

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ  
УПРАВЛІННЯ ТА ПРИЛАДИ  
АВТОМАТИКИ**

**Всеукраїнський міжвідомчий  
науково-технічний збірник**

**Заснований в 1965 р.**

**Випуск 176**

Харків  
2019

В сборнике представлены результаты исследований, касающихся компьютерной инженерии, управления, технической диагностики, автоматизации проектирования, оптимизированного использования компьютерных сетей и создания интеллектуальных экспертных систем. Предложены новые подходы, алгоритмы и их программная реализация в области автоматического управления сложными системами, оригинальные информационные технологии в науке, образовании, медицине.

Для преподавателей университетов, научных работников, специалистов, аспирантов.

У збірнику наведено результати досліджень, що стосуються комп'ютерної інженерії, управління, технічної діагностики, автоматизації проектування, оптимізованого використання комп'ютерних мереж і створення інтелектуальних експертних систем. Запропоновано нові підходи, алгоритми та їх програмна реалізація в області автоматичного управління складними системами, оригінальні інформаційні технології в науці, освіті, медицині.

Для викладачів університетів, науковців, фахівців, аспірантів.

**Редакционная коллегия:**

*В.В. Семенец*, д-р техн. наук, проф. (гл. ред.), *В.М. Левыкин*, д-р техн. наук, проф. (отв. ред.), *М.В. Евланов*, д-р техн. наук, доц. (отв. секр.), *Е.В. Бодянский*, д-р техн. наук, проф., *И.В. Гребенник*, д-р техн. наук, проф., *А.Л. Ерохин*, д-р техн. наук, проф., *А.А. Каргин*, д-р техн. наук, проф., *А.И. Михалёв*, д-р техн. наук, проф., *И.Ш. Невлюдов*, д-р техн. наук, проф., *К.Э. Петров*, д-р техн. наук, проф., *Е.П. Пуятин*, д-р техн. наук, проф., *И.В. Рубан*, д-р техн. наук, проф., *В.А. Филатов*, д-р техн. наук, проф., *Г.З. Халимов*, д-р техн. наук, проф.

Свидетельство о государственной регистрации  
печатного средства массовой информации

КВ № 4619 от 18.10.2000г.

*Адрес редакционной коллегии:* Украина, 61166, Харьков, просп. Науки, 14, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, комн. 254, тел. 70-21-451

© Харківський національний університет  
радіоелектроніки, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>YEROKHIN A., ZATSERKLYANYI H., BABII A., TURUTA O., ZOLOTUKHIN O.</b> INFORMATION MODEL FOR HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES EVALUATION .....	4
<b>ВЫСОЦКАЯ Е. В., КЛИМЕНКО В. А., ПОРВАН А. П., ТРУБИЦИН А. А., ДОВНАРЬ А. И.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕБЕНКА С АТОПИЧЕСКИМ ДЕРМАТИТОМ.....	9
<b>МИХАЛЬОВ О.І., ЗИМОГЛЯД А.Ю., ГУДА А.І.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТОПОЛОГІЇ ВУСК ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАГРІВАЧЕМ У ВАКУУМІ.....	16
<b>ШЕРГИН В.Л., ЛЫМАРЕНКО Д.В., ПОЛИИТ М.Р.</b> МОДЕЛЬ ЭЛАСТИЧНОЙ МАСШТАБНО-ИНВАРИАНТНОЙ НЕОРИЕНТИРОВАННОЙ СЕТИ.....	27
<b>ГРИГОР'ЄВ О.В., ЩЕРБАКОВА Ю.О.</b> ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ДОБРОВІЛЬНОЇ І ОБОВ'ЯЗКОВОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	31
<b>ЛЕВИКІН В.М., ЗИБІНА К.В.</b> РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЛАНУ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ.....	36
<b>ЄРОХІН А. Л., ЗАЦЕРКЛЯНИЙ Г. А.</b> ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ПРОЦЕСУ .....	43
<b>БІЛОВА Т. Г.</b> ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ БАЗИ ДАНИХ СИСТЕМИ НАДАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ АДМІНІСТРАТИВНИХ ПОСЛУГ .....	49
<b>МАЛЬКОВА И. А.</b> МОДЕЛИ ШАБЛОНОВ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЗАТРАТ НА РЕАЛИЗАЦИЮ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.....	54
<b>ВОВК А.В., КУЗНЕЦОВА В.С.</b> МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ЗАГРУЗКИ САЙТОВ.....	58
<b>ДЯДЮН С.В.</b> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПІВ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ.....	62
<b>ШЕХОВЦОВА В.І.</b> ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ЛЮДСЬКИХ ЧИННИКІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ.....	74
<b>КАЛІТА Н.І., ПОНОМАРЬОВА С.В.</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АДАПТАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ КОМАНДИ.....	79
<b>РЕФЕРАТЫ</b> .....	84

