровадження досягнень кращих об'єктів. Бенчмаркінг енергоефективності дозволяє швидко і з малими витратами виявити проблемні ситуації у функціонуванні складної виробничої системи або її структурних елементів та сприяють виявленню прогалини в ефективності у порівнянні з іншими.

Отже, система контролю енергоефективності на об'єктах водопостачання повинна містити [7]:

1) підсистему оперативного контролю енергоефективності, яка забезпечує: поточний контроль динаміки водоподачі як чинника, що визначає побудову режиму ефективного електроспоживання; поточний контроль динаміки показників енергоефективності з позицій їх відповідності певним діапазнам за рівнем енергоефективності; контроль дотримання «стандарту» енергоспоживання;

2) підсистему бенчмаркінгу енергоефективності, яка містить процедури: порівняння динаміки показників енергоефективності з показниками кращих об'єктів; порівняльного аналізу відповідності дійсного режиму електроспоживання «стандарту» кращих об'єктів з групи однотипних.

Формалізацію процедури комплексного контролю енергоефективності в системі комунального водопостачання виконано з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Об'єкти середовища моделюються за допомогою класів з об'єднаними властивостями і правилами існування – сукупностей, що мають спільні ознаки та однакові якості. Клас містить властивості об'єкту (визначає структуру даних об'єкту, правила, за якими діють об'єкти), а також методи (функції), які мають доступ до даних об'єкта, обробляють їх, виконують певні операції та завдання. Властивостями класу є кількісні характеристики об'єкту дослідження, а методами – алгоритми розрахунків, процедури, комунікації, дії, функції тощо, що забезпечують функціонування класу (або його моделі). Архітектуру процедури комплексного контролю енергоефективності наведено на рис.2. Виділено три категорії класів:

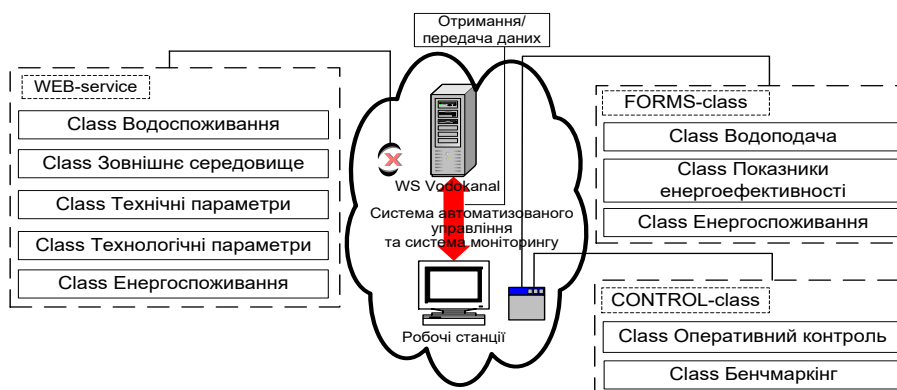


Рисунок 2 – Архітектура комплексного контролю енергоефективності, в системі комунального водопостачання

1) WEB-servis – сукупність класів, які об'єднані процедурою отримання вихідної інформації про об'єкт дослідження;

2) FORMS-class – сукупність класів, які об'єднані обчислювальними алгоритмами та моделями. Забезпечують виконання таких процедур:

- class Водоподача – опис нерівномірності добових графіків водоподачі та їх класифікація для виявлення характерних днів водоспоживання; формування типових графіків водоподачі для характерного дня; прогнозування на основі даних системи моніторингу добової водоподачі з урахуванням інформації про чинники зовнішнього середовища (температуру, опади) та величину

добового водоспоживання; коректування типового графіка водоподачі для характерного дня; планування енергоефективних режимів роботи елементів системи комунального водопостачання;

- class Показники енергоефективності – визначення коефіцієнтів енергоефективності (для здійснення подового аналізу енергоефективності - з урахуванням типового графіка водоподачі для характерного дня);

- class Енергоспоживання - побудова моделей електроспоживання об'єктів водопостачання з урахуванням водоподачі та показників енергоефективності; прогнозування електроспоживання з урахуванням періоду передбачення; побудова моделей витрат води на технологічні потреби; прогнозування витрат води на технологічні потреби;

3) CONTROL-class – сукупність класів, які об'єднані процедурами виконання безпосередньо контролю енергоефективності. Забезпечують виконання таких процедур:

- class Оперативний контроль - контроль водоподачі; контроль показників енергоефективності; контроль енергоспоживання; виявлення моментів невідповідного зниження (підвищення) ефективності енергоспоживання; сигналізація про перевищення встановлених нормативів та «стандартів» енергоспоживання;

- class Бенчмаркінг – порівняльний аналіз (внутрішній та зовнішній) показників енергоефективності; оцінювання рівня енергоефективності об'єктів водопостачання; групування об'єктів за рівнем енергоефективності; визначення лідерів та аутсайдерів; ідентифікація розривів між лідером та об'єктом дослідження; контроль рівня енергоефективності; аналіз динаміки показників енергоефективності об'єкту та їх порівняння з показниками кращих об'єктів; контроль дотримання «стандарту» енергоспоживання кращих об'єктів.

Детальний опис властивостей та методів класів визначається типом об'єкту дослідження, стосовно якого виконується контроль енергоефективності, та конкретизацією постановки задачі дослідження.

Не залежно від ієрархічної приналежності об'єкту дослідження алгоритм контролю енергоефективності (рис. 3) передбачає виконання наступних процедур:

1. Збір інформації. Здійснюється як для окремих агрегатів, так і для всієї виробничої системи в цілому. Даний блок передбачає отримання звітів автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) та інших наявних на підприємстві засобів вимірювань, в тому числі, автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (енергоресурсів) (АСКОЕ) та автоматизованих систем обліку електроенергії (АСОЕ), а також результати енергетичних обстежень та енергоаудиту, технічні параметри та технологічні характеристики, нормативно-методичну та технічну документацію, технологічні схеми та інші дані по агрегатах, установках, виробничих процесах тощо.

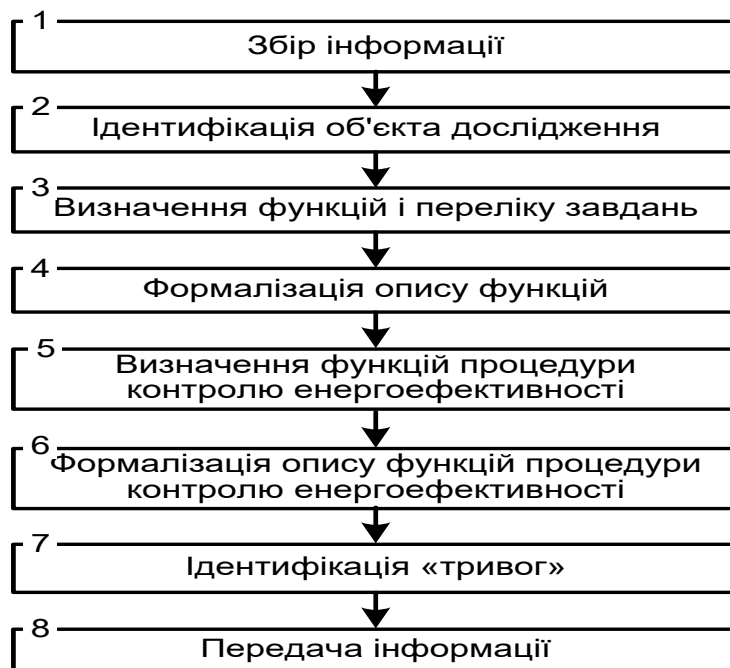


Рисунок 3 – Алгоритм контролю енергоефективності

2. Ідентифікація об'єкта дослідження з урахуванням ієрархічного рівня (агрегат, установка, насосна станція, водозабір, перший підйом, підготування води, другий підйом, тощо). Дозволяє реалізувати декомпозицію задачі енергоефективності, виконати структурування цілей та спростити процедуру формалізації шляхом типізації окремих модулів математичного опису класу (його властивостей та методів) категорії WEB-servis.

3. Визначення функцій і переліку завдань. У цьому блоці формуються ранги завдань, що потребують вирішення, а також послідовність виконання необхідних розрахунків та звернення до вихідної інформації. Тобто, виконується формалізація властивостей класу категорії FORMS-class. В результаті на основі бази даних 1-го блоку з урахуванням процедур ідентифікації та формалізації, виконаних в блоці 2, формується сукупність необхідних інформативних даних.

4. Формалізація опису функцій. Блок містить математичні моделі і моделюючі алгоритми вирішення завдань з урахування результатів формалізації, виконаних в 3-му блоці. Тобто, виконується формалізація методів класу категорії FORMS-class. В результаті отримуємо очікувані рівні вибраних характеристик ефективного енерговикористання (показників енергоефективності, водоподачі, електроспоживання тощо).

5. Визначення функцій процедури контролю енергоефективності. Виконується ідентифікація процедур контролю (оперативний контроль, бенчмаркінг), формалізація властивостей класу категорії CONTROL-class з урахуванням процедур ідентифікації об'єкту дослідження, виконаних в 2-му блоці.

6. Формалізація опису функцій процедури контролю енергоефективності. Блок містить необхідні розрахункові процедури та алгоритми згідно ідентифікації функцій контролю енергоефективності в 5-му блоці, а також послідовність звернення до моделей вибраних характеристик ефективного енерговикористання, отриманих в блоці 4. Тобто, виконується формалізація методів класу категорії CONTROL-class та, власне, сама процедура контролю.

7. Ідентифікація «тривоги». Даний блок передбачає фіксування результатів контролю, видачу попереджень про перевищення сформованих нормативів та «стандартів», а також їх документування та формування звітів.

8. Передача інформації. Виконується передача результатів контролю у відповідні підсистеми управління, а також в систему енергоменеджменту підприємства.

Множина існуючих в СКВ структурних та функціональних відносин виступає елементом алгоритму інформаційного пошуку, тобто, вказує послідовність вибірки інформації, порядок необхідних розрахунків та контрольних процедур.

Для реалізації моніторингу ефективності енергоспоживання в СКВ на центральному сервері необхідно інсталиувати WEB-service (WS) Vodokanal, що дозволить в режимі реального часу здійснювати виконання процедур оброблення вихідної інформації, необхідної для аналізу ефективності енергоспоживання в системі та її об'єктів, створення баз даних, формування звітів про результати контролю енергоефективності тощо.

Висновки. Система комплексного контролю енергоефективності є важливим елементом процесу управління ефективністю енергоспоживання, зокрема, інформаційного забезпечення ухвалення рішень щодо підвищення енергоефективності в системі енергоменеджменту підприємства. Це вимагає постійного аналізу відхилень фактичних значень параметрів суб'єкту контролю від очікуваних теоретичних та сигналізації перевищення встановлених нормативів. Визначення нормативів показників енергоефективності та «стандартів» енергоспоживання для вибраного об'єкту дослідження повинне виконуватись на основі статистики, накопиченої в базі даних системи моніторингу, враховувати реальні умови його функціонування, а також кращі зразки ефективного енерговикористання. Реалізація передачі інформаційних потоків між суб'єктами предметної області та центральним сервером підприємства на базі Web-орієнтованих систем дозволить створити єдиний інформаційний простір та забезпечити можливість обробки інформації про параметри режимів та показники енергоефективності структурних елементів та системи водопостачання в цілому в режимі реального часу.

Список використаної літератури

1. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of The Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control (Codified version) // Official Journal of the European Union. – № L 24/9. Volume 51. 29.01.2008.

2. Находов В.Ф. Моніторинг показників енергоспоживання в системі енергетичного менеджменту / В.Ф. Находов, О.О. Пецкова, Д.О. Іванько // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2015. – 480 с. – С. 210-217

3. European Commission Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency (Комплексное предупреждение и контроль загрязнений).

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности) [Электронный ресурс] // Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau, 2009. – 430 p. Режим доступа: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html>

4. ISO 50001:2011. Committee draft. Energy management systems — Requirements with guidance for use.

5. Розен В.П. Формування інформаційного поля для оцінювання рівня енергоефективності систем комунального водопостачання [Текст] / В.П. Розен, Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ. - 2010. – Вип. №4 (63). – С. 50-53

6. 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.

7. Давиденко Л.В. Принципи побудови інтегрованої системи моніторингу енергоефективності для підприємства водопровідно-каналізаційного господарства // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2015. - № 3. – С. 107-115.

V. Rozen, Dr. Sc. Sciences, prof.,

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

L. Davydenko PhD. Sc. Sciences, Assoc, N. Davydenko,

Lutsk National Technical University

STRUCTURE OF SYSTEM OF COMPREHENSIVE CONTROL OF ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY FOR MUNICIPAL WATER SUPPLY OBJECTS

The issues of energy efficiency control in municipal water supply system are discussed in the article. The research goal is the formation of the principles of complex control the energy consumption modes efficiency of water supply objects to improve energy management effectiveness.

Complex control system is considered as component of the management process of energy consumption. Its tasks and functions has been formulated. Procedures of operational control and comparative analysis (benchmarking) have been selected in the structure. Data of monitoring system and consideration of better samples of effective energy consumption have been proposed to use for the formalization norms and "standarts" of energy consumption. The formalization of energy efficiency control procedure has been performed based on object-oriented technologies. The architecture of the system of energy efficiency complex control has been proposed. Her classes take into account the parameters of condition and functioning of the object, energy consumption, environment, methods of planning and control the energy consumption. Classes, that have joint procedures, have been combined in the category of classes. The description of functioning of classes has been performed, control algorithm has been proposed too.

Using the proposed principles allows to take into account the real functioning conditions of water supply object, to control energy efficiency in real-time, to integrate the control procedures to the energy management system of enterprise.

Key words: energy efficiency, control of energy consumption efficiency, municipal water supply system.

References

1. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of The Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control (Codified version) / Official Journal of the European Union. – № L 24/9. Volume 51. 29.01.2008.

2. Nakhodov V.F., Petskova O.O., Ivanko D.O. Monitoring of energy indicators in the energy management system / Enerhetyka. Ekolohiia. Lyudyna. Naukova pratsi NTUU "KPI", IEE, 2015. pp. 210-217

3. European Commission (2009) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency / Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau, 2009. – 430 p. Available at: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ene.html>

4. ISO 50001:2011. Committee draft. Energy management systems — Requirements with guidance for use.

5. Rosen V.P., Davydenko L.V., Davydenko V.A. Formation of the information field for the evaluation of energy efficiency level of systems of municipal water supply / Visnyk Kremenchutskogo derjavnogo politehničnogo universytetu im. M. Ostrogradskogo, 2010, no 4/2010(63) Part.1, pp. 50-53.

6. Nakhodov V. F., Borychenko O. V. Control process of performance setting “standards” in system operating control effectiveness of energy exploitation / Visnyk NTUU “KPI”. Seria “Hirnytstvo”. Vypusk 24, 2014, pp. 111-119.

7. Davydenko L.V. Principles of building integrated monitoring system of energy efficiency for water supply and sanitation enterprise / ENERHETYKA: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya, 2015, no 3, pp. 107-115

УДК 620.9:658.26

В.П. Розен, д-р техн. наук, проф.,

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Л.В. Давыденко, канд. техн. наук, доц., **Н.В. Давыденко**

Луцкий национальный технический университет

**СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

В статье рассмотрены вопросы построения системы комплексного контроля эффективности режимов энергопотребления объектов коммунального водоснабжения как составляющей энергоменеджмента. Сформулированы задачи и функции. В структуре выделены процедуры оперативного контроля и сравнительного анализа. Для формирования нормативов и «стандартов» энергопотребления предложено использовать данные системы мониторинга и учитывать лучшие образцы эффективного энергопотребления. Формализацию процедуры контроля осуществлено на основе объектно-ориентированной технологии. Сформированы классы, учитывающие параметры состояния и функционирования объекта, энергопотребления, внешней среды, методы планирования и контроля энергопотребления. Выполнено описание функций классов и предложен алгоритм контроля. Использование предложенных принципов позволяет учитывать реальные условия функционирования объекта водоснабжения, осуществлять контроль энергоэффективности в режиме реального времени, интегрировать процедуры и результаты контроля в систему энергоменеджмента предприятия.

Ключевые слова: энергоэффективность, контроль эффективности энергопотребления.

Надійшла 02.07.2016

Received 02.07.2016

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ECONOMIC ASPECTS OF POWER-ENGINEERING

УДК 621.31

П.В. Соколовський., аспірант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЯХ УКРАЇНИ

Перехід до розвитку концепції Smart Grid в Україні потребує особливої економічної стабільності в енергетиці. Світова практика використання менеджменту в структурі керування енергетичною галуззю вже давно застосовується керівництвом різних компаній і підкріплений відповідними теоретичними розробками. В Україні ж це відносно новий напрямок в менеджменті енергетики, який не має точного визначально-категоріального ранжування, ефективних методів та інструментів. Для цього необхідно визначити основні складові у вирішенні цього питання, виконати відповідне моделювання бізнес-процесів, провести їх попередній аналіз, а також визначити основні важелі керування ними. В статті описано ключові складові побудови та функціонування бізнес-процесів. Виконано аналіз актуальності використання контролінгу, ризик-менеджменту та програмного забезпечення у регулюванні бізнес-процесів. Визначено та описано основні контролюючі та коригуючі складові бізнес-моделювання. Розроблено орієнтовний план впровадження заходів згідно концепції Smart Grid в енергетичний комплекс України до 2030 року.

Ключові слова: енергопостачальна компанія, бізнес-процес, Smart Grid, інформаційний обмін, контролінг, ризик менеджмент.

Вступ. Підвищення рівня енергоефективності в Україні з перспективою впровадження нових технологій, згідно з «Енергетичною стратегією України на період до 2035 року», є одним з першочергових напрямків розвитку енергетичного комплексу держави [1, 2].

Визначено пріоритетні напрямки їх реалізації, до яких внесені створення сучасної високоінтелектуальної системи керування і регулювання в структурі енергетичного сектору, а також розгляд перспектив впровадження нових інформаційних технологій, сучасних систем контролю, керування (Smart Grid Integrated Communications) та розумного обліку (Smart Metering) [3].