*A. YEROKHIN, H. ZATSERKLYANYI, A. BABII, O. TURUTA, O. ZOLOTUKHIN*

## **INFORMATION MODEL FOR HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES EVALUATION**

Information model is offered for evaluation of interconnected and interdependent heat and mass transfer process. Information model is based on the design structure of heat and mass transfer process and the object-oriented design. An example of using the proposed information technology is given.

### **1. Introduction**

The task of analysis of the heat and mass transfer process is very relevant, as heat and mass transfer is observed in a variety of systems of different functional design and various purposes, and the work efficiency of the relevant systems depends on the organization of this process. The heat and mass transfer process itself is a complex system, since it is interconnected and interdependent, although in each element, as a rule, has its typical features [1]. To analyze such a process we can not do without a computational experiment using mathematical modeling based on modern information technology. This work is dedicated to the development of appropriate specialized information technology.

### **2. Using**

The developed information technology can be used to evaluate the heat and mass transfer process in complex systems, in which the characteristic feature is the thermal process through a multilayered structure due to heat conduction and (or) radiation, taking into account and without convective heat transfer.

### **3. Analysis of literary sources and resolving problems**

The analysis of the models, methods and information technologies used to evaluate heat and mass transfer in specific subject areas shows that, despite the wide variety of approaches, currently there are no models considering interconnected heat and mass transfer processes in the entire corresponding complex system. Processes are considered either in individual elements of the system, or in the simplest formulation. Often in practice, when examining the thermal regimes of typical residential or non-residential premises, especially during the heating period, purely empirical approaches [2] are used, and modern tools for efficiently obtaining qualitative indicators of heat and mass transfer processes in buildings and other closed spaces are not available at this time. In the work [3] a simplified two-phase model is proposed heat transfer to a room that is tightly loaded with food, in order to predict the cooling air temperature and the actual product. Such a model is suitable for the evaluation of the effects of various heat and mass transfer parameters during the design of refrigeration facilities. In work [4] a simulation model for heat transfer in a building design was conducted to determine the efficiency of the heating system. In work [5] a numerical computer simulation of processes of heat and mass transfer of ventilation air is proposed on the basis of analysis of temperature distribution, pressure and velocity of the inflow air in the poultry house for the system of tunnel ventilation in the summer period of time. In this case ANSYS Fluent software was used to obtain the fields of velocity, temperature and pressure indoors, but this does not provide a comprehensive assessment of the quality of the heat and mass transfer process in the room.

### **4. Purpose and tasks of the investigation**

The purpose of this work is to develop an information model for the evaluation of interconnected and interdependent heat and mass transfer process. To achieve this purpose you need to solve the following tasks:

- to choose models and methods for estimating the thermal conductivity through a multi-layer solid structure;
- to choose models and choose methods for estimating convective heat transfer in the space of the steam-air mixture;
- to choose models and methods for evaluation of radiation heat transfer;
- to choose a structural scheme of interconnected and interdependent heat and mass transfer process;
- to build a scheme of the implementation of information technology for evaluation of heat and mass transfer process and implement its program implementation.