Одним з перспективних шляхів вирішення даних задач є застосування так званих «інтелектуальних мереж» (Smart Grid – Self Monitoring Analysis and Reporting Technology) технологія, яка передбачає власний моніторинг і можливість передачі результатів моніторингу до центру керування мережею.

Найбільш масштабні програми та проекти застосування концепції Smart Grid розроблені і успішно здійснюються в США, Канаді, Європейському Союзі, Китаї, Індії, Японії, Австралії, Південній Кореї і по суті є державною політикою технологічного розвитку електроенергетики майбутнього [4, 5].

Серед результатів впровадження зазначених технологій необхідно виділити зниження рівня пікових навантажень і втрат електроенергії в електричних мережах, підвищення надійності роботи енергосистем та ефективності використання енергоресурсів, зменшення негативного впливу об'єктів енергетики на навколишнє середовище тощо. В цих умовах розвиток електроенергетики України потребує формування та впровадження індивідуальної концепції Smart Grid з метою поліпшення якості та ефективності функціонування галузі. Практичне впровадження цієї концепції потребує вирішення організаційних, інформаційних, технічних та економічних заходів [6, 7].

Невід'ємною складовою коректного функціонування інтелектуальної мережі є процес керування бізнес-процесами галузі. До таких тенденцій слід віднести: розширення територіальної розташування об'єктів енергетики, підвищення якості та оперативності надання послуг, зниження витрат підприємств, забезпечення сучасних вимог енергоефективності, перехід до нових моделей функціонування енергетичної галузі.

На цьому етапі побудови інтелектуальної мережі необхідно виділити можливість синтезу «Smart Grid+Green Economy» (зелена економіка). Глобальною тенденцією «зеленої економіки» є підвищення енергоефективності та зниження використання ресурсів для виготовлення продукції за рахунок зниження витрат виробництва і переробки сировини. Головною метою «зеленої економіки» є зменшення впливу на навколишнє середовище, за рахунок застосування високоефективних механізмів керування економічними процесами [8].

Згідно до ініціативи Industry 4.0, суть якої полягає у підвищенні рівня захисту та розширення

технологічного потенціалу з застосуванням сучасних Інтернет-технологій у виробничих процесах, впровадження технології Smart Grid стане своєрідним фундаментом [9].

При цьому відбувається посилення вертикальної інтеграції галузі: збільшення підприємств, збільшення ієрархічних рівнів керування і обсягу оброблюваної інформації, необхідність керування великими організаційними обсягами в межах одного бізнес-процесу, посилення централізованого контролю, як з боку керування енергопостачальних компаній, так і з боку держави.

Ці тенденції викликають необхідність уніфікації бізнес-процесів в масштабах енергетичної галузі, створення єдиних класифікаторів та централізованих систем нормативно-довідкової інформації, інтеграції даних в ієрархії управління.

Інтенсивний розвиток нових інформаційних технологій: збільшення обчислювальних потужностей, підвищення пропускної спроможності та якості каналів зв'язку, зростання ролі мобільних пристроїв, використання автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем комерційного обліку електроенергії, розвиток програмних рішень дозволяє задовільнити сучасні вимоги, які полягають в підвищенні оперативності, аналітичності і достовірності обліку, інтеграції інформаційних систем, як по вертикальній, так і по горизонтальній складовій, оперативної взаємодії з суміжними системами, підвищення обсягу та швидкості оброблюваної інформації, забезпечення захисту інформації.

Не викликає жодних сумнівів, що підвищення ефективності управління може бути здійснено тільки з використанням високопродуктивних інтелектуальних Smart-систем обробки інформації та управління енергетичними процесами.

Метою статті є визначення основних складових функціонування бізнес-процесів в енергетичних ринках та надання пропозицій з точки зору модернізації вітчизняних енергетичних господарств України на рівні обленерго.

Бізнес-процес: поняття, складові особливості. Світова практика використання менеджменту в структурі керування енергетичною галуззю вже давно застосовується керівництвом різних компаній і підкріплений відповідними теоретичними розробками. В Україні ж це відносно новий напрямок в менеджменті енергетики, який не має точного визначально-категоріального ранжування, ефективних методів та інструментів.

Бізнес-процес - це стійка і цілеспрямована сукупність взаємопов'язаних видів діяльності (послідовності операцій), яка за певною технологією перетворює початкову складову (ресурси) на кінцевий результат, який має орієнтовану цінність для споживача (внутрішнього або зовнішнього клієнта) і задовольняє його вимоги [10].

Проведений аналіз показав, що основні критерію терміну «бізнес-процес». Виділені його основні складові [11]:

- 1) наявність чітких цілей та поставлених завдань;
- 2) вихід бізнес-процесу орієнтований на споживача;
- 3) вхід бізнес-процесу представлений різними ресурсами;
- 4) до вихідних результатів бізнес-процесу також відносять товари та послуги;
- 5) системний характер;
- 6) має певну тривалість у часі та вартість;
- 7) є моделлю сукупності операцій або функцій.

У результаті інтеграції наведених вище характерних для бізнес-процесу властивостей розроблено визначення терміну «бізнес-процес», яке буде використано в цій статті: бізнес-процес - динамічна модель системи операцій з перетворення «входів» у «виходи», спрямованих на досягнення мети компанії і задоволення потреб клієнтів [11].

На рис. 1 представлена архітектурна модель Smart Grid, яка показує використання бізнес шару, як однієї з головних складових її структури.

Процеси видобутку, переробки енергоресурсів, транспортування, розподілу і споживання енергії та енергоносіїв протікають практично одночасно. Енергія і енергоносії мають ряд властивостей, що відрізняють їх від продукції інших галузей промисловості (наприклад, неможливість накопичення і пошук браку електроенергії). Все це вимагає розробки методів та інструментів управління бізнес-процесами спеціально для енергетичних підприємств [12].

Дослідниками в області процесного підходу до керування на підприємствах паливно-енергетичного комплексу виділено такі особливості бізнес-процесів підприємств енергетики [13]:

- 1) високий ступінь інтеграції з видобувними підприємствами;
- 2) висока фондомісткість;
- 3) безперервне виробництво;
- 4) висока енергоємність;
- 5) нееластичний попит на продукцію.

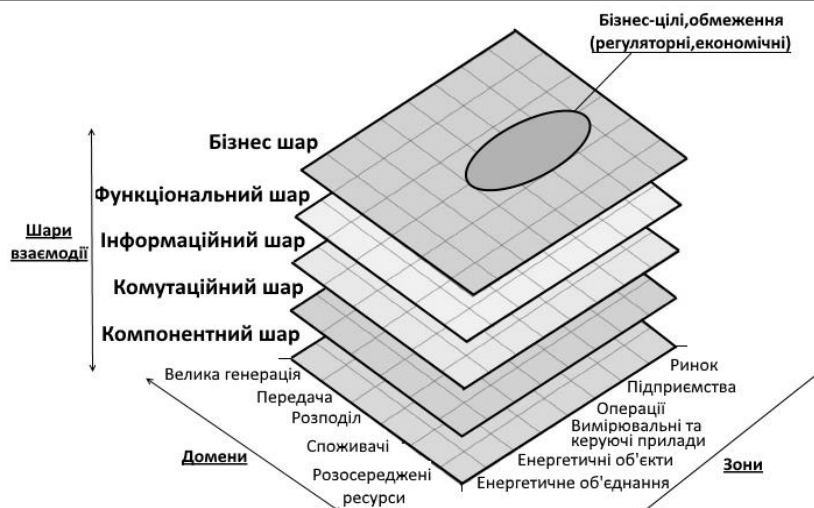


Рисунок 1 – Архітектурна модель Smart Grid

Особливості бізнес-процесів енергетичних компаній: високий ступінь інтеграції з розподільними компаніями, вертикальна інтеграція бізнес-процесів видобутку, переробки, транспортування та розподілу готового продукту кінцевому споживачеві, залежність від рівня розвитку транспортної інфраструктури [11].

Залучення додаткових інвестицій в галузі енергетики стане можливим за умов, коли інвестор буде впевнений не тільки в поверненні своїх коштів, а й в отриманні максимального доходу в порівнянні з іншими варіантами вкладення. Забезпечити такі гарантії інвестору можуть лише підприємства, що діють в умовах переважно нецінової конкуренції.

Стандарт менеджменту в енергетиці. Сьогодні ж в Україні швидкими темпами зростає інтерес до вже прийнятих на Заході стандартів менеджменту, проте, в реальній практиці управління існує один дуже показовий момент. Багатьох керівників до сих пір можна поставити в глухий кут прямим питанням про організаційну структуру компанії або про схему існуючих бізнес-процесів [14].

В кінці 90-их років, коли на ринку в належній мірі з'явилася конкуренція і рентабельність діяльності підприємств стала різко падати, керівники відчули величезні труднощі при спробах оптимізувати витрати, щоб продукція залишалася одночасно і прибутковою і конкурентоздатною. Якраз в цей момент абсолютно чітко з'явилася необхідність мати наглядну модель діяльності підприємства, яка відображала б всі механізми і принципи взаємозв'язку різних підсистем в рамках одного бізнесу [14].

Саме ж поняття "моделювання бізнес-процесів" прийшло в побут більшості аналітиків одночасно з появою на ринку складних програмних продуктів, призначених для комплексної автоматизації управління підприємством. Подібні системи завжди мають на увазі проведення глибокого попереднього обстеження діяльності компанії.

Відповідно до вимог стандарту IEC 62325, на ринку електроенергії України має використовуватися UMM (методологія моделювання UN/CEFACT) [15] для опису Представлення бізнес-операцій (Business Operational View – BOV) ISO/IEC 14662 стандарту еталонної моделі відкритого електронного обміну даними. Таку методологію слід використовувати з ebXML – технологією побудови електронного бізнесу.

Особливо актуальною є формалізація моделі ринку електроенергії України відповідно до ebIX UML Моделі Європейського енергетичного ринку [16, 17]. Основні бізнес-сфери та бізнес-процеси на ринку електроенергії України мають бути гармонізовані із європейською моделлю ринку електроенергії та відповідати рекомендаціям стандарту IEC 62325, в якому визначаються бізнес-сфери, процеси в межах цих сфер та ролі залучених учасників ринку [18].

Комплексні обстеження підприємств завжди є складними і істотно відрізняються від випадку до випадку завданнями. Для вирішення подібних завдань моделювання складних систем існують добре обкатані методології і стандарти на прикладі групи стандартів IDEF (Integrated DEFinition) розроблена в США за програмою Integrated Computer-Aided Manufacturing [19].

Їх використання дозволяє ефективно представляти і аналізувати моделі діяльності широкого спектру складних систем в різних розрізах. При цьому широта і глибина обстеження процесів в системі визначається самим розробником, що дозволяє не перевантажувати створювану модель зайвими даними. Станом на сьогодні, до сімейства IDEF можна віднести стандарти IDEF0- IDEF[19].

Проілюструємо логічну модель схеми бізнес-процесу, розробленої в рамках стандарту IDEF0 (рис. 2).

Під ресурсами в рамках функціонування моделі згідно стандарту бізнес-процесів IDEF0 розуміються матеріальні, фінансові та інформаційні ресурси, які перетворюються в ході виконання бізнес-процесу. Необхідно підкреслити, що в окремих бізнес-процесах, наприклад, навчання кадрів, на вхід можуть надходити і людські ресурси [20].

Помітна роль в процесі моделювання бізнес-процесів приділяється і так званим механізмам:

- механізми показують, хто, що і за допомогою чого виконує ту чи іншу операцію бізнес-процесу;
- механізмами бізнес-процесу, як правило, є «невитратні ресурси», які використовуються для виконання циклу бізнес-процесу (будівлі і споруди, обладнання, людські ресурси (як структурні підрозділи, так і окремі співробітники)).

Використання зворотного коригування в циклі керування бізнес-процесами дає можливість швидкої адаптації бізнес-процесів до мінливих вимог зовнішнього середовища, що дуже важливо для організацій, що працюють в сфері енергетики. Тому завдання безперервного керування бізнес-процесами - одна з найбільш істотних завдань, правильне рішення якої може принести організаціям величезну вигоду [21].



Рисунок 2 – Логічна схема опису бізнес-процесу в рамках стандарту IDEF0

Керування бізнес-процесами. Цикл керування бізнес-процесами складається з трьох основних етапів (рис. 3).

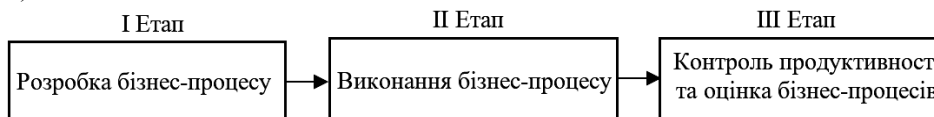


Рисунок 3 – Основні етапи керування бізнес-процесами

Етап 1 - Розробка процесу. На цьому етапі відбувається опис процесів, визначення власників процесів і початкова вдосконалення процесів;

Етап 2 - Виконання процесу. Впровадження оптимізованих процесів в повсякденну діяльність і їх виконання дуже часто вимагає автоматизації процесів з використанням інформаційних систем різних класів;

Етап 3 - Контроль продуктивності і оцінка процесів. На цьому етапі відбувається збір показників результативності процесів і аналіз їх відхилень від запланованих значень.

У багатьох енергетичних компаній часто присутні лише два етапи з циклу керування процесами - Розробка процесу і Виконання процесу. Це означає, що цикл керування «не замкнений», і немає повноцінного контролю ефективності виконання бізнес-процесів [21].

Ризик менеджмент в енергетиці. Паралельно з розвитком електроенергетичного ринку, формування нових структур і впровадження нових ринкових інструментів використання ризик-менеджменту (risk management) стає актуальним для електропостачальних компаній, які супроводжуються операційною та інвестиційною діяльністю [22].

Ризик в електроенергетиці – це об'єктивно-суб'єктивна категорія, що пов'язана з ймовірністю виникнення небажаних подій (загроз) в умовах невизначеності та суперечливості інтересів різних груп суб'єктів ЕР і відображає міру їх втрат (збитків) від порушення надійного режиму електропостачання внаслідок неузгоджених дій цих суб'єктів.

В сучасних умовах розвитку електроенергетики України, впливовим джерелом можливості виникнення якісно нових ризиків є ймовірність зіткнення суперечливих інтересів різних груп суб'єктів ЕР у процесі обґрунтування рішень по розвитку галузі [23].

Згідно [24] суб'єктами (учасниками) ЕР є:

1) виробники електроенергії – енергетичні компанії з вертикально-інтегрованою структурою, генеруючі компанії, незалежні виробники електроенергії;

2) постачальники електроенергії – вертикально-інтегровані компанії, компанії, які здійснюють транспорт (передачу) енергії, компанії-дистрибутори, які здійснюють розподіл енергії, енергозбутові організації;

3) незалежні комерсанти – брокери (забезпечують посередницькі послуги при укладенні контрактів), дилери (купують і перепродають електроенергію);

4) споживачі електроенергії різних груп та категорій.

Керування ризиками компаній електроенергетики пов'язано перш за все з інвестиційним процесом і має такі особливості: складність галузі для оцінки сторонніми інвесторами; специфічність ризиків; специфічність фінансових механізмів.

Значна кількість інформації, якою необхідно оперувати для виявлення ризиків і керування ними, робить актуальним використання інформаційно-аналітичних систем ризик-менеджменту.

У міру формування відповідних потреб власників компаній, а також зростання компетенцій фахівців механізм керування ризиками буде впроваджений у багатьох компаніях електроенергетичного сектора (вірніше, інтегрований в систему керування).

Визначення «інтегрований» щодо ризик-менеджменту означає формування набору елементів керування ризиками, як окремої підсистеми керування діяльністю компанії, яка існує поряд з такими загальноприйнятими процесами, як фінансово-економічне керування (бюджетування), стратегічне керування.

Мета впровадження інтегрованого ризик-менеджменту - оптимальне співвідношення між ризиком і прибутковістю в масштабі всієї компанії відповідно до толерантністю до ризику. Головним принципом побудови такої системи є комплексний облік ризику при прийнятті рішень в рамках як планування діяльності, так і оцінки результатів діяльності щодо різних часових горизонтів, а також організаційних одиниць і конкретних керівників [22].

Реалізація системи ризик-менеджменту в масштабі компанії передбачає [25]:

- організація ризик-менеджменту (формування спеціальних функцій і процедур в керування компанією і забезпечення їх виконання);
- формування необхідного методологічного забезпечення діяльності з керування ризиками, в тому числі для оцінки схильності до ризику, декомпозиції ризику, а також оцінки ризиків, розробка сценаріїв і стрес-тестування;
- розробку інформаційно-аналітичних систем ризик-менеджменту і їх практичну реалізацію.

Система керування ризиками повинна базуватися на наступних принципах [26]:

- цілеспрямоване постійне усвідомлення і відстеження ризиків;
- оцінка ймовірності та наслідків виникнення тієї чи іншої негативної ситуацію;
- формування і постійне оновлення інструментарію керування ризиками;
- встановлення лімітів ризику (максимально точно визначення меж збитку);
- розробка рекомендацій щодо формування стратегії і ефективного розподілу ресурсів з урахуванням ступеня ризику;
- повнота і своєчасність відображення величин ризиків в системах управлінської інформації (інформаційних системах).

Основні елементи, що забезпечують функціонування такої підсистеми керування, представлені на рис. 4 [26].



Рисунок 4 – Основні елементи системи керування ризиками

Контролінг як невід’ємна складова функціонування. Контролінг - це особливий вид управлінської діяльності, який поєднує власне контроль і додатково аналіз, і дає початок новому етапу планово-управлінського циклу. Особливістю контролінгу є його спрямованість на перспективу, на пошук шляхів подальшого розвитку компанії і вдосконалення бізнес-процесів на базі аналізу ключових показників результативності [21].

Якщо розглядати енергетичні активи підприємства як центр відповідальності, зрозуміло, що саме його можна віднести до центру витрат. Оскільки у фокусі наукових інтересів автора лежить застосування методів контролінгу в керування енергетичним господарством підприємств, що не займаються виробничою діяльністю, то енергетичні господарства будемо вважати центрами довільних витрат, результати функціонування яких не пов’язані з результатами діяльності підприємства. Основною ціллю підприємства у цій сфері є мінімізація витрат на виробництво, передачу та споживання енергії, що є тактичною ціллю підприємства, спрямованою на реалізацію стратегічних цілей, підпорядкованих загальному вектору сталого розвитку підприємства [27].

На сучасних підприємствах все частіше застосовується енергетичний менеджмент як новий підхід в керування енергетичним господарством. Він представляє собою комплексний підхід до вирішення загальних енергетичних проблем організації, таких як мінімізація енергетичних витрат, досягнення надійного енергетичного постачання, зниження споживання енергоресурсів, оцінки найбільшої ефективності та застосування енергетичного досвіду у повсякденній роботі [28].

Взаємодію енергетичного менеджменту та контролінгу можна представити за допомогою схеми зображеної на рис. 5.



Рисунок 5 – Взаємозв’язок енергетичного менеджменту та контролінгу

Оскільки основною функцією енергоменеджерів підприємства є функція керування, їм необхідна підтримка з боку керівництва організації. Зазвичай, така підтримка може здійснюватися неофіційно, шляхом тимчасової підтримки необхідних заходів з підвищення енергоефективності менеджментом підприємства. Однак, якщо його увага у певний момент зосереджується на вирішенні інших проблем підприємства, заходи енергетичного менеджменту можуть залишитися без належної підтримки та просування.

У такому випадку саме служба контролінгу, створена на підприємстві, дозволить розширити повноваження енергоменеджера, оскільки за будь-яких умов вона зможе забезпечити зв’язок між енергоменеджером та керівництвом. Метою контролінгу в процесі керування енергетичним господарством підприємства стане удосконалення діяльності підприємства за рахунок отримання конкурентних переваг шляхом систематичного запровадження ефективних енергетичних програм, зниження витрат шляхом використання альтернативних джерел енергії та енергозберігаючих технологій, зниження підприємницьких ризиків тощо [27].

Програмне забезпечення керування бізнес-процесами. На основі результатів, отриманих у процесі керування ефективністю бізнес-процесів, підприємства можуть визначити ступінь ефективності удосконалення бізнес-процесів, які підтримуються інформаційними системами.

Платформа контролінгу бізнес-процесів повинна забезпечувати проведення моніторингу бізнес-процесів підприємства у відповідності з ходом їх виконання в різних інформаційних системах. У той же час, вона повинна дозволити вести облік ручних операцій, які не підтримуються інформаційними системами. Керування продуктивністю процесами за допомогою платформи контролінгу бізнес-процесів повинно дозволити проводити моніторинг ключових показників результативності та попереджувати про наявність відхилень від планових показників. Це буде сприяти своєчасному впровадженню контрзаходів, направлених на підвищення якості завдань, які формуються в рамках бізнес-процесів і які здійснюють прямий вплив на операційний результат. Таким чином, безперервний моніторинг реально здійснюваних процесів буде сприяти подоланню розриву між стратегічним та оперативним керування [28].

Програмні продукти, які належать до інструментів аналітичної та методичної підтримки в процесі планування, контролю, аналізу та прийняття управлінських рішень, зокрема, системи On-line Analytical Processing (OLAP) та Data Warehouse.

Програмні продукти з контролінгу бізнес процесів, пропоновані на ринку такими компаніями, як IDS Scheer AG (продукт ARIS PPM) і Hewlett-Packard (продукт HP Open View Business Process Insight), є інструментом для аналізу, оцінки та моніторингу працюючих процесів компанії. Програми надають засоби попередження, що показують поточну продуктивність бізнес-процесів. Інтегрована система раннього попередження відстежує всі працюючі процеси і негайно видає повідомлення в разі відхилень від планових значень. Таким чином, менеджери процесів можуть реагувати на результати подій, що відбуваються протягом часу, близького до реального [29].

Аналізуючи структури розвитку енергетичних комплексів розвинених країн ЄС, слід виділити пріоритетні заходи (кроки) щодо запровадження та розвитку ефективних моделей бізнес-процесів в Україні, як невід'ємну частину концепції інтелектуальних мереж Smart Grid.

Орієнтовний план впровадження заходів згідно концепції Smart Grid наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Орієнтовний план впровадження заходів згідно концепції Smart Grid

Заходи:	Період ефективного впровадження заходів:
	До 2020 року
Організаційні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Створення умов для розвитку внутрішніх та міждержавних електричних мереж з метою забезпечення надійності функціонування ринку електричної енергії, здійснення експортно-імпорتنних операцій електроенергії; 2. Запровадження передумов щодо впровадження в ОЕС України функціонування моделі «активного споживача»; 3. Підтримання курсу до енергозбереження та енергоефективності; 4. Введення програми популяризації серед населенням використання нетрадиційних джерел виробництва електроенергії.
Технічні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Виконання першого етапу реконструкції електричних мереж ОЕС України; 2. Побудова адаптивної високоінтелектуальної телекомунікаційної системи керування мережами ОЕС України.
Технологічні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Виконання вимог щодо регулювання частоти та потужності в ОЕС України; 2. Перехід до низьковуглецевого виробництва електроенергії; 3. Визначення основних технологічних змін при переході до концепції Smart Grid.
Нормативні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Адаптація енергетичного законодавства України до енергетичного законодавства ЄС з питань енергозбереження та енергоефективності спрямована на впровадження стандартів серії ІЕС 62325 «Інфраструктура комунікацій на енергетичному ринку»; 2. Перегляд та внесення змін політики тарифоутворення та ціноутворення в галузі; 3. Підвищення ефективності споживання паливно-енергетичних ресурсів;
Заходи:	до 2025 року
Організаційні	Підвищення ефективності функціонування енергетичних ринків і створення вигідних умов для споживачів (мотивація споживачів)
Технічні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Завершення реконструкції та добудови електричних мереж ОЕС України; 2. Побудова сучасної телекомунікаційної систем на базі реконструйованих електричних мереж України; 3. Впровадження системи автоматичного регулювання частоти та перетоків потужності, дистанційного керування комутуючим обладнанням, підключенню диспетчерського центру ОЕС України до Центру координації європейських системних операторів та до мережі передачі даних Electronic Highway;
Бізнес-технології	Впровадження системи контролінгу, ризик-менеджменту та бізнес-прогнозування енергетики.
Нормативні	Створення та прийняття пакету енергетичних документів «Ukraine-EU»

Продовження таблиці 1.

Заходи:	до 2030 року
Організаційні	1. Створення наглядової комісії з питання забезпечення виконання критеріїв безпеки і сталості роботи ОЕС України шляхом підвищення надійності генерації електричної енергії, її передачі між регіонами країни по внутрішніх перетинах, регулювання напруги в мережі, ліквідації пошкоджень в мережі у нормативні терміни; 2. Підбір висококваліфікованого технічного, управлінського та науково-аналітичного персоналу. 3. Створення науково-аналітичного центру досліджень галузі.
Технічні	Завершення I етапу будівництва системи Smart Grid
Технологічні та бізнес-технології	Аналіз ефективності функціонування системи контролінгу, ризик-менеджменту та бізнес-прогнозування, пошук проблем, та їх вирішення.
Нормативні	1. Створення та введення нормативно-правової бази для розподіленої генерації, особливо для поновлюваних джерел енергії; 2. Субсидювання малої генерації як клас з особливими (пільговими) умовами приєднання до електричної мережі і з особливостями їх функціонування на роздрібному ринку

Висновки.

Перехід до використання енергетикою України архітектурної моделі Smart Grid передбачає виконання ефективного керування у сфері бізнес-процесів, як однієї з головних її складових.

Визначено перспективність використання бізнес-процесів, які характеризуються тривалістю виконання і ступенем загальних змін в структурі функціонування енергетичних компаній. Відповідно до цього виділено короткострокові і довгострокові бізнес-процеси.

Аналіз показав, що однією з передумов впровадження в Україні нової моделі функціонування ринку електроенергії для забезпечення її ефективного функціонування є впровадження ефективних міжнародних стандартів, а саме стандартів серії IEC 62325. Приведено орієнтовний план впровадження заходів згідно концепції Smart Grid на період з 2020-2030 роки.

Відкривається перспектива щодо створення до 2030 року науково-аналітичного центру досліджень галузі енергетики України, як головного органу підтримання економічної та енергетичної стабільності держави у вирішенні питань ефективності бізнес-процесів, керування попитом та впровадження нових технологій.

Список використаної літератури

1. Форсайт та побудова стратегії соціально-економічного розвитку України на середньо-строковому (до 2020 року) і довгостроковому (до 2030 року) часових горизонтах [Текст] / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки; Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; Інститут прикладного системного аналізу МОН України і НАН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку; Фундація «Аграрна наддержава». — Київ : НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Вид-во «Політехніка». – 2016. – 184 с.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року (доопрацьована), схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.05.2016 № 418-р та доручення Кабінету Міністрів України від 22.07.2016 № 22882/59/1-15 – [Електронний ресурс]: режим доступу: zakon.rada.gov.ua.
3. Інноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України: монографія / за заг. ред. А. К. Шидловського. – К. : Укр. енцикл. знання. – 2005. – 512 с.
4. Кириленко А. В. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы [Текст] : [монография] / [Блинов И. В. и др.] ; под общ. ред. акад. НАН Украины А. В. Кириленко ; Нац. акад. наук Украины, Ин-т электродинамики. - Киев : Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408 с.
5. Денисюк С. П. Технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах / С. П. Денисюк // Енергетика, – 2014. – №1. – С. 7-21.
6. Довгалюк О. М. Перспективи впровадження технологій SMART GRID в енергетиці України / О. М. Довгалюк, О. А. Тарадіна // Международная научная конференция MicroCAD : Секція №10 - Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології - НТУ "ХПИ". – 2014.
7. Стогній Б. С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник, С. П. Денисюк // Техн. Електродинаміка. – 2012. – №5. – С. 52–67.

8. KennetM. WhatGreen Economics? An age of globaltransformation – An Age of Green Economics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.greenecomonomics.org.uk.
9. Industry 4.0 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://industry40.ee>
10. Искусство разработки и реализации стратегии: новое видение: Монография / Под ред. С. С. Чернова. – Новосибирск: Изд-во СИБПРИНТ. – 2008. – 219 с.
11. Остроухова Н. Г. Бизнес-процессы предприятий ТЭК: понятие, содержание, классификация / Н. Г. Остроухова // Сибирская финансовая школа. – Сибирская академия финансов и банковского дела. – 2012. – №1/90. – С. 118–122.
12. Остроухова Н. Г. Особенности реинжиниринга бизнес-процессов на предприятиях энергетики / Н. Г. Остроухова // Интернет-журнал “НАУКОВЕДЕНИЕ” – 2013. – №16.
13. Кириллов А. М. Методологические аспекты развития бизнес-процессов в нефтеперерабатывающей промышленности и оценка их эффективности: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05/ А. М. Кириллов; [Место защиты: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского]. – Нижний Новгород. – 2007. – 23 с.
14. Верников Г. Описание стандарта IDEF0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.insapov.ru/idef0-standard-description>.
15. ENTSO-E's Modelling Methodology (EMM). [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edi-library/work%20products/general/Pages/default.aspx>;
16. ebIX UML Model for the European Energy Market. [Online] <http://www.ebix.org/dropbox/EEM2011.A.zip>;
17. Harmonised Electricity Role Model. [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edi-library/work%20products/general/Pages/default.aspx>
18. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко // Техн. електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 46–53.
19. Коптелов А. Разработка системы контроллинга бизнес-процессов для энергетических компаний [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://businessprocess.narod.ru/index24.htm>
20. Методология IDEF (Integrated DEFinition) моделирования бизнес-процессов
21. Чернов С. С. Методический подход к моделированию бизнес-процессов управляющей компании/ С. С. Чернов, А. Ю. Перминов, В. М. Кузичев// Проблемы современной экономики. – 2009. – №2. – 10 с.
22. Усков А. Е. Эффективность бизнес-процессов в электросетевой компании/ А. Е. Усков, Б. И. Шевченко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-biznes-protsssov-v-elektrosetevoyu-kompanii>
23. Караева Н. В. Сучасні ризики суб'єктів електроенергетичного ринку в умовах реформування енергетики України / Н. В. Караева, І. І. Гусєва. // Ефективна економіка. – 2010. – № 1. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2010_1_8.
24. Гительман Л. Д. Эффективная энергокомпания: Экономика. Менеджмент. Реформирование./ Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников. //М.: ЗАО «Олимп-Бизнес». – 2002. – 544 с.
25. Бюлер К. Обуздание риска / К. Бюлер, Г. Притч // Вестник McKinsey. – 2004. – № 1(6).
26. Свириденко О. Риск-менеджмент в электроэнергетике // Энергорынок. – 2007. – № 4 (41).
27. Пудичева Г. О. Контролінг в системі - енергетичним господарством підприємства [Текст] / Г. О. Пудичева // Вісник соціально-економічних досліджень. – 2013. – №3. – С. 83-89.
28. Фалько С. Особенности контроллинга / С. Фалько // Банковский менеджмент. – 2010. – № 9. – С. 13–18.
29. Володькін К. С. Контролінг бізнес-процесів в системі управління підприємством / К. С. Володькін // Формування ринкової економіки : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Київ. нац. екон. ун-т ім. В. Гетьмана» ; редкол.: О. О. Беляєв (відп. ред.) [та ін.]. – Київ : КНЕУ. – 2010. – № 24. – С. 266–274.

P. Sokolovskyi, Ph.D. student

**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
FEATURES OF REALIZATION OF EFFECTIVE BUSINESS PROCESSES IN ELECTRICITY
SUPPLY COMPANIES OF UKRAINE**

The transition to the concept of Smart Grid in Ukraine requires special economic stability in the energy sector. World practice of management in the management structure of the energy sector have long had the leadership of various companies and supported by appropriate theoretical developments. In Ukraine, a relatively new trend in energy management that does not have an accurate determinant-categorical ranking, effective methods and tools. You must identify the main components in solving this issue, perform the appropriate business process modeling, to their preliminary analysis and to identify the main levers of control.

This paper describes the key components of the construction and operation of business processes. The analysis of the use of the urgency of controlling, risk management, and software to regulate the business processes. Defined and described the main control and adjustment component business modeling. Developed a tentative plan for implementation under the concept of Smart Grid energy complex of Ukraine in 2030.

Keywords: power supply company, business process, Smart Grid, information exchange, controlling, risk management

References

1. Forsyth and construction of socio-economic development of Ukraine in the medium term (until 2020) and long term (2030) time horizons [Text] / science. Project Manager Acad. NAS of Ukraine M. Z. Zgurovsky // International Council for Science; Committee on the system analysis of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine; National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky"; Institute for Applied Systems Analysis MES of Ukraine and NAS of Ukraine; World Data Center for Geoinformatics and Sustainable Development; Foundation "agrarian superpower." – Kyiv, NTU "KPI named Igor Sikorsky" type-in "Polytechnic". – 2016. – 184 p.
2. Energy Strategy of Ukraine till 2035 (finalized), approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine of 27.05.2016 number 418-p and instructed the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 22.07.2016 number 22882/59 / 1-15 - [electronic resource] access mode: zakon.rada.gov.ua.
3. Priorities Innovative Fuel and Energy Complex of Ukraine: Monograph / Society. Ed. A. K. Shydlovsky. - K: Eng. entsykl. knowledge. – 2005. – 512 p.
4. Kirilenko A. V. Intelligent power systems: the elements and modes [Text]: [monograph] / [Blinov I. V. et al.]; under the total. Ed. Acad. NAS A. V. Kirilenko; Nat. Acad. Of Sciences of Ukraine, Institute of electrodynamic. – Kiev: Institute of Electrodynamic of NAS of Ukraine, 2014. – 408 p
5. Denisyuk S. P. technological benchmarks implementing the concept of Smart Grid in power systems / SP Denisyuk // Energy, – 2014. – №1. – P. 7-21.
6. Dovgalyuk A. Prospects for the introduction of technology in the energy SMART GRID Ukraine / O. M. Dovgalyuk, O. A. Taradina // Mezhdunarodnaya nauchnaya conference MicroCAD: Section №10 – Modern information technology and energy – NTU "KPI". – 2014.
7. Stogniy B. S. evolution of smart grids and their prospects in Ukraine / B. S. Stogniy, A. Kirilenko, A. Prakhovnik, S. P. Denisyuk // technical science. Electrodynamic. – 2012. – №5. – P. 52 – 67.
8. Kennet M. WhatGreen Economics? An age of globaltransformation – An Age of Green Economics [Online]: www.greeneconomics.org.uk.
9. Industry 4.0 – [electronic resource]. - Access: <http://industry40.ee>.
10. The art of developing and implementing the strategy: a new vision: Monograph / Ed. S. Chernoff. – Novosibirsk: Publishing House of SIBPRINT. – 2008. – 219 p.
11. Ostroukhova N. G. Business processes are energy companies: the concept, content, classification / N. G. Ostroukhova // Siberian financial school. - Siberian Academy of Finance and Banking. – 2012. – №1 / 90. – S. 118–122.
12. Ostroukhova N. G. Features of reengineering of business processes at the enterprises of power industry / NG Ostroukhova // Internet magazine "science of science". – 2013. – №16.
13. Kirillov A. M. Methodological aspects of business processes in the refining industry and the evaluation of their effectiveness: Abstract. Dis. cand. ehkon. Sciences: 08.00.05 / A. M .Kirillov; [A protection Place: Nizhny Novgorod State University. NI Lobachevsky]. – Nizhny Novgorod. – 2007. – 23 p.
14. Vernikov G. Description of the standard IDEF0 [Electron resource]. – Access mode: <http://www.insapov.ru/idef0-standard-description>.
15. ENTSO-E's Modelling Methodology (EMM). [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edi-library/work%20products/general/Pages/default.aspx>;
16. ebIX UML Model for the European Energy Market. [Online] <http://www.ebix.org/dropbox/EEM2011.A.zip>;
17. Harmonised Electricity Role Model. [Online] <https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edi-library/work%20products/general/Pages/default.aspx>
18. Kirilenko A. V. technical aspects of distribution generation sources in electrical networks / A. V. Kirilenko V. V. Pavlovsky, L. N. Lukyanenko // technical science. electrodynamic. – 2011. – №1. – P. 46–53.
19. Koptelov A. Development of business process controlling systems for energy companies [Electron resource]. – Access mode: <http://businessprocess.narod.ru/index24.htm>
20. Methodology IDEF (Integrated DEFinition) Business Process Modeling

21. Chernov S. S. Methodical approach to modeling business processes management company / S. S. Chernov A. Yu. Perminov, V. M. Kuzichev // Problems of modern economy. – 2009. – №2.
22. Uskov A. E. Efficiency of business processes in the company's electric grid / A. E. Uskov, B. I. Shevchenko [Electron resource]. - Access mode: <http://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-biznes-protsessov-v-elektrosetevoy-kompanii>
23. Karaeva N. V. risks of modern electricity market in restructuring the energy sector of Ukraine / NV Karaeva, I. Gusev. // Efficient Economy. – 2010. – № 1. – [electronic resource]. – Access: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2010_1_8.
24. Gitelman L. D. Efficient energy company: The Economy. Management. Reforming. / L. D. Gitelman, B. E. Ratnikov. // М.: ЗАО "Olymp-Business." - 2002. - 544 p.
25. Buler K., Pritch G. Obuzdanie riska // Vestnik McKinsey. – 2004. – № 1(6).
26. Sviridenko A. Risk management in the electricity // Energy Market. – 2007. – № 4 (41).
27. Pudychева G. A. Controlling in the management of enterprise energy management [Text] / G. Pudychева // Journal of Social and Economic Research. – 2013 – Vol. 3 (2). – P. 83–89.
28. Falko S. Natsyonalnye controlling Features / S. Falk // Banking Management. – 2010. – № 9. – P. 13-18.
29. Volodkin K. S. Controlling business processes in the enterprise management system / K. S. Volodkin // Formation of market economy: Coll. Science. pr. / M-of Education and Science of Ukraine, SHEE "Kyiv. nat. Econ. University of them. Vadym Hetman "; redkol.: AA Belyaev (ed. ed.) [et al.]. – Kyiv: Kyiv National Economic University. – 2010. – № 24. - P. 266-274.