## 5. Presentation of the main research material

The construction of information model in this work is based on the design structure of heat and mass transfer process and object-oriented design.

The heat-mass transfer process is presented in the form of a hierarchical structure, the lowest level of which is the elementary block. Elementary unit is the homogeneous thermalphysic and structural parameters, that is, a block in which there is a homogeneous heat and mass transfer process (heat conduction, convective heat exchange or radiation). Such a structure allows us to consider from a single position any heat-mass-exchange process, since it allows a complex interconnected and interdependent heat and mass transfer process to be reduced to a process in elementary blocks, coordinating them with the corresponding boundary conditions [6].

For the evaluation of thermal conductivity through a multilayer solid structure, in the presence of internal sources and heat waste, selected models and the method proposed in the work [7] for the estimation of convective heat transfer are the models and methods proposed in the work [8].

Between two solids with different temperatures there is a mutual exchange of heat with the help of radiation. The heat flowing from the more heated body to the less heated by radiation is determined from the Stefan-Boltzmann equation.

There are many systems of different nature, in which there are complex interrelated and interconnected different in nature heat and mass transfer processes. Linking these processes, that is, setting boundary conditions, is not an easy task.

To solve this problem it is proposed using a model of heat and mass interaction, which refers to a set of boundary conditions given in the simplest form, and non-stationary point, surface and bulk sources and mass flows, impulses and energies adjoining a certain boundary or scattered in the explored space. This allows you to specify the boundary conditions in the simplest form, and the real interactions of real processes to submit sources and sinks of the substance.

The determination of the intensity of sources and effluents of energy, mass and momentum, which are components of the model of heat-mass interaction, is based on the physical essence of a particular heat-mass transfer.

Sources (drains) of energy are supplied by heat from solar radiation, artificial light, heat from people and heating systems. Finding the intensity of the source (drain) of energy in this case is performed according to generally accepted methods.

The indicated methods require some experimental data (materials of fencing constructions, their thermalphysic characteristics, type of heating device, surface area of the device's heating, type of the lamp of illumination, angle of inclination of glazing to the horizontal plane, and so on). Required experimental data is designed in the form of special tables and is an integral part of the developed information technology.

The state of each elementary block of the structure of the heat and mass transfer system is determined by the internal processes represented in the submodel, and the influence on it with other elementary blocks.

The generalized information on the presence of influence for each elementary block is provided by a matrix of intracellular influences. This matrix is used to construct interfaces of functions that describe the state and behavior of elementary system blocks.

In accordance with the ideology of object-oriented modeling, all elementary blocks are typed, that is, they belong to a certain class and each block is represented by the object of the corresponding class. In this case, the structure, properties and behavior of the object of this class are uniquely determined by the description of this class. The class defines the information structure of the block and contains a set of functions (methods) that determine the evolution of its state. In this case, the structure of the intercellular interactions determined by the matrix of micronutrient influences is given in the corresponding classes in the form of lists of arguments of functions - members of the class.

To represent a functional model in the framework of object-oriented modeling, which reflects the structure and functions of the evaluation of the heat-mass transfer system, as well as the information flows that bind these functions, the IDEF0 methodology is used (Figure 1).

An object model of the heat and mass transfer process within the object-oriented modeling is provided by the UML diagram (Figure 2).

Information model for evaluation of the heat and mass transfer process is realized in the form of an information technology, which consists of three main parts: a preprocessor, a solver and a