УДК 621.31

П.В. Соколовский., аспирант

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В
ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩИХ КОМПАНИЯХ УКРАИНЫ**

Переход к развитию концепции Smart-Grid в Украине требует особой экономической стабильности в энергетике. Для этого необходимо определить основные составляющие в решении этого вопроса, выполнить соответствующее моделирование бизнес-процессов, провести их предварительный анализ, а также определить основные рычаги управления ими. В статье описаны ключевые составляющие построения и функционирования бизнес-процессов. Определены и описаны основные контролирующие и корректирующие составляющие бизнес-моделирования. Разработан ориентировочный план внедрения мероприятий по концепции Smart Grid до 2030 года.

Ключевые слова: энергоснабжающая компания, бизнес-процесс, Smart Grid, информационный обмен, контроллинг, риск менеджмент.

Надійшла 15.12.2016

Received 15.12.2016

УДК 658.264

Лисак О.В., пров. інж.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ОКУПНОСТІ
ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ОБІГРІВАЧІВ**

Стаття присвячена впровадженню електротеплоакуюлюючих обігрівачів, а саме визначенню термінів їх окупності в порівнянні з альтернативними варіантами систем опалення. В результаті проведеного в роботі аналізу показано, що за впровадження цих приладів найбільш вигідною для побутових споживачів стане відмова від систем прямого електричного опалення, а для населення – від систем центрального опалення. Термін окупності було проаналізовано як для умов простого розрахунку, так і за врахування ставки дисконтування.

Ключові слова: теплонакопичувач, електротеплоакуюлюючий обігрівач, тарифи на електроенергію, електричне акумуляційне опалення.

Передмова.

Стаття написана на підставі тез для конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку» [1].

Вступ.

Важливою задачею в Україні є раціональне використання вже наявних енергетичних ресурсів, зокрема й надлишків виробленої електроенергії. Аби ці надлишки не були марно втраченими, стимулюють їх споживання, знижуючи вартість електроенергії в години їх виникнення (тобто створюючи пільговий тариф). Це сприяє тому, що частина надлишково виробленої енергії може бути ефективно використана споживачами, зацікавленими в заощадженні коштів в системах, що потребують використання електроенергії. Це також може стимулювати споживачів переходити на системи, що використовують електроенергію замість інших ресурсів. Зокрема на електричне акумуляційне опалення замість газового.

В цій роботі розглянуто подібні системи опалення з використанням електротеплоакumuлюючих обігрівачів (ЕО), також відомих як теплонакопичувачі та теплоакumuлюючі електропечі [2].

Таблиця 1 – Вартість електроенергії для опалення

Споживач	$b_{\text{ел}}$, грн/(кВт·год)	$B_{\text{ел}}$, грн/(МВт·год)
Населення	0,7140	714,0
Непобутовий споживач	2,1574	2157,4

Примітка: дані узяті з сайту Київенерго згідно запланованих вартостей на березень 2017 року

Таблиця 2 – Вартість центрального опалення

Споживач	$b_{\text{цо}}$, грн/Гкал	$B_{\text{цо}}$, грн/(МВт·год)
Населення	1416,96	1218,6
Непобутовий споживач	1337,77	1150,5

Примітка: дані узяті з сайту Київенерго станом на жовтень 2016 року.

Таблиця 3 – Вартість газового опалення

Споживач	$b_{\text{газ}}$, грн/1000 м ³	$B_{\text{газ}}$, грн/(МВт·год)
Населення	3600	401,2
Непобутовий споживач	8000	891,6

Примітка: дані для населення узяті згідно даних КиївГазЕнерджи станом на жовтень 2016 року, дані для непобутових споживачів узяті усереднено.

Для коректного порівняння приведемо вказані величини до єдиного показника розмірності, а саме до питомої вартості одиниці виробленої енергії B , грн/(МВт·год). Для електроопалення та центрального опалення питому вартість визначаємо простою зміною одиниць вимірювання, а для систем газового опалення використовуємо формулу:

$$B_{\text{газ}} = \frac{b_{\text{газ}}}{1000} \cdot \frac{1}{Q_{\text{н.р.}}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{газ}}}, \quad (1)$$

де: $Q_{\text{н.р.}}$ – нижча теплота спалювання газу, приймається як $Q_{\text{н.р.}} = 34$ МДж/м³;

$\eta_{\text{газ}}$ – ККД газового котла, прийнято $\eta_{\text{газ}} = 0,95$.

Тепер розглянемо, якими будуть заощадження при використанні електричного акумуляційного опалення (за умови споживання електроенергії виключно в період дії пільгового тарифу).

Всі порівняння будемо виконувати для тризонного тарифу на електроенергію для випадку різниці вартості 1 МВт·год енергії, а саме $\Delta B_{ек}$, грн/(МВт·год), по формулі:

$$\Delta B_{ек} = B_{поч} - k_{тф} \cdot B_{ел}, \quad (2)$$

де: $B_{поч}$ – вартість джерела теплової енергії, грн/(МВт·год);

$k_{тф}$ – тарифний коефіцієнт: для населення – 0,40; для побутових споживачів – 0,25.

Визначимо й відносне заощадження експлуатаційних коштів $\Delta B_{відн.(ек)}$ як:

$$\Delta B_{відн.(ек)} = \frac{B_{поч} - k_{тф} \cdot B_{ел}}{B_{поч}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Обчислення, зведені в табл. 4, свідчать, що в усіх випадках має місце зменшення експлуатаційної вартості систем опалення. Найбільше відносне заощадження експлуатаційних коштів у населення – становить 76,6%. У побутових споживачів найбільші заощадження виникають за переходу від системи прямого електричного опалення до системи акумуляційного опалення – економія становитиме 75%. Найменші заощадження як у випадку населення, так й у випадку побутових споживачів спостерігаються у випадку відмови від газового опалення на користь електричного акумуляційного опалення – заощадження складатимуть 39,5% у побутових споживачів та 28,8% – у населення.

Таблиця 4 – Порівняння економії за встановлення електричної акумуляційної системи опалення за вказаної альтернативної системи опалення

Альтернативна система опалення	Тип споживача	$\Delta B_{ек}$, грн/(МВт·год)	$\Delta B_{відн.(ек)}$, %
Пряме електричне опалення	Населення	428	60,0
	Непобутовий споживач	1618	75,0
Центральне тепlopостачання	Населення	933	76,6
	Непобутовий споживач	611	53,1
Газове опалення	Населення	116	28,8
	Непобутовий споживач	352	39,5

Хоча заощадження є значними, потрібно враховувати й вартість встановлення систем електричного теплоакумуляційного опалення. Тому для подальшого розрахунку терміну окупності обираємо випадки з найбільшою абсолютною економією коштів: для побутових споживачів це відмова від прямого електричного опалення з економією в 1681 грн/(МВт·год), а для населення – відмова від центрального опалення з економією 933 грн/(МВт·год). Як бачимо, хоча відносні заощадження для розглянутих варіантів є практично однаковими, побутові споживачі в абсолютному значенні заощаджують на 80% більше у порівнянні з населенням. І чим меншими будуть абсолютні цифри річних заощаджень за експлуатації ЕО, тим довшим буде його термін окупності.

Визначення терміну період окупності електротеплоакумулюючих обігрівачів.

В табл. 5 наведено вартість ЕО $B_{ЕО}$, грн, в залежності від к виробника й типу приладу. В таблиці також наведена закордонна вартість таких приладів. Як можна побачити найбільш дешевими є прилади вітчизняного виробництва, а вартість закордонних приладів в Україні та закордоном є практично однаковою.

Важливими для аналізу термінів окупності є три складові. Перш за все, це те як співвідноситься потужність обладнання з необхідним розрахунковим тепловим потоком до приміщення. По-друге, це те, як буде працювати задане обладнання за умови, що час «зарядки» є відмінним від передбаченого конструкцією. По-третє, як на підбір обладнання буде впливати розрахункове значення напруги в мережі.

Щодо першої складової, то необхідну потужність приладу P , Вт, визначається як [3]:

$$P_{ел} = z_{пр} \cdot \frac{\tau_{доба}}{\tau_{зар}} \cdot Q_{тепл} \quad (4)$$

де: $z_{пр}$ – коефіцієнт для перерахунку тепловтрат приміщення в середнє за добу значення потреби в теплоті у приміщенні;

$\tau_{доба}$ – тривалість доби, $\tau_{доба} = 24$ год;

$\tau_{зар}$ – тривалість «заряду» приладу, год;

$Q_{тепл}$ – розрахункове значення тепловтрат приміщення, Вт.

Як свідчить аналіз з [3], вітчизняні та закордонні методи надають суттєво різні значення коефіцієнту $z_{пр}$, який визначає частку від максимального використання теплової потужності ЕО протягом доби. В цих розрахунках приймаємо два значення $z_{пр} = 0,5$ та $0,8$.

Для подальших розрахунків будемо визначати з рівняння (4) значення розрахункових тепловтрат, яке здатен компенсувати той чи інший ЕО з урахуванням зниження його потужності внаслідок відхилень значення напруги:

$$Q_{тепл} = P_{ел} \cdot \frac{1}{z_{пр}} \cdot \frac{\tau_{зар}}{\tau_{доба}} \cdot \left(\frac{U_{мережа}}{U_{ЕО}} \right)^2, \quad (5)$$

де: $U_{ЕО}$ – напруга приладу, згідно даних виробника, В;

$U_{мережа}$ – стандартна напруга в мережі, В.

Якщо тривалість «зарядки» обладнання складає 7 год, то вважаємо, що за 8 год прилад працюватимемо аналогічно умовам «зарядки» в 7 год. Якщо проектна «зарядка» обладнання складає 8 год, то питома вартість приладу розраховується по формулі (5) за $\tau_{зар} = 8$ год, але коли час «зарядки» того самого приладу зменшується до 7 год, то $\tau_{зар} = 7$ год і тепла потужність приладу зменшиться.

Вартість обладнання на одиницю тепловтрат приміщення $b_{ЕО}$, грн/кВт_(тепл), визначаємо як:

$$b_{ЕО} = \frac{B_{ЕО}}{Q_{тепл}}. \quad (6)$$

Отримані значення зведено в табл. 5. Графічне зображення зміни вартості приладів в умовах України показано на рис. 1. Як можна побачити, помітно на вартість приладів впливає значення $z_{пр}$, а також абсолютне значення теплової потужності приладу за прийнятих умов. Отриманий діапазон значно відрізняється від наведеного в літературі діапазону з [4], згідно якого вартість статичних ЕО була прийнята як 5700 грн/кВт та динамічних – 10000 грн/кВт. Наведені в цій роботі дані свідчать, що питома вартість статичних ЕО може бути як меншою, так і більшою (більш, ніж вдвічі), а вартість динамічних ЕО також може бути як вдвічі меншою за наведені в цій роботі дані, так і більшою.

Тепер визначимо тепловий потік протягом опалювального сезону на одиницю розрахункових тепловтрат приміщення для кліматичних умов м. Києва, а саме – тривалості опалювального періоду 187 діб та 40% використання встановленої потужності системи опалення згідно [5]. За таких умов 1 кВт встановленої потужності обладнання буде виробляти за опалювальний період таку кількість теплової енергії q_T , МВт·год/кВт_(тепл):

$$q_T = 0,4 \cdot 187 \cdot 24 \cdot 1 = 1795 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кВт}_{(тепл)}} = 1,795 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{кВт}_{(тепл)}}. \quad (7)$$

Спочатку визначимо різницю капітальних коштів на встановлення систем. Розрахунок виконаємо спрощено без врахування вартості лічильника та вартості встановлення й монтажу.

Вартість електричної системи опалення з електричними конвекторами (електричними обігрівачами прямої дії) приймаємо як $b_{ел.конв.} = 600$ грн/кВт [4]. Дане значення в деяких випадках є меншим за можливе значення вартості ЕО більш, ніж в 10 разів. Загалом, подальший розрахунок має спрощений характер, бо для визначення справжніх умов роботи потрібно враховувати якість підтримання системою комфортних параметрів в приміщенні [6].

Вартість ЕО розглянемо за умови «зарядки» 7 год: найдешевшим варіантом буде 4629 грн/кВт_(тепл), а найдорожчим – 33817 грн/кВт_(тепл). Додамо, що найдорожчі з цих приладів – ЕСО – є найбільш надійними та мають найбільш якісну автоматизацію роботи системи (включно з роботою в мережах «smart grid»), переваги якої за дійсного стану ринку електроенергії в Україні неможливо використати в повній мірі.

Тепер визначимо різницю вартості ЕО за вказаного діапазону та вартості системи прямого електричного опалення без врахування коштів на підключення електроенергії:

$$\Delta B_{капіт} = 4629 \dots 33817 - 600 = 4029 \dots 33217 \text{ грн/кВт}_{(тепл)}. \quad (8)$$

Заощадження коштів за опалювальний сезон на 1 кВт розрахункових тепловтрат приміщення для непобутових споживачів складатимуть за умови, що всі прилади забезпечують однаковий тепловий потік:

$$\Delta B_{факт.ек} = \Delta B_{ек} \cdot q_T = 1618 \cdot 1,795 = 2904 \text{ грн/кВт}_{(тепл)}. \quad (9)$$

Таблиця 5 – Розрахунок питомої вартості ЕО

Прилад	P, кВт	U, В	τ , год	B _{ЕО} , грн	Умови використання							
					$\tau_{\text{зар}} = 7$ год				$\tau_{\text{зар}} = 8$ год			
					$z_{\text{пр}} = 0,5$		$z_{\text{пр}} = 0,8$		$z_{\text{пр}} = 0,5$		$z_{\text{пр}} = 0,8$	
					Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт	Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт	Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт	Q _{тепл} , кВт	b _{ЕО} , грн/кВт
Україна (U = 220 В), ТОВ «Теплотехника»: статичні ЕО												
АЭТ-С-1,2	1,2	220	7	4700	0,70	6 714	0,44	10 743	0,70	6 714	0,44	10 743
АЭТ-С-1,8	1,8	220	7	6100	1,05	5 810	0,66	9 295	1,05	5 810	0,66	9 295
АЭТ-С-2,4	2,4	220	7	7200	1,40	5 143	0,88	8 229	1,40	5 143	0,88	8 229
АЭТ-С-3	3	220	7	8100	1,75	4 629	1,09	7 406	1,75	4 629	1,09	7 406
Україна (U = 220 В), ТОВ «Теплотехника»: динамічні ЕО												
АЭТ-2,4	2,4	220	7	9500	1,40	6 786	0,88	10 857	1,40	6 786	0,88	10 857
АЭТ-3,2	3,2	220	7	11500	1,87	6 161	1,17	9 857	1,87	6 161	1,17	9 857
АЭТ-4	4	220	7	13700	2,33	5 871	1,46	9 394	2,33	5 871	1,46	9 394
Україна (U = 220 В), Elnur: статичні ЕО												
ADS084	0,8	240	8	7368	0,39	16 585	0,25	26 537	0,45	14 512	0,28	23 219
ADS124	1,2	240	8	9335	0,59	14 195	0,37	22 712	0,67	12 421	0,42	19 873
ADS168	1,6	240	8	10914	0,78	12 421	0,49	19 873	0,90	10 868	0,56	17 389
ADS208	2	240	8	12797	0,98	11 733	0,61	18 773	1,12	10 266	0,70	16 426
ADS2412	2,4	240	8	14515	1,18	11 009	0,74	17 614	1,34	9 633	0,84	15 412
ADS2812	2,8	240	8	16592	1,37	10 822	0,86	17 316	1,57	9 470	0,98	15 151
ADS3216	3,2	240	8	18365	1,57	10 447	0,98	16 716	1,79	9 141	1,12	14 626
Україна (U = 220 В), Elnur: динамічні ЕО												
ADL2012	2	240	8	22769	0,98	20 424	0,61	32 678	1,12	17 871	0,70	28 593
ADL3018	3	240	8	28005	1,47	16 745	0,92	26 791	1,68	14 652	1,05	23 443
ADL4024	4	240	8	33323	1,96	14 891	1,23	23 825	2,24	13 029	1,40	20 847
ADL5030	5	240	8	38281	2,45	13 720	1,53	21 952	2,80	12 005	1,75	19 208
Україна (U = 220 В), Elnur: сучасні статичні ЕО з додатковим електричним нагрівачем												
ЕСО158	0,975	240	8	14570	0,48	23 057	0,30	36 891	0,55	20 175	0,34	32 280
ЕСО208	1,3	240	8	16371	0,64	20 413	0,40	32 660	0,73	17 861	0,46	28 578
ЕСО308	1,95	240	8	20526	0,96	17 233	0,60	27 574	1,09	15 079	0,68	24 127
ЕСО408	2,6	240	8	25041	1,27	15 911	0,80	25 458	1,46	13 922	0,91	22 276
Великобританія (U = 240 В), Elnur: сучасні статичні ЕО з додатковим електричним нагрівачем												
ЕСО158	0,975	240	8	10637	0,57	20 865	0,36	33 384	–	–	–	–
ЕСО208	1,3	240	8	12631	0,76	19 434	0,47	31 095	–	–	–	–
ЕСО308	1,95	240	8	15734	1,14	16 658	0,71	26 653	–	–	–	–
ЕСО408	2,6	240	8	18227	1,52	14 765	0,95	23 624	–	–	–	–
Великобританія (U = 240 В), Dimplex: сучасні динамічні ЕО з додатковим електричним нагрівачем												
QM070	1,56	240	7	17530	0,91	21 620	0,57	34 592	–	–	–	–
QM100	2,2	240	7	19123	1,28	17 001	0,80	27 201	–	–	–	–
QM125	2,76	240	7	21115	1,61	14 878	1,01	23 805	–	–	–	–
QM150	3,3	240	7	22709	1,93	13 338	1,20	21 341	–	–	–	–

Примітки: ¹ Дані в цій таблиці мають виключно ознайомлювальний характер. ² Для Великобританії розглянуто лише тариф Е7. ³ Дані по вартості ЕО (вартість та термін окупності можуть бути іншими):

- ТОВ «Теплотехника» узяті з сайту виробника;
- Elnur в Україні – з [http://kontaktor.com.ua/energy-saving/teplovoy-e-nakopiteli-2/];
- ЕО у Великобританії – з [https://www.tlc-direct.co.uk/Main_Index/Heating_Index/Dimplex_Quantum/index.html]

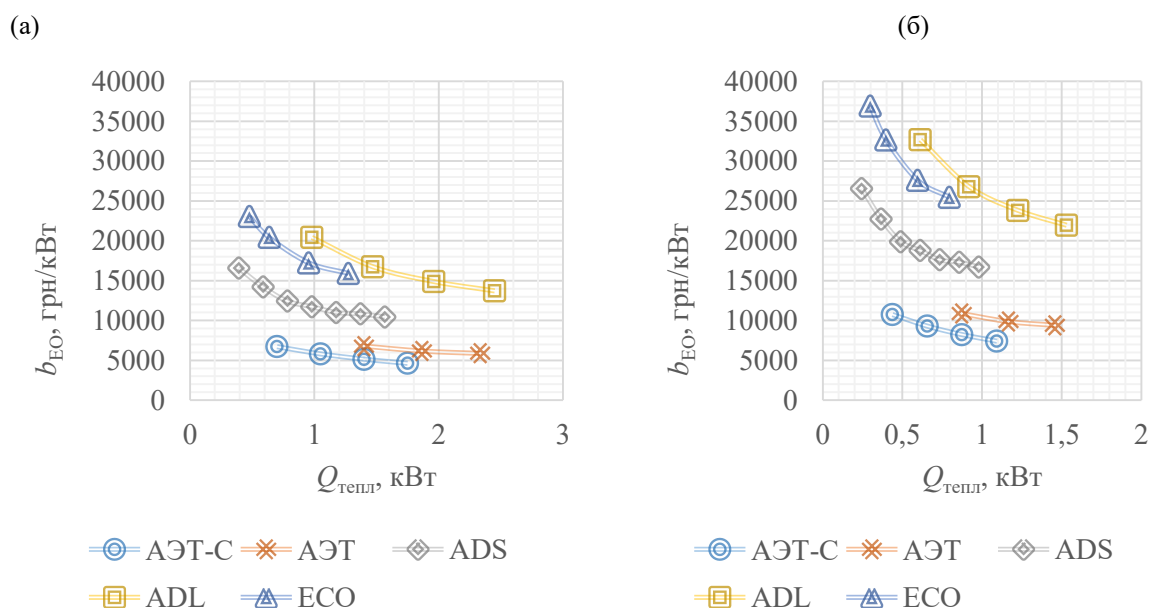


Рис. 1. Зміна питомої вартості ЕО в Україні за $\tau_{зар} = 7$ год та $z_{пр}$, яка складає: (а) 0,5 та (б) 0,8.

Таблиця 6 – Визначення заощаджень за переходу від прямого електричного опалення на електричне акумуляційне опалення для непобутових споживачів при різних значеннях E , %.

r , рік	E , %									
	0	3			10			22		
	$B_{с.д.}$, грн/кВт	$r_{д.}$	$B_{д.}$, грн/кВт	$B_{с.д.}$, грн/кВт	$r_{д.}$	$B_{д.}$, грн/кВт	$B_{с.д.}$, грн/кВт	$r_{д.}$	$B_{д.}$, грн/кВт	$B_{с.д.}$, грн/кВт
1	2904	0,971	2819	2819	0,909	2640	2640	0,820	2380	2380
2	5808	0,943	2737	5557	0,826	2400	5040	0,672	1951	4331
3	8712	0,915	2658	8214	0,751	2182	7222	0,551	1599	5931
4	11616	0,888	2580	10794	0,683	1983	9205	0,451	1311	7242
5	14520	0,863	2505	13299	0,621	1803	11008	0,370	1074	8316
6	17424	0,837	2432	15732	0,564	1639	12648	0,303	881	9197
7	20328	0,813	2361	18093	0,513	1490	14138	0,249	722	9919
8	23232	0,789	2292	20385	0,467	1355	15493	0,204	592	10510
9	26136	0,766	2226	22611	0,424	1232	16724	0,167	485	10995
10	29040	0,744	2161	24772	0,386	1120	17844	0,137	398	11393
11	31944	0,722	2098	26870	0,350	1018	18862	0,112	326	11719
12	34848	0,701	2037	28906	0,319	925	19787	0,092	267	11986
13	37752	0,681	1977	30884	0,290	841	20628	0,075	219	12205
14	40656	0,661	1920	32804	0,263	765	21393	0,062	179	12384
15	43560	0,642	1864	34668	0,239	695	22088	0,051	147	12531
16	46464	0,623	1810	36477	0,218	632	22720	0,042	121	12652
17	49368	0,605	1757	38234	0,198	575	23295	0,034	99	12751
18	52272	0,587	1706	39940	0,180	522	23817	0,028	81	12832
19	55176	0,570	1656	41596	0,164	475	24292	0,023	66	12898
20	58080	0,554	1608	43204	0,149	432	24723	0,019	54	12953

Порівняння вартості будемо виконувати за формулою з [5] без врахування коштів на обслуговування цих систем:

$$\Delta B_{\text{варт}} = \sum_{r=0}^n \frac{B_r^{\text{енерг}} (1+k)^n}{(1+E)^r} + \Delta B_{\text{капіт}}. \quad (10)$$

де: n – це термін, на який проводиться розрахунок, роки;

r – рік розрахунку, рік;

E – ставка дисконтування;

k – коефіцієнт приросту цін на енергоносії;

$B_r^{\text{енерг}}$ – вартість енергії в системі, грн/рік. У випадку даного аналізу $B_r^{\text{енерг}} = \Delta B_{\text{факт.ек}}$.

Виконаємо моделювання, прийнявши для всіх випадків коефіцієнт приросту цін на енергоносії $k = 0$. Ставку дисконтування проаналізуємо як за простого розрахунку терміну окупності, тобто $E = 0\%$, так і згідно $E = 3\%$, що використовувалась в [7], $E = 10\%$, що використовувалась в [8], та $E = 22\%$, що використовувалась в [9]. Термін, на який будуть розраховані дані системи, оцінимо як 20 років, що також використовувалось в [7], хоча розглянуті прилади часто експлуатують довше за вказаний термін.

Для зручності формулу (10) відтворимо через коефіцієнти як:

$$r_{\text{д.}} = \frac{1}{(1+E)^r}, B_{\text{д.}} = \frac{B_r^{\text{енерг}}}{(1+E)^r}, B_{\text{с.д.}} = \sum_{r=0}^n \frac{B_r^{\text{енерг}}}{(1+E)^r}.$$

За наведених в табл. 6 заощаджень експлуатаційних коштів та різниці капітальних витрат 4029...33217 грн/кВт, простий термін окупності ($E = 0\%$) складатиме від 1,39 року до 11,44 років:

$$\frac{4029}{2904} = 1,39 \text{ рік} \quad \text{та} \quad \frac{33217}{2904} = 11,44 \text{ рік.}$$

Такий термін окупності є цілком прийнятним для впровадження подібних приладів. За $E = 3\%$ найдешевший прилад окупиться лише на другий рік експлуатації ($B_{\text{с.д.}} = 5808$ грн/кВт $>$ $\Delta B_{\text{капіт}} = 4029$ грн/кВт), а найдорожчий – лише на п'ятнадцятий рік ($B_{\text{с.д.}} = 34668$ грн/кВт $>$ $\Delta B_{\text{капіт}} = 33217$ грн/кВт). За більших значень E найдорожчі прилади не окупаються за 20 років, а найдешевші – так само на другий рік експлуатації.

Тепер проаналізуємо термін окупності систем ЕО для населення за відмови від центральної системи опалення. В цьому випадку можливо проаналізувати ситуацію, коли населення замінює вже існуючу систему водяного опалення на систему електричного акумуляційного опалення – цей випадок не враховуватиме кошти, пов'язані з демонтажем чи утилізацією центральної системи водяного опалення, тобто $\Delta B_{\text{капіт}} = 4629...33817$ грн/кВт, а $B_r^{\text{енерг}}$:

$$B_r^{\text{енерг}} = \Delta B_{\text{ек}} \cdot q_{\text{ум}} = 933 \cdot 1,795 = 1675 \text{ грн/кВт}_{(\text{тепл})}. \quad (11)$$

Виконавши аналогічні розрахунки для населення, як раніше для не побутових споживачів, отримаємо, що за простого терміну окупності ($E = 0\%$) встановлення найдешевших приладів виправдає себе лише на 3 рік, а й найдорожчих – лише на 21 рік за умови, що планується лише 20 років експлуатації. За більших значень E термін окупності найдешевших приладів буде знаходитись в межах 3...5 років, а найдорожчі не будуть себе окупати для розглянутого терміну в 20 років.

В [3] також йшла мова про те, що різні типи ЕО споживатимуть протягом опалювального сезону різну кількість теплоти. Ця різниця пов'язана з якістю регулювання теплового потоку в приміщенні. Зокрема, статичний ЕО з ручним керуванням буде споживати на 37% теплоти більше для забезпечення теплового режиму в приміщенні, ніж динамічний ЕО з автоматизованим керуванням [3]. Також потрібно враховувати й те, що статичні ЕО інколи рекомендують приймати з більшим запасом потужності, ніж динамічні ЕО [3], тобто номінальна потужність ЕО буде більшою, ніж в динамічного ЕО.

Якщо порівнювати вказані моделі між собою, то вартість електроенергії для них буде однаковою. Для населення $0,4 \cdot 714 = 286$ грн/(МВт·год), для інших споживачів – $0,35 \cdot 2157,4 = 755$ грн/(МВт·год). Для визначення річних перевитрат електроенергії за використання ЕО з менш якісним підтриманням теплового режиму в приміщенні, вважаємо перевитрати становитимуть 37% від значення спожитої теплоти згідно формули (7):

$$q_{\text{п}} = q_{\text{т}} \cdot \frac{37\%}{100\%} = 1,795 \cdot 0,37 = 0,664 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{кВт}_{(\text{тепл})}}. \quad (12)$$

Таки чином, перевитрати в населення за один опалювальний сезон на одиницю потужності приладу складатимуть $286 \cdot 0,664 = 190$ грн/(кВт_(тепл)·рік), а в інших споживачів $755 \cdot 0,664 = 501$ грн/(кВт_(тепл)·рік). За простого терміну окупності в 20 років, для населення використання ЕО з кращим регулюванням буде економічно доцільним за різниці вартості ЕО меншої, ніж $20 \cdot 190 = 3800$ грн/кВт_(тепл), а для інших споживачів $20 \cdot 501 = 10020$ грн/кВт_(тепл).

Оскільки виробники вказаних в роботі приладів не надають даних щодо того, наскільки якісно по відношенню до інших моделей вони підтримують тепловий режим в приміщенні, обмежимося лише вказівкою на максимальні відмінності вартості приладу на одиницю їх потужності за однакового значення $\tau_{зар}$ та розглянутого діапазону $z_{пр} = 0,5 \dots 0,8$ в табл. 5. Проте це порівняння ускладнюється тим, що питома вартість приладів суттєво змінюється в залежності від загальної кількості необхідної теплової енергії, що має надходити в приміщення. Як свідчать дані з рис. 1, вартість приладів закордонного виробництва суттєво зменшується з загальною потужністю приладу.

Зокрема, різниця між найдорожчою та найдешевшою моделями статичних ЕО за можливого діапазону тепловтрат приміщення $0,75 \dots 1,25$ кВт за $\tau_{зар} = 7$ год знаходиться в межах $12,7 \dots 26,5$ тис. грн/кВт, що значно перевищує можливі заощадження навіть за умови, що дорожчі прилади економічніше витрачатимуть теплову енергію. Водночас, така ж різниця для динамічних ЕО за можливого діапазону тепловтрат приміщення $1,5 \dots 2$ кВт за $\tau_{зар} = 7$ год знаходиться в межах $11 \dots 23,8$ тис. грн/кВт, тому придбання дорожчих приладів навіть за умови (яку ще потрібно довести), так само є економічно невиправданим. Водночас, за умови зміни вартості цих приладів ситуація може змінитись (зокрема укріплення курсу гривні).

Висновки:

1. Наведений приклад визначення терміну окупності ЕО показав, що за дійсних тарифів подібні прилади будуть економічно доцільними за відмови населення від центрально опалення, а для непухотих споживачів – у випадку відмови від прямого електричного опалення.

2. На термін окупності ЕО значно впливає вартість енергетичних ресурсів, яка на сьогоднішній день є переважно фіксованою. В подальшому є сенс визначити те, як змінюватиметься термін окупності ЕО в залежності від ринкової вартості електроенергії, що обумовлена джерелом її виробництва.

3. Окрім застосування електроенергії по пільговому тарифу для забезпечення потреб системи опалення, її також можливо застосовувати для забезпечення потреб систем гарячого водопостачання. Тому в подальших роботах необхідно визначити те, скільки зможе заощадити споживач не лише за рахунок використання електричного акумуляційного опалення, але й за переходу на системи електричного акумуляційного гарячого водопостачання. Подібний розрахунок зможе представити користувачу всі можливі переваги за переходу на подібні системи теплопостачання.

Список використаної літератури

1. Лисак О. В. Термін окупності електричних теплоакумуляційних систем теплопостачання в залежності від тривалості періоду акумулювання [Текст] / О. В. Лисак // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку. Збірник наукових праць III Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції у місті Києві 30 травня-01 червня 2016 р. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – С. 43-44.

2. Малкін Е. С. Теплоакумуляючі електропечі. Термінологія і класифікація [Текст] / Е. С. Малкін, О. В. Лисак // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2014. – № 3. – С. 69–74. – ISSN 2409-2924.

3. Лисак, О. В. Визначення необхідної потужності електричних теплоакумуляційних обігрівачів [Текст] / О. В. Лисак // Вісник Національного університету «Львівська Політехніка». Серія «Теорія і практика будівництва». – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2016. – № 844. – С. 127-138. – ISSN 0321-0499.

4. Клєн А.Н. Эффективность применения теплонакопителей в частных домовладениях Украины [Текст] / А.Н. Клєн // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 6/1 (26). – С. 46-49. – ISSN 2226-3780. – doi: 10.15587/2312-8372.2015.56645.

5. Дешко В.І. Економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти [Текст] / В.І. Дешко, Н.А. Буяк // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2009. – № 3. – С. 74-81. – ISSN 1810-0546.

6. Дешко В.І. Показники опалення будівель і температурні умови комфортності [Текст] / В.І. Дешко, Н.А. Буяк // Промышленная теплотехника. – 2010. – № 1. – С. 66-70. – ISSN 0204-3602.

7. Gandarillas V. Feasibility of small scale energy storage technologies in rural areas : Master's thesis [Online document] / Victor Gandarillas. – Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, University of Strathclyde, United Kingdom, 2015. Url: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2015/Gandarillas.pdf.

8. Волощук В.А. Вплив змінності погодно-кліматичного чинника на невизначеність при виборі термічного опору огорожувальної конструкції будинку [Текст] / В.А. Волощук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2012. – № 8. – С. 168-177. – ISSN 2078-774X.

9. Дешко В.І. Вибір теплового захисту та джерела тепла із врахуванням комфортних умов у будівлі [Текст] / В.І. Дешко, Н.А. Буяк, І.Ю. Білоус // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – Київ : Київський національний університет технологій та дизайну. – 2015. – № 5. – С. 15–23. – ISSN 1813-6796.

O. Lysak

Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine

THE EVALUATION OF THE PAYBACK PERIOD FOR STORAGE HEATERS

The article describes the implementation of storage heaters. The main of topic is the evaluation of payback period of heating systems which use storage heaters. These systems are compared to district heating systems, gas heating systems and direct electric heating systems. The cost of all systems is taken as for Kyiv, Ukraine.

The analysis shows that at the current price level the implementation of storage heaters (storage electric heating) is the best option for residential dwellings which use district heating and for other consumers which use direct electric heating. It leads to the greatest reduction of operating costs and thus reducing payback periods. So only these cases are used to evaluate possible payback period. It is important to mention that the smallest reduction in operating costs for both types of consumers are both in the case of replacing gas heating systems with storage heaters.