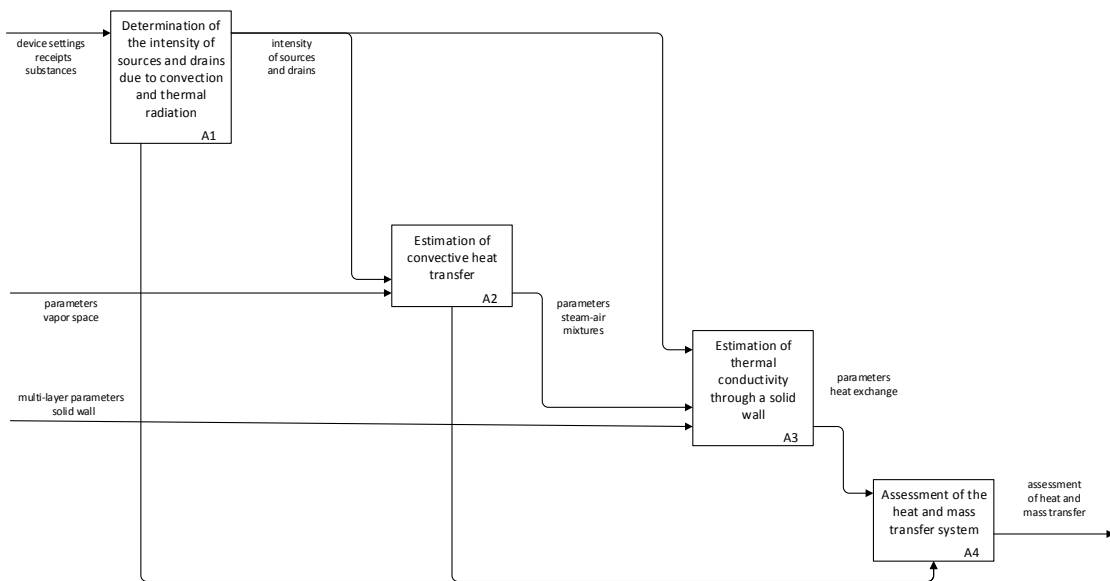


Fig. 1. IDEF0-diagram of information model for evaluation of heat and mass transfer