In order to determine the payback period, it is calculated energy consumption per 1 kW of installed capacity of a storage heater and unit cost per 1 kW of installed capacity. Both manufactured in Ukraine and abroad storage heaters are presented in this article and their costs per 1 kW of installed capacity are analysed and compared. The payback period is analysed both for conditions of a simple calculation and for options when the discount rate is taking into account. Thus, the discount rate E varied from 0 to 22%. The calculations, made in this article, show that the cost of a storage heater varies considerably, and under simple calculation ($E = 0\%$) and the minimum cost of a storage heater payback period may be 3 ... 5 years, and with higher value of discount rate E and the use of a more expensive storage heater, the payback period can exceed payback period of 20 years.

Keywords: storage heaters, electric storage heating, storage heaters, heat transfer, payback period

References

1. Lysak O.V. (2016) Termin okupnosti elektrychnykh teploakumulatsionnykh system teplopostachannia v zalezhnosti vid tryvalosti periodu akumulivannia [Impact of storage period on payback period of electrical storage heating systems], Enerhetychni menedzhment [Energy management], NTUU KPI, pp. 43-44. [in Ukrainian]
2. Malkin E. S., Lysak, O. V. (2014) Teploakumuluiuchi elektropечи. Terminolohiia i klasyfikatsiia [Storage heaters. The terminology and the classification], Promyslova elektroenerhetyka ta elektrotekhnika [Industrial power and electrical engineering], № 3, pp. 69–74. [in Ukrainian]
3. Lysak O.V. (2016) Vyznachennia neobkhidnoi potuzhnosti elektrychnykh teploakumulatsionnykh obihrivachiv [Calculation of required power input of a storage heater], Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska Politekhnikha». Seriia «Teoriia i praktyka budivnytstva». [Proceedings of the National University "Lviv Polytechnic" Theory and practice of construction], №844, pp. 127-138. [in Ukrainian].
4. Klyon A. (2015) Efficiency of storage heaters in private housing estates of Ukraine. Technology audit and production reserves, [S.l.], v. 6, n. 1(26), pp. 46-49. doi: 10.15587/2312-8372.2015.56645. [in Russian].
5. Deshko V.I., Buyak N.A. (2009) Ekonomichno dotsilnyi teplovyi zakhyst budivli z riznymy dzherelamy teploty [The economically expedient thermal defense of building with different heating sources], Naukovi visti Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut" [Naukovi Visti NTUU KPI], №3, pp. 74-81. [in Ukrainian].
6. Deshko V.I., Buiak N.A. (2010) Pokaznyky opalennia budivel i temperaturni umovy komfortnosti [Indicators heating buildings and temperature comfort conditions]. Promyshlennaya teplotekhnika – Industrial heat engineering, 4, 66–70 [in Ukrainian].
7. Gandarillas V. Feasibility of small scale energy storage technologies in rural areas : Master's thesis (2015), Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, University of Strathclyde, United Kingdom, 2015. Url: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2015/Gandarillas.pdf.
8. Voloshchuk V. A. (2012) Vplyv zminnosti pohodno-klimatychnoho chynnyka na nevyznachenist pry vybori termichnoho oporu ohorodzhuvальноi konstruktsii budynku, Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy i ustatkuvannia, NTU "KhPI", № 8. pp. 168-177.

9. Deshko V., Buyak N., Biloyts I. (2015) Vybir teplovoho zakhystu ta dzherela tepla iz vrakhuvanniam komfortnykh umov u budivli [Comprehensive choice of building envelope and the heat sources, taking into account the comfort conditions in buildings], Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriia: Tekhnichni nauky [Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, Technical Science Series], №5, pp. 15-23.

О.В. Лысак

Институт возобновляемой энергетики НАН Украины

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКА ОКУПАЕМОСТИ ЭЛЕКТРОТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ
ОБОГРЕВАТЕЛЕЙ**

Статья посвящена внедрению электротеплоаккумулирующих обогревателей, а именно определению сроков их окупаемости по сравнению с альтернативными вариантами систем отопления. В результате проведенного в работе анализа показано, что в случае внедрения этих приборов наиболее выгодным для бытовых потребителей станет отказ от систем прямого электрического отопления, а для населения - от систем центрального отопления. Срок окупаемости был проанализирован как для условий простого расчета, так и для условий наличия ставки дисконтирования.

Ключевые слова: теплонакопители, электротеплоаккумулирующий обогреватель, тарифы на электроэнергию, электрическое аккумуляционное отопление.

Надійшла 14.11.2016

Received 14.11.2016

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ В ЕНЕРГЕТИЦІ ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN ENERGY

УДК 665

С.В. Бойченко, д.т.н., професор, завідувач кафедри екології,

О.Г. Пузік, магістр,

П.І. Топільницький, к.т.н., доцент

Національний авіаційний університет,

доцент кафедри хімічної переробки нафти та газу НУ «Львівська політехніка»

Л.М. Черняк, к.т.н., доцент, доцент кафедри екології,

В.В. Романчук, к.т.н., асистент кафедри хімічної переробки нафти та газу

НУ «Львівська політехніка»,

О. Бабатунд, аспірант кафедри екології,

Каземір Лейда, д.т.н., професор, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання і транспорту,

Жешувської Політехніки, (Польща),

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НАФТОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

У статті розглянуто і проаналізовано можливий вплив типового нафтопереробного підприємства на навколишнє середовище. Визначено шкідливі речовини, що викидаються в атмосферу на нафтопереробному підприємстві, їх основні джерела та причини викидів у навколишнє середовище. Виконано розрахунок валових викидів шкідливих речовин в атмосферу для підприємства нафтопереробки. Також охарактеризовані технологічні заходи щодо зниження викидів шкідливих речовин та запропоновано основні засоби для зменшення негативного впливу майбутнього нафтопереробного заводу на навколишнє середовище

Ключові слова: шкідливі речовини, викиди, вуглеводні, небезпека, нафтопереробний завод.

Вступ. Екологічні проблеми, що мають у наш час глобальний соціальний характер, найяскравіше проявилися у нафтопереробній галузі, де викиди шкідливих речовин створюють техногенне навантаження на довкілля та суспільно-політичну напруженість у суспільстві. Постійно змінюються технології, внаслідок чого такі параметри як температура, тиск, вміст небезпечних речовин досягають критичних величин. Багато видів продукції нафтопереробних заводів з передовими технологіями, які забезпечують комплексну переробку сировини є вибухонебезпечні чи токсичні. Перелічені особливості сучасних об'єктів нафтопереробки зумовлюють їх потенційну екологічну небезпеку. Нафтопереробна промисловість усього світу стикається з жорсткими екологічними вимогами до якості нафтопродуктів, що випускаються.

Актуальність теми полягає в тому, що інтенсивний розвиток промисловості та розширення сфери використання нафтопродуктів усіх видів зумовлює зростання забруднення навколишнього середовища. Тому з найважливіших проблем нафтовидобувної і нафтопереробної галузей промисловості є проблема охорони виробничого та навколишнього середовища. Нафтопереробна промисловість належить до тих галузей народного господарства, які найбільшою мірою відповідальні за здоров'я населення. У зв'язку з цим важливим є аналіз впливу середовища розташування підприємств нафтопереробного комплексу. Процеси переробки нафти являють собою небезпеку для довкілля живого світу, так як забруднюються атмосфера, гідросфера, літосфера. Щоб знизити і запобігти екологічному навантаженню на навколишнє середовище, в нафтопереробці необхідно впроваджувати екологічні методи управління, вести господарську діяльність у межах ємності екосистем на основі масового впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій.

Концепція сталого розвитку людства передбачає такий розвиток, який забезпечує потреби теперішнього часу без шкоди для основних параметрів біосфери і не ставить під загрозу

здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. За останні десятиліття серйозною міжнародною проблемою став захист атмосфери, що погіршується внаслідок господарської діяльності людини. Постійною проблемою в містах, наближених до джерел викидів, а також в більших районах, які оточують промислові зони і міста, є традиційне забруднення – частинки пилу, оксиди сірки, азоту, вуглецю і різні вуглеводні. Нерозумна діяльність людини може призвести природу до межі біологічної катастрофи, яка відгукнеться насамперед на ній самій. Набагато більшу небезпеку приховує у собі використання нафтопродуктів в якості палива, при згорянні якого в атмосферу виділяються у великих кількостях вуглекислий газ, оксиди сірки, азот, тверді частинки і незгорілі вуглеводні. На даний час людство щорічно спалює близько 3,5 млрд. тонн нафтових палив, на що споживається понад 8 млрд. тонн кисню. Мінімізувати кількість викидів забруднюючих речовин можна за рахунок заміни всіх видів палив на палива з поліпшеними екологічними характеристиками. Отже, необхідно розвивати і впроваджувати нові технологічні процеси та апаратуру, що дозволяють одержувати викиди в атмосферу з допустимими рівнями, що обмежують вміст шкідливих речовин.

Процес посилення екологічних вимог до нафтопродуктів в більшості розвинених країн йде набагато інтенсивніше, ніж в Нігерії. У зв'язку з цим: нігерійська промисловість і фінансові структури будуть відчувати зростаючі труднощі при експорті готової продукції вже найближчим часом.

Предмет дослідження. Шкідливі речовини, що викидаються в атмосферу на нафтопереробних підприємствах – це сірководень, діоксид сірки, оксид і діоксид азоту, вуглеводні, сірчистий газ, окис вуглецю, аміак, фенол і т.ін.

Об'єкт дослідження. Дослідження впливу наявності в атмосфері сірчистих сполук, оксиду вуглецю на токсичність вуглеводнів, що є причиною більш низького значення ГДК сірководню в присутності вуглеводнів, ніж за їх відсутності.

Основними джерелами викидів вуглеводнів в атмосферу є: резервуарні парки (викиди з дихальних клапанів за рахунок випарів з відкритих поверхонь), технологічні установки (викиди за рахунок нещільності технологічного обладнання, трубопровідної апаратури, сальників насосів, а також з робочих клапанів у випадку аварійних ситуацій, вентиляційні викиди з робочих приміщень); системи оборотного водопостачання (випаровування вуглеводнів у нафтовіддільники і градирнях); очисні споруди (випаровування з відкритих поверхонь нафтопасток, ставків-відстійників, флотаторів, шламо- і мулонакопичувачів); а також об'єкти очисних споруд та системи споруджень водопостачання (відкриті пастки, різні ставки, біологічні очисні споруди, градирні та колодязі заводської каналізації, з яких випаровуються вуглеводні та інші сполуки з поверхні стічних вод).

Викиди твердих речовин пов'язані, насамперед, з хімічними методами переробки вуглеводневої сировини, особливо каталітичними. Ці речовини складаються в основному з частинок діаметром від 0,01 до 100 мкм. Хімічний склад пилу, що утворюється дуже складний і може викликати збільшення ризику захворювання на рак легенів, оскільки аналізи зазвичай виявляють присутність сполук вуглецю, ароматичних і поліциклічних вуглеводнів, важких металів тощо. Розподіл викидів твердих речовин в атмосфері за основними джерелами їх виділення наступні (%): вузли розсівання і пневмотранспорт каталізатора – 29,5; регенератори установок каталітичного крекінгу – 23,3; факельні стояки – 4,7; вентиляційні системи – 0,7. Отже, з метою зменшення техногенного навантаження даного заводу на навколишнє середовище необхідно застосовувати спеціальні засоби та заходи щодо зменшення негативного впливу НПЗ на навколишнє середовище. До заходів зі зниження викидів шкідливих речовин у запропонованому проекті заводу відносять: вдосконалення технологічних процесів і впровадження маловідходних і безвідходних технологій; зміна складу і поліпшення якості використовуваних ресурсів; комплексне використання сировини та зниження споживання ресурсів, виробництво яких пов'язане із забрудненням навколишнього середовища; зміна складу та поліпшення якості продукції, яка випускається (неетильовані бензини, малосірчисті палива і т.д.); очищення промислових газів, які викидаються.

При розгляді технологічних заходів щодо зниження викидів шкідливих речовин їх прийнято розбивати на групи відповідно до того, викидам яких речовин вони запобігають.

Зниження викидів SO₂ і H₂S. Для зниження викидів діоксиду сірки з димовими газами основними методами захисту у даному запропонованому проекті НПЗ будуть наступні: використання малосірчистих залишкових палив; збільшення частки газу в паливі; очищення паливних газів.

Зменшення викидів SO₂ досягається використанням газу, очищеного від сірчистих сполук, і малосірчистого мазуту власного виробництва. Для зменшення викиду на даному НПЗ проектом передбачено використання установки виділення H₂S на установці очищення газів МЕА.

Оксид вуглецю (II). До заходів, проведених щодо зниження викидів оксиду вуглецю (II), відносяться: каталітичне дожигпалювання відхідних газів; утилізація великих кількостей газу в котлах-утилізаторах; допалювання відхідних газів в регенераторі на базі застосування промотуючих добавок до основного каталізатора процесу крекінгу. Із зростанням частки важкої і залишкової сировини в загальному обсязі сировини каталітичного крекінгу, а також з посиленням екологічних вимог, актуальність проблеми скорочення шкідливих викидів в атмосферу на цих установках зростає. Одним з найбільш раціональних і перспективних способів вдосконалення процесу регенерації є регульоване окиснення CO і зв'язування SO₂ в обсязі регенератора за допомогою спеціальних каталізаторів.

Зниження викидів оксиду вуглецю на установках каталітичного крекінгу досягається допалюванням відхідних газів, здійсненням повного допалювання безпосередньо в регенераторі на базі застосування промотуючих додатків до основного каталізатора (благородний метал на оксиді алюмінію). Концентрація CO у відхідних газах знижується при цьому від 10 до 0,1 %.

Вирішення поставлених завдань. Отже, можна виділити основні способи зниження рівня забруднення атмосфери при зберіганні нафт і нафтопродуктів на заперктованому заводі:

- забезпечення стабілізації бензинових компонентів та інших легких фракцій, що виробляються на заводах і які скеровуються для зберігання в резервуари. Причинами незадовільної роботи системи стабілізації бензинових компонентів можуть бути: низький тиск в стабілізаторах і недостатнє кількість ректифікаційних тарілок, малий діаметр апарату, низька температура нагрівання продукту, порушення технологічного режиму роботи;

- забезпечення охолодження світлих продуктів, які скеровуються в резервуари для зберігання, до мінімально можливої температури, для чого необхідно споруджувати додаткові кінцеві холодильники. Дослідження показали, що за зниження на 10-15 °С температури охолодження світлих продуктів перед поступанням їх в резервуари для зберігання втрати від "подихів" резервуарів зменшуються в 1,5-2,5 рази;

- використання резервуарів з плаваючим дахом. У резервуарі з плаваючим дахом немає газового простору над продуктом. Виключені втрати від "подихів". Резервуари подібних конструкцій можуть бути великої ємності, що дає значну економію капітальних затрат на їх спорудження, а також додаткове скорочення втрати продукту при малих "диханнях";

- обладнання діючих резервуарних парків спеціальними системами уловлювання випаровуються з резервуарів парів нафтопродуктів: адсорбцією парів на активованому вугіллі з циклічною вакуумною регенерацією останніх і поглинанням десорбованих парів потоком бензину; адсорбцією парів бензином за знижених температур; спалюванням пари, що виділяється.

З хімічними методами переробки вуглеводневої сировини, особливо каталітичними, крім вище вказаних забруднювачів атмосфери, пов'язаний і викид пилоутворюючих речовин.

Нами пропонується на установках каталітичного крекінгу застосувати двоступінчасті системи циклонів в регенераторі та одноступінчасті – в реакторі. При цьому вимоги технології (наприклад максимальний вміст легких фракцій лімітується величиною механічних домішок у важких продуктах крекінгу) вимагають цілком певної ефективності каталітичних систем і зумовлюють рівень втрат каталізатора в атмосферу.

Підвищення ефективності роботи факельної системи, зменшення об'ємів газів, що скидаються на факел, і повернення їх у виробництво – одне з актуальних завдань нафтопереробки. Скидання газів при пуску установок, в аварійних ситуаціях і порушення технологічних режимів поки що неминучий. При цьому склад і обсяги газів можуть сильно

відрізнятися. Факельна установка завжди повинна бути готова до прийому та знешкодження аварійних та періодичних скидів, тому вона оснащена пілотними пальниками. Постійні скиди повинні збиратися на установці утилізації і повертатися на переробку або використовуватися в якості паливного газу.

Вплив стічних вод нафтопереробних підприємств на гідросферу. Технологічні установки та інші виробничі об'єкти переробки вуглеводневих систем є джерелами забруднення водного басейну не тільки нафтопродуктами, а й іншими речовинами і сполуками. Основними джерелами забруднення водного басейну є промислові стоки з різних установок НПЗ.

Під час зберігання і переробки нафти і нафтопродуктів, проміжних і побічних продуктів відбувається неминуче забруднення використовуваної води вуглеводнями, твердими частинками металів та іншими компонентами. Основними джерелами забруднення води нафтопродуктами є нещільності в різних з'єднаннях технологічних ланцюжків, витіки з сальників насосів, технологічні конденсати, атмосферні опади, що контактують з потоками на технологічних майданчиках.

Склад стічних вод нафтопереробних підприємств різних профілів за основними показниками відрізняється незначно. Кількість зворотних вод у розрахунку на 1 т нафти, що переробляється може досягати 30-40 м³. Велика їх частина (90-95 %) перебуває в обороті, так як проходить відповідне очищення. Тому кількість власне стічних вод на підприємствах становить зазвичай 1-2 м³ на 1 т нафти.

Стічні води НПЗ відводять по двох системах каналізації. У першу систему включають маломінералізовані стоки і дощові води. Після очищення ці стічні води повертаються для повторного використання. Надлишок води (під час злив) скеровуються в аварійні накопичувачі та після очищення скидаються у водойму.

У другу систему каналізації входять кілька (від 5 до 7) мереж, що транспортують стічні води від окремих цехів і установок. Ці води сильно мінералізовані, забруднені токсичними речовинами і в обороті не використовуються. За необхідності вони можуть піддаватися локальному очищенню від специфічних забруднень.

Стоки нафтопереробних підприємств різняться більш складним складом, ніж сама нафта та продукти її переробки, і включають різноманітні токсичні сполуки, зокрема пропан, бутан, етилен, фенол, бензол та інші вуглеводні. Ці стоки, потрапляючи в природні води, негативно впливають на гідробіоти та водні рослини.

Позначається прямий токсичний вплив компонентів стічних вод на гідробіоти.

Збільшення вмісту вуглеводнів у воді веде до зниження вмісту кисню, що утруднює дихання водних організмів, порушує процеси окиснення.

Впровадження хімічних речовин, що містять поліциклічні ароматичні вуглеводні, змінює смак їстівних організмів, крім того, це небезпечно, тому що подібні речовини є канцерогенними.

Ефект довгострокових впливів безпосередньо не виявляється і зазвичай носить кумулятивний характер. Ці ефекти можуть бути викликані періодичним введенням речовин з великим часом «біорозкладання» або безперервним введенням стійких або нестійких речовин; вони залежать від реакційної здатності цих речовин.

Риби накопичують значні кількості токсичних речовин, які, просуваючись харчовими ланцюгами, можуть дійти до людини.

Таким чином, одним з найважливіших аспектів захисту екологічної чистоти гідросфери підприємствами нафтопереробної промисловості є питання вдосконалення структури водоспоживання та водоскидання.

Заходи щодо зниження шкідливого впливу стічних вод НПЗ на гідросферу. Для НПЗ запропонована раціональна схема водопостачання і каналізації, в основу яких покладені наступні принципи:

- максимально можливе зменшення водоспоживання за рахунок застосування повітряного охолодження;
- мінімальне споживання свіжої води;
- повторне використання очищених виробничих і зливових стічних вод;
- мінімальне скидання стічних вод у водойму.

До складу комплексу очищення стічних систем входять послідовно працюючі такі споруди: піскоуловлювачі, нафтопастки, відстійники, піщані фільтри або напірні флотаційні установки із застосуванням реагенту. У схемі очищення стічних вод важливе значення мають споруди фізико-хімічного очищення стічних вод, основне призначення яких – можливо повне вилучення

з води, що очищається від тонкоемальгованих нафтопродуктів і завислих речовин.

Забруднення літосфери нафтопереробним підприємством. Технологічне забруднення ґрунту нафтою і нафтопродуктами є вкрай небезпечним явищем, загрозою для флори, фауни і здоров'я населення. Крім того, існує пожежонебезпека твердих нафтовмісних відходів. В результаті експлуатації підприємств відбувається забруднення ґрунтів і підземних вод. Це призводить до безповоротних втрат дорогих дефіцитних нафтопродуктів. Потрапляючи у ґрунтові води, нафтопродукти можуть спільно з ними виходити на поверхню і стати причиною небезпечної ситуації.

До числа твердих відходів на даному НПЗ, забруднюючих літосферу, зокрема, пожежонебезпечними компонентами, є: різні хімічні продукти; адсорбенти, що не підлягають регенерації; зола і тверді продукти, що виходять в процесі термічної обробки стічних вод; різні опади; смоли; пил, що утворюється під час очищення викидів, та ін.

Зниження екологічного навантаження нафтопереробних підприємств на літосферу. Тверді домішки, присутні в переробці та допоміжних матеріалах на заводах нафтопереробної промисловості, що призводять до утворення нафтових шламів. Такі шлами представляють собою важкі нафтові залишки, що містять в середньому 10-56 % нафтопродуктів, 30-85 % води і 1,3-46 % твердих домішок.

Найпоширенішим способом утилізації та знешкодження нафтових шламів є їх спалювання в печах різної конструкції (камерних, киплячого шару, барабанних та ін.). Розроблено ряд технологій переробки нафтошламів, основними напрямками яких були: обробка стійких пасткових емульсій з підвищеним вмістом механічних домішок, що дозволяє виділяти з нафтової фази механічні домішки; розрідження і попереднє очищення багаторічних відкладень нафтошламів, ґрунту від твердих включень і трав'яного сміття; переробка високов'язких нафтошламів за комбінованою технологією з використанням прес-фільтрів безперервної дії; розробка технології застосування виділених на прес-фільтрах концентрованих залишків в якості сировини для отримання надлегкого керамзиту і керамзит-бетону, а також технології застосування води, виділеної в процесі переробки шламів, для закачування в нафтові пласти при розробці нафтових родовищ.

Також під час забезпечення діяльності роботи НПЗ використовується спецавтотранспорт, що також є джерелом шкідливих викидів в атмосферу. Адже нафтові палива належать до основних джерел забруднення навколишнього середовища. Так, з продуктами згоряння палив в атмосферу щорічно викидається (млн. т): близько 80 – оксидів сірки, 30-50 – оксидів азоту, 300 – оксиду вуглецю, 10-15 млрд. т – вуглекислого газу. Прийняття нових екологічних норм настільки сильно впливає на стан багатьох галузей промисловості, що вимагає істотних змін технології виробництва моторних палив.

На заводі передбачено ряд процесів, що поліпшують якість бензинів і, таким чином, зменшують шкідливий вплив на навколишнє середовище. При цьому отримують бензини оптимального фракційного складу, з вмістом бензолу менше 1 %, ароматики менше 35 %, сірки менше 0,001 %.

Підвищення екологічності реактивного палива. Екологічність реактивних палив визначається вмістом ароматичних вуглеводнів, смол, загальної та меркаптанової сірки. Продукти згорання ароматичних і сіркоорганічних сполук сприяють руйнуванню озонового шару земної атмосфери. Для зниження вмісту сірки і ароматичних вуглеводнів в реактивних паливах передбачений процес гідроочищення бензинокеросинових фракцій.

Підвищення екологічності дизельного палива. З прийнятих в процесі переробки вуглеводневих систем технологій на заводі, який проектується, використані ефективні способи зниження вмісту сірки в дизельному паливі. Це процеси гідрощення гідрокрекінгу і гідродароматизації. Ці процеси забезпечують істотне зниження вмісту ароматичних вуглеводнів. Гідроочищення фракцій і підвищення стабільності нафтопродуктів проводять

шляхом вилучення сірко-, азот-, кисневмісних і металоорганічних сполук. При цьому відбувається насичення алканів і ароматичних вуглеводнів.

Підвищення екологічності котельного палива. Продукти згорання котельних палив є потужним джерелом забруднення навколишнього середовища оксидами сірки, азоту, важких металів. Тому на заводі виробництво малосірчистих котельних палив базується головним чином на застосуванні процесів гідрокрекінгу гудрону. При цьому, крім бензину і дизельного палива, виходить малосірчисте котельне паливо.

Наступним етапом роботи був розрахунок кількісних показників викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище на даному нафтопереробному заводі продуктивністю 6 млн. т/рік, де переробляються нігерійські нафти. Адже, як відомо, робота нафтопереробного заводу неможлива без втрат частини вуглеводнів. Кількість цих втрат залежить від багатьох чинників, основними з яких є характеристика нафти і нафтопродуктів, кліматичні умови в даному регіоні, технологічні аспекти виробничого циклу, особливості обслуговування технологічного обладнання при нормальній експлуатації і під час планових ремонтів тощо.

При виконанні роботи розраховували втрати вуглеводнів на різних етапах переробки нафти, під час зберігання нафти і нафтопродуктів, їх транспортування та ін.

Залежно від природи походження загальна заводські втрати вуглеводнів (нафтопродуктів) діляться на такі основні групи:

1. Втрати з резервуарних парків;
2. Втрати з транспортних ємностей;
3. Втрати з очисних споруд.
4. Втрати з блоків зворотного водопостачання (БОВ);
5. Втрати при роботі вакуумстворюючої апаратури;
6. Втрати при роботі технологічних насосів та компресорів;
7. Технологічні втрати;
8. Втрати під час проведення ремонтних робіт.

При розрахунках враховується середній атмосферний тиск для умов проектного нафтопереробного заводу, що складає 750 мм рт.ст., та середньорічні температури.

Середньорічні температури по всій країні перевищують +25 °С. На півночі найгарячіші місяці – березень-червень, на півдні – квітень, коли температура сягає +30–32 °С.

Розрахунок втрат з резервуарних парків. Для проведення розрахунку втрат була прийнята наступна структура резервуарних парків на НПЗ. Сира нафта, що надходить на завод, знаходиться в сировинному резервуарному парку. У товарному резервуарному парку знаходяться групи резервуарів компонентів бензину, компонентів дизельного палива, резервуари товарних бензинів, дизельного і реактивного палив, а також резервуари олив. Крім цього до складу товарного резервуарного парку входить група мазутних резервуарів (резервуари котельного палива). Крім сировинних і товарних резервуарів до складу НПЗ обов'язково входять резервуари прямогонних нафтових фракцій, що входять до складу проміжних резервуарних парків (промпарків). Це група резервуарів прямогонного бензину, прямогонної реактивної та дизельної фракції, а також резервуари вакуумного газойлю до і після гідроочищення.

Характеристика резервуарів подається в табл. 1. Всі резервуари працюють в режимі «мірник» в умовах атмосферного робочого тиску. Сировинні (нафтові) резервуари обладнані плаваючим дахом; всі інші обладнані понтонами. Обсяг і кількість резервуарів брали залежно від річного завантаження.

Втрати з резервуарів з нафтопродуктами відбуваються за рахунок великого і малого «дихання». Велике «дихання» має місце при закачуванні нафтопродукту в резервуар. При цьому відбувається витіснення з резервуара повітря в суміші з парами нафтопродукту (пароповітряної суміші) через дихальні клапани або вентиляційні патрубки. Склад пароповітряної суміші залежить від характеристики самого продукту (фракційний склад, тиск насиченої пари), а також від умов закачування (температура закачування нафтопродукту і навколишнього середовища, інтенсивність і періодичність закачування і т.д.). Основна частина втрат з резервуарів пов'язана саме з великим «диханням». Мале «дихання» резервуарів

пов'язане зі зміною температури навколишнього середовища протягом доби: при підвищенні температури тиск у резервуарі підвищується і частина пароповітряної суміші з резервуара витісняється, а при зниженні навпаки – тиск зменшується і в резервуар всмоктується повітря.

Втрати з резервуарів розраховували згідно з РД-17-86 – Методичні вказівки з розрахунку валових викидів шкідливих речовин в атмосферу для підприємств нафтопереробки і нафтохімії.

Відповідно до цієї методики річні втрати нафтопродуктів з резервуарів з нафтою і легкими фракціями визначаються складанням кварталних втрат, які розраховуються за формулою (1):

Таблиця 1 Характеристика резервуарів НПЗ

№ п/п	Нафтопродукт	наявність понтона або плаваючою даху	Об'єм, м ³	Кількість
1	Нафта	пл. дах	50000	6
2	Фракція н.к.-85 С	понтон	2000	3
3	Каталізатор риформингу	понтон	10000	4
4	Бензин гідрокрекінгу	понтон	5000	3
5	Легкий алкілат	понтон	2000	3
6	Крекінг-бензин	понтон	5000	3
7	Стабільний газовий бензин	понтон	1000	2
8	Прямогонний бензин	понтон	10000	6
9	Товарі бензини	понтон	10000	8
10	Гідроочищене диз.паливо	понтон	10000	4
11	Відгін гідроочищення вакуумного газойлю	понтон	1000	2
12	Крекінг-газойль	понтон	5000	3
13	Тяжкий алкілат	понтон	1000	2
14	Диз. фр. Гідрокрекінгу	понтон	5000	4
15	Прямогонне диз.паливо	понтон	10000	4
16	Товарне диз.паливо	понтон	10000	6
17	Прямогонне реактивне паливо	понтон	5000	4
18	Товарне реактивне паливо	понтон	5000	4
19	Котельне паливо	нема	2000	4
20	Вакуумний газойль	нема	5000	4
21	Гідроочищений вакуумний газойль	нема	5000	4
22	Оливні резервуари	нема	5000	4

$$P_{рез.}^{кв} = V_{кв}^i \cdot \frac{P_{нас.}^{г.п.}}{P_{атм.}^{г.п.}} \cdot \rho_{сер}^{г.п.} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де $V_{кв}^i$ – обсяг нафтопродукту, що надходить в резервуар або групу одноцільових резервуарів за відповідний квартал, м³;

$P_{нас.}^{г.п.}$ – тиск насичених парів вуглеводнів в газовому просторі резервуара при середньоквартальній температурі газового простору, мм рт.ст. ;

$P_{атм.}^{г.п.}$ – середній барометричний тиск в газовому просторі резервуара, мм рт.ст. ;

$\rho_{сер}^{г.п.}$ – середня щільність парів нафтопродукту в газовому просторі резервуара, кг/м³;

K_1 – коефіцієнт, що характеризує питомі втрати вуглеводнів з урахуванням середньоквартальної оборотності резервуара;

K_2 – коефіцієнт, що враховує наявність технічних засобів скорочення втрат від випаровування і режим експлуатації резервуара;

K_3 – коефіцієнт, що враховує вплив кліматичних умов на випаровування.

Середньоквартальна температура газового простору резервуара визначалася як середнє значення між температурою нафтопродукту в резервуарі і температурою атмосферного повітря. Тиск насичених парів нафтопродуктів приводиться до середньоквартальної температури газового простору. Густина парів нафтопродуктів розраховується залежно від молекулярної маси парів, а також від середньоквартальних температур і тиску в резервуарі. Коефіцієнти K_1 , K_2 , K_3 визначають за таблицями (РД-17-86 «Методичні вказівки з розрахунку валових викидів шкідливих речовин в атмосферу для підприємств нафтопереробки і нафтохімії») залежно від конструкції і режиму роботи резервуара.

Для резервуарів з гасом, дизельним паливом і темними нафтопродуктами втрати вуглеводнів розраховують як суму втрат за 6 найбільш теплих і 6 найбільш холодних місяців в році, що розраховуються за формулою:

$$P_{рез.}^{m(x)} = V^{m(x)} \cdot C_e^{m(x)} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

де $V^{m(x)}$ – обсяг нафтопродукту, що надходить в резервуар або в групу одноцільових резервуарів протягом теплою (холодною) періоду року, м³;

$C_e^{m(x)}$ – масова концентрація насичених парів при середній температурі газового простору резервуара за певний період року, г/м³;

K_1 - коефіцієнт, що характеризує питомі втрати вуглеводнів з урахуванням середньоквартальної оборотності резервуара; K_2 - коефіцієнт, що враховує наявність технічних засобів скорочення втрат від випаровування і режим експлуатації резервуара.

Також було розрахунок втрат вуглеводнів з транспортних ємностей. Адже значна частина втрат має місце під час завантаження товарних нафтопродуктів у транспортні ємності (залізничні або автоцистерни) і вивантаженні сировини з них. Місце, де губляться нафтопродукти – зливо-наливні естакади. При наливанні нафтопродуктів в цистерни з них виходить пароповітряна суміш з певним вмістом вуглеводнів (за аналогією з великими «диханнями» резервуарів). Втрати вуглеводнів залежать від характеристики нафтопродукту, метеоумов, а також від технології наливання нафтопродукту в транспортну ємність. При зливанні нафти з цистерн частина вуглеводнів переходить в парову фазу і залишається в обсязі транспортної ємності. Під час відвантаження зріджених газів певна їх кількість залишається в наливних рукавах. Після заправки транспортної ємності і від'єднання рукавів ці залишки випаровуються. Ще однією причиною втрат можуть бути аварійне розливання нафтопродуктів під час зливання або відвантаження нафтопродуктів. Приймаємо, що в нашому випадку нафта надходить на завод у залізничних цистернах. Товарні нафтопродукти на НПЗ також відвантажуються в залізничні цистерни. Для транспортування нафтопродуктів і нафти застосовуються стандартні залізничні цистерни типу 62 ($L = 10,77$ м, $D = 3$ м, $V = 73,175$ м³), типу 53 ($L = 10,62$ м, $D = 3$ м, $V = 72,260$ м³). Приймаємо, що відвантаження нафтопродуктів у залізничні цистерни здійснюється закритим методом під шар нафтопродукту. Зливання нафти здійснюється відкритим методом. Тривалість операції заповнення залізничних цистерн (тип 62 та 53) складає 30 хв. Для відвантаження зріджених газів в залізничні цистерни використовується закрыта система. Довжина заправних рукавів – 8 м, діаметр – 85 мм. Заправні рукави укомплектовані додатковими вентилями, тому втрати рідких вуглеводнів під час заправки практично відсутні. Втрати при кожній заправці - від звільнення газоурівненої лінії (діаметр – 35 мм, довжина – 6 м). «Мертві залишки» при зливі транспортних ємностей відсутні; пропарювання цистерн не проводиться. Приймаємо, що втрати від аварійного розливання нафти і нафтопродуктів на заводі відсутні. Втрати світлих нафтопродуктів від випаровування при наливанні в транспортні ємності розраховували згідно РД-17-86 за формулою (3):

$$P = K_n \cdot K_p \cdot V_n \cdot \frac{P_{нас.}}{P_0} \cdot \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_n} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де K_n - коефіцієнт, що залежить від тривалості та умов наливання;

K_p - коефіцієнт, залежить від тиску в газовому просторі ємності;
 V_n - об'єм нафтопродукту, що відвантажується в транспортні ємності за певний період часу;
 $P_{нас}$ - тиск насичених парів при середній температурі нафтопродукту, мм рт.ст. ;
 P_0 - атмосферний тиск, мм рт.ст. ;
 t_n - середня за розрахунковий період температура нафтопродукту, °С;
 $T_0 = 273$ °С;
 ρ_0 - густина парів нафтопродукту при температурі t_n кг / м³.

Густина парів нафтопродуктів розраховується залежно від молекулярної маси парів, середньої температури і тиску в ємності. Тиск насичених парів перекладається на робочу температуру. Коефіцієнти K_n і K_p визначаються за РД-17-86.

Визначення втрат при наливанні в транспортні ємності дизельного і реактивного палива, а також темних нафтопродуктів проводили згідно РД-17-86 за формулою (4):

$$П = V^{m(x)} \cdot C_e^{m(x)} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

де $V^{m(x)}$ - обсяг нафтопродукту, який закачують в транспортні ємності протягом теплого (холодного) періоду року, м³;
 $C_e^{m(x)}$ - масова концентрація насичених парів при середній температурі газового простору ємності за певний період року, г / м³;
 K_1 - коефіцієнт, що характеризує питомі втрати вуглеводнів з урахуванням періодичності завантаження транспортних ємностей;
 K_2 - коефіцієнт, що враховує наявність технічних засобів скорочення втрат.

Масову концентрацію парів нафтопродуктів і коефіцієнти K_1 , K_2 визначали згідно з РД-17-86.

Втрати нафти при зливанні з залізничних цистерн розраховували згідно з методикою УкрНТЕК (м. Донецьк) за формулою (5):

$$П = 0,2485 \cdot V_n \cdot P_{нас.(38)} \cdot M_n \cdot (K_{5x} + K_{5m}) \cdot 10^{-9}, \quad (5)$$

де V - об'єм нафти, що зливається з цистерн за розрахунковий період, м³;
 $P_{нас.(38)}$ - тиск насичених парів нафти при температурі 38 °С, гПа;
 M_n - середня молекулярна маса парів нафти;
 K_5 - коефіцієнт, що залежить від тиску насичених парів нафти і температури газового простору транспортної ємності. Зазначені величини розраховуються або визначаються з використанням збірника методик УкрНТЕК (м. Донецьк).

Наступним етапом роботи був розрахунок втрат з очисних споруд. Очисні споруди проектного НПЗ складаються з установок механічного, хімічного та біологічного очищення стічних вод. Після очисних споруд стічні води з допустимим вмістом забруднюючих речовин (вуглеводнів) виводяться за територію заводу.

Втрати з очисних споруд можна розділити на 3 частини:

- втрати через об'єкти, що мають дзеркало випаровування (нафтовловлювачі, відстійники, шламонакопичувачі);
- втрати з установки біологічного очищення стічних вод;
- втрати зі стічними водами (частина вуглеводнів виноситься за територію підприємства разом зі стічними водами).

Втрати з відкритих об'єктів очисних споруд розраховували згідно РД-17-86 за формулою (6):

$$П_i^{mn} = F_i \cdot q_i^{mn} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6)$$

де F_i - площа поверхні рідини відкритих об'єктів очисних споруд, м²;
 $q_{інт}$ - питомі втрати вуглеводнів з поверхні об'єкта, кг/(час · м²);
 K_1 - коефіцієнт, що враховує ступінь укриття відкритій поверхні об'єкта;
 K_2 - коефіцієнт, що враховує ступінь укриття об'єкта зі сторін.

Втрати вуглеводнів з об'єктів біологічного очищення стічних вод згідно з РД-17-86 рекомендовано приймати 3,8 % від сумарних втрат об'єктів механічного очищення.

Далі були визначені втрати з блоків оборотного водопостачання. На проєктованому НПЗ передбачена система циркуляції оборотної води, яка використовується в технологічних холодильниках для охолодження матеріальних потоків різних процесів переробки нафти. Блоки оборотного водопостачання обслуговують технологічні процеси по групах і складаються з нафтових пасток закритого типу і градирень для охолодження оборотної води. Нафтопродукти з нефтеловушек повертаються в сировинні резервуари і направляються на повторну переробку. Тому втрати з блоків оборотного водопостачання зводяться до втрат з градирень.

Втрати з градирень оборотного водопостачання розраховували згідно з РД-17-86 за формулою (7):

$$P_{i}^{mn} = L_i \cdot q_i^{mn}, \quad (7)$$

де L_i – продуктивність градирні по воді, м³ / год;
 q_i^{mn} – питомі втрати вуглеводнів з градирні, кг/м³.

5.3.5 Втрати при роботі вакуумстворюючої апаратури. Втрати при роботі апаратури для створення вакууму мають місце на вакуумному блоці установки АВТ. Вони пов'язані з викидом певної кількості газової фази з системи в атмосферу. Крім цього частина вуглеводнів розкладається внаслідок дії високої температури з утворенням газів розкладання.

Втрати з вакуумстворюючої апаратури розраховували згідно з РД-17-86 за формулою (8):

$$P_{i}^{mn} = G_c \cdot q_i, \quad (8)$$

де G_c – продуктивність вакуумної колони по сировині, т / год;
 q_i – питомі витрати, кг/т.

Наступним етапом був розрахунок втрат під час роботи технологічних насосів та компресорів. В цей час мають місце втрати вуглеводнів. Вуглеводні губляться внаслідок проходження незначної їх кількості через сальникові ущільнення насосів і компресорів.

Насосно-компресорне обладнання проєктованого НПЗ знаходиться в приміщеннях технологічних насосних і компресорних, а також на відкритих майданчиках. Приймаємо, що технологічні насоси та компресори, що обслуговують установки з переробки нафти знаходяться в закритих насосах, а насоси загальнозаводського господарства – в насосах відкритого типу.

Виробничі приміщення (технологічні насосні і компресорні) обладнані системами припливно-витяжної вентиляції.

Для проведення розрахунку втрат з технологічних насосів і компресорів закритого типу приймаємо концентрацію вуглеводнів у робочій зоні, яка знаходиться в допустимих межах (до 300 мг/м³).

Річні втрати вуглеводнів при роботі насосів та компресорів, які знаходяться в технологічних насосах закритого типу визначали згідно з РД-17-86 за формулою (9) :

$$P_{i}^{mn} = C_c^{p3} \cdot K \cdot \Sigma G_g \cdot 10^{-6}, \quad (9)$$

де C_c^{p3} – середня концентрація вуглеводнів в робочій зоні, мг/м³;

K – поправочний коефіцієнт, який залежить від типу насосів;

ΣG_g – сумарне виробництво вентиляційних установок, м³/год.;

Річні втрати відкритих насосів приймаються згідно середньостатистичних даних інвентаризації викидів на НПЗ.

Технологічні втрати. Під час нормальної роботи всіх без винятку технологічних установок з переробки нафти мають місце технологічні втрати. Вони пов'язані зі специфікою роботи кожної установки окремо.

Технологічні втрати умовно можна розділити на такі групи:

- втрати через нещільності з'єднань технологічних апаратів, трубопроводів, арматури (в основному фланцевих). При цьому частина вуглеводнів втрачається безпосередньо на апаратних дворах установок;

- втрати вуглеводнів у кожухотрубчастих холодильниках внаслідок їх часткового переходу в охолоджуючу воду (враховується при розрахунку втрат з блоків оборотного водопостачання);
- втрати, пов'язані з утворенням коксу на поверхні каталізаторів термokatалітичних і гідрогенізаційних процесів переробки нафти;
- втрати, пов'язані з утворенням відходів;
- втрати від спрацювання запобіжних клапанів;
- втрати при проведенні передбачених регламентом технологічних операцій (періодичний дренаж окремих апаратів тощо).
- інші втрати.

Визначення технологічних втрат є надзвичайно складним завданням, оскільки вимагає проведення розрахунку щільності практично кожного роз'ємного з'єднання, проведення великої кількості вимірів концентрації вуглеводнів в повітрі робочої зони; наявності абсолютно точних статистичних даних по окремих групах втрат (спрацювання запобіжних клапанів та ін.). Тому річні технологічні втрати розраховували згідно з РД-17-86 за формулою (10) :

$$P = K_0 \cdot K_1 \cdot \sqrt{G}, \quad (10)$$

де K_0, K_1 – коефіцієнти, які залежать від типу виробництва технологічної установки;
 G – виробництво установки, кг/год.

Крім цього існує кілька особливих категорій втрат вуглеводнів в процесі технологічного циклу. До них відносяться втрати паливної системи – газ, що направляється на пілотні пальники загальнозаводського факела; втрати вуглеводнів в лабораторії (вуглеводні для проведення лабораторних аналізів). Ці втрати приймаються з практичними даними для типових НПЗ.

При проведенні планових попереджувальних ремонтів (ППР) мають місце втрати значної кількості вуглеводнів. Ці втрати можна розділити на наступні групи:

- втрати при проведенні зачищення резервуарів;
- втрати при звільненні та дегазації обладнання перед проведенням ППР;
- втрати при продуванні обладнання і трубопроводів;
- втрати при пресуванні обладнання. Ці втрати приймаються згідно з практичними даними по роботі існуючих НПЗ.

Розрахунок загальнорічних втрат вуглеводнів на спроектованому НПЗ наводиться у вигляді таблиці 2 (табл.2).

Таблиця 2 Річні втрати вуглеводнів на НПЗ

Група втрат вуглеводнів	Річні втрати	
	т/рік	% на сировину
Втрати з резервуарів:	13414,00	0,2236
резервуари нафти і бензину	13308,00	11090,044
резервуари дизельних палив і темних нафтопродуктів	34,74	88,0419
Втрати з транспортних ємностей	3792,30	0,0632
транспортні ємності світлих нафтопродуктів	3747,70	0,0625
транспортні ємності темних нафтопродуктів	28,976	0,0005
зливання нафти	15,605	0,0003
Втрати на очисних спорудах	624,90	0,0104
Втрати на блоках оборотного водопостачання	966,68	0,0161
Втрати при роботі вакуумстворюючої апаратури	1015,50	0,0169
Втрати насосно-компресорного обладнання	1175,60	0,0196
насосні закритого типу	618,89	0,0103

Продовження табл.2

насосні відкритого типу	308,40	0,0051
компрессорные закрытого типа	248,35	0,0041
Технологічні втрати	64753,00	1,0930
Нормативні втрати при роботі установок	9819,50	0,1637
Кокс-випалювальні установки каталітичного крекінгу	54720,00	0,9120
Втрати газу на пілотних пальниках факелу	207,36	0,0173
Втрати вуглеводнів у лабораторії	6,60	0,0001
Втрати при проведенні ППР	940,80	0,0225
Втрати при проведенні зачищення резервуарів	660,00	0,0110
Втрати при вивільненні технологічного обладнання	102,60	0,0085
ПродоВтрати при продуванні технологічного обладнання	46,20	0,0008
Втрати при відпресовуванні технологічного обладнання	132,00	0,0022
Загальні річні втрати	86683,00	1,4653

Таблиця 3 Річні втрати вуглеводнів на НПЗ

Група втрат вуглеводнів	Річні втрати	
	т/рік	% на сировину
Втрати з резервуарів:	11118,994	0,2236
резервуари нафти і бензину	11090,044	11090,044
резервуари дизельних палив і темних нафтопродуктів	28,950	88,0419
Втрати з транспортних ємностей	3160,249	0,0633
транспортні ємності світлих нафтопродуктів	3123,098	0,0625
транспортні ємності темних нафтопродуктів	24,147	0,0005
зливання нафти	13,004	0,0003
Втрати на очисних спорудах	520,747	0,0104
Втрати на блоках оборотного водопостачання	805,570	0,0161
Втрати при роботі вакуумстворюючої апаратури	846,216	0,0169
Втрати насосно-компресорного обладнання	979,700	0,0196
насосні закритого типу	515,745	0,0103
насосні відкритого типу	257,000	0,0051
компрессорные закрытого типа	206,955	0,0041
Технологічні втрати	53961,221	1,0930
Загальні річні втрати	71392,675	1,4429

Висновки. Річні втрати на розроблювальному НПЗ становлять $\approx 1,47\%$, що знаходиться на рівні втрат на найсучасніших нафтопереробних заводах світу. Основну частку у втратах

складають технологічні втрати за рахунок випалу коксу на установці каталітичного крекінгу, які уникнути неможливо.

Список використаної літератури

1. Петро Топільницький, Олег Гринишин, Остап Мачинський. Технологія первинної переробки нафти і газу. Підручник для студ. ВНЗ Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2014 – 488 с.
2. Бабаджанова О.Ф., Васійчук В.О. Негативний вплив нафтопродуктів на довкілля // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: І міжн. конгрес: зб. мат. – Львів, 2009. – С. 83 –84.].
3. Ісаєнко В. М., Криворотько В. М., Франчук Г. М. Екологія та охорона навколишнього середовища. Дипломне проектування: Навч. посіб. – К.: Книжне видавництво НАУ, 2006. – 192 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження КМУ від 15.03.2006, № 145.
5. Бойченко С. В. Рациональное використання вуглевод-невих палив / С. В. Бойченко. – К.: НАУ, 2001. – 216 с.
6. Бойченко С. В. Газ і мастильні матеріали / С. В. Бойченко С. В., В. Г. Моца, О. С. Тітова. – К.: НАУ, 2002. – 188 с.
7. Бойченко С. В. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів: навчальний посібник / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, В. Ф. Новікова, Й. А. Любінін, О. В. Полякова, М. В. Курбатова. – К.: НАУ, 2012. – 316 с.
8. Хіммотологія та інженерне забезпечення використання газу і паливно-мастильних матеріалів: навчальний посібник / С.В. Бойченко, Л.М. Черняк, Й.А. Любінін [та ін.]. – К.: НАУ, 2014. – 276 с.
9. Братичак М.М. Технологія нафти і газу / Братичак М.М., Гринишин О.Б. – Львів: В-во НУ «Львівська політехніка», 2002. – 179 с.
10. Вержичинская С.В. Химия и технология нефти и газа / Вержичинская С.В., Дигуров Н.Г., Синицин С.А. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 400 с.
11. Ibragim Asaad M. Ali. Innovative Technological Scheme of Iraq Oils Refining / Ibragim Asaad Ali, Sergii Boichenko, Viktoria Romanchuk, Mariia Boichenko, Olexandr Lazorko // Chemistry & Chemical Technology. – 2014. – Vol. 8. – №. 2. – P. 219–224.
12. Ибрагим Асаад М. Али. Сравнительный анализ свойств нефтей месторождений Ирака, России и Украины/ Ибрагим Асаад М. Али, Бойченко С. В., Кочирко Б. Ф. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2013. – № 9. – С. 7–12.

S. Boychenko , Professor, Doctor of Science (Engineering)

Head of department of ecology,

O. Puzik , master degree,

National Aviation University,

P. Topilnytskyi , Associate Professor,

assistant professor of chemical processing of oil and gas «**Lviv Polytechnic**»,

I. Chernyak, Associated Professor at Ecology Department,

V. Romanchuk, Candidate of Engineering Sciences, assistant department chair of chemical processing of oil and gas "**Lviv Polytechnic**"

O. Babatunde, post graduated student at ecology department,

Kazimierz Lejda, Professor, Doctor of Science (Engineering), Head of the Department of internal combustion engines and transport of **Rzeszow University of Technology (Poland)**

THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF REEFINERIES

The article describes and analyzes the potential impact of a typical oil refinery on the environment. Certain harmful substances emitted into the atmosphere by neftepererab consultation, their main sources and causes of releases to the environment. The calculation of gross emissions of harmful substances into the atmosphere for enterprises of oil refining. Also characterized by technological measures to reduce emissions of harmful substances and provides the basic tools to reduce the negative impact of the future of the refinery on the environment.

Keywords: pollutants, emissions, hydrocarbons, danger refinery.

С.В. Бойченко, д.т.н., профессор, заведующий кафедры экологии,
О.Г. Пузик О.Г., магистр,
Национальный авиационный университет
П.И. Топольницкий, к.т.н., доцент,
доцент кафедры химической переработки нефти и газа НУ «**Львовская политехника**»
Л.Н. Черняк, к.т.н., доцент, доцент кафедры экологии,
В.В. Романчук, к.т.н., ассистент кафедры химической переработки нефти и газа
НУ «**Львовская политехника**»,
О. Бабатунде, аспирант кафедры экологии,
Каземир Лейда, д.т.н., профессор,
Жешувская Политехника (Польша)

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО
ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

В статье рассмотрено и проанализировано возможное влияние типового нефтеперерабатывающего предприятия на окружающую среду. Определены вредные вещества, выбрасываемые в атмосферу на нефтеперерабатывающем предприятии, их основные источники и причины выбросов в окружающую среду. Выполнен расчет валовых выбросов вредных веществ в атмосферу для предприятия нефтепереработки. Также охарактеризованы технологические мероприятия по снижению выбросов вредных веществ и предложены основные средства для уменьшения негативного влияния будущего нефтеперерабатывающего завода на окружающую среду

Ключевые слова: вредные вещества, выбросы, углеводороды, опасность, нефтеперерабатывающий завод.

Надійшла 30.11.2016
Received 30.11.2016

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Для публікації в журналі "Енергетика: економіка, технології, екологія" приймаються статті, надруковані на стандартних аркушах паперу А4 (в 2-х примірниках), що супроводжуються електронною версією (Microsoft Word 2003 або 2007) на CD/DVD дисках, USB-флеш накопичувачах або надіслані електронною поштою.

Мова статті обирається автором. Параметри сторінки: поля верхні, нижні, ліві та праві – 2,5 см. Вирівнювання основного тексту – за шириною. Перші рядки всіх абзаців – з відступом 0,6 см, шрифт Times New Roman, кегль 10, інтервал 1. Назва статті друкується великими напівжирними літерами – кегль 14. Заголовки елементів основного тексту виділяються напівжирним шрифтом.

Структура статті: 1) номер УДК (у верхньому лівому кутку сторінки, напівжирним шрифтом); 2) ініціали, прізвища авторів (великими літерами) та відомості про авторів (науковий ступінь, вчене звання, посада, повна назва організації, адреса організації) - вирівнювання за правим краєм; 3) назва статті (у центрі); 4) реферат обсягом від 1000 до 1100 знаків повинен відображати короткий зміст статті, не повторювати назву, не містити загальних фраз та бути структурованим (мета дослідження, методика реалізації, результати дослідження, висновки, ключові слова (6–8 слів), словосполучення «Ключові слова» – напівжирним; 5) основний текст статті; 6) перелік літератури; 7) п.2, 3, 4, 6 – англійською мовою; 8) номер УДК, п.2,3,4 російською/українською, якщо основний текст представлено українською/російською мовою.

Відповідно до постанови Президії ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003р. до друку приймаються наукові статті, що мають такі елементи: **Вступ** (постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується зазначена стаття); **Мета та завдання** (формулювання цілей статті, постановка завдання); **Матеріал і результати досліджень** (виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів з можливим 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 загальноприйняту лексику перекладу наукових ступенів, вчених звань, посад та місця роботи. **Англomовна 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 англomовному 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: kravkpi@ukr.net