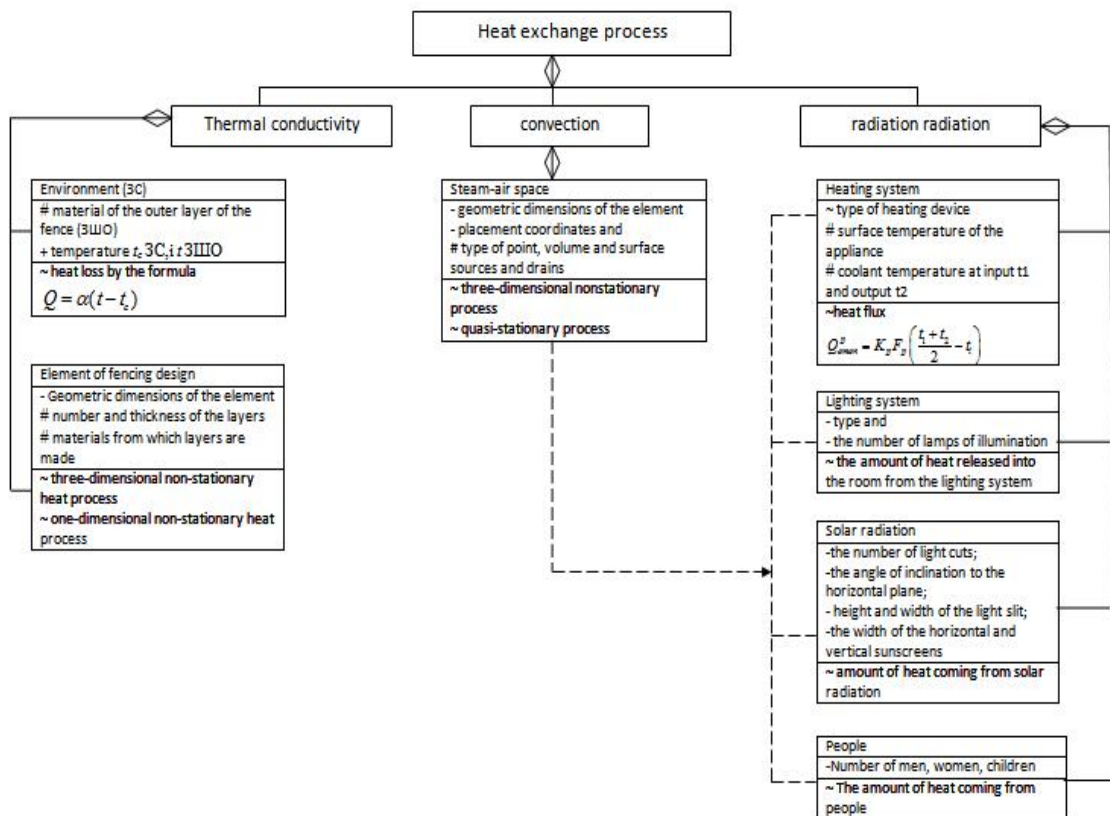


Fig. 2. UML-diagram of the model of heat and mass transfer process

postprocessor [9]. Each of these parts is independent and can be used as a separate program. Communication between programs is carried out using standardized data streams (files) [10].

The preprocessor is designed for reliable visual input and editing of information as geometric and thermalphysic, as well as determining the heat and mass transfer process. The preprocessor shell is constructed in the form of a hierarchical structure based on the tree of directories.

The solver based on the initial data obtained from the preprocessor, based on the functional model of the domain using modules that make up the information base of the medium, forms a program in the form of a sequence of classes and their objects for solving a specific task for the assessment of heat and mass transfer process and performs appropriate calculations.

The developed postprocessor provides the ability to visualize the fields of speed, temperature and pressure.

### 6. Example studying the heat mode of a typical two-room apartment

Let's consider a typical two-room apartment, located on the 9th floor of a 9-storey brick building [2] (fig. 3).

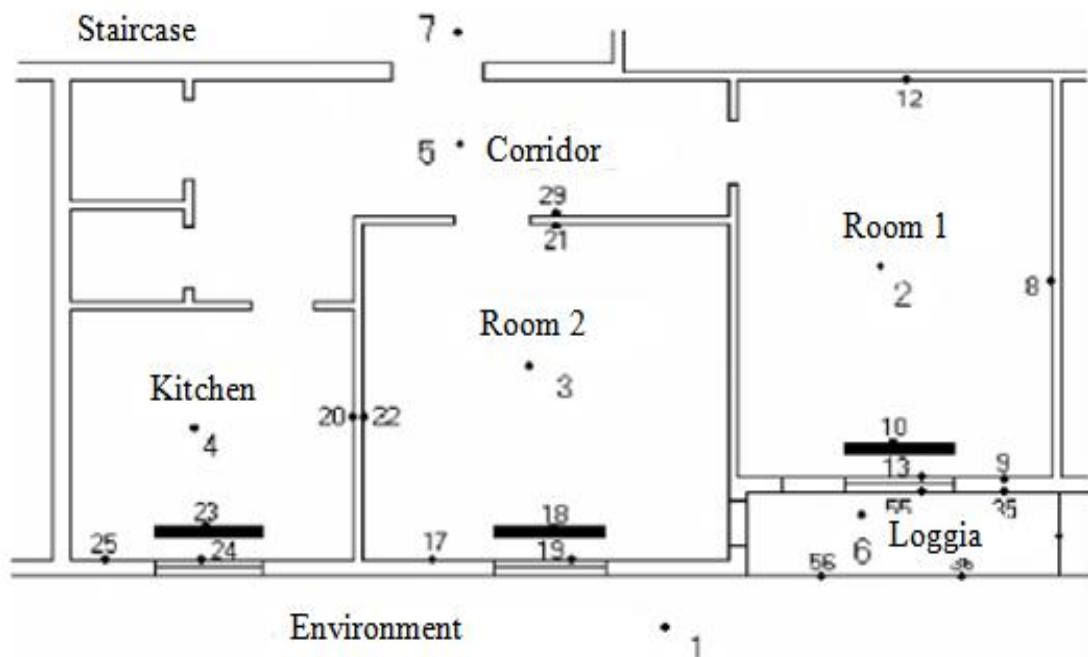


Fig. 3. The plan of the study two-room apartment. The numbers marked the points where the temperature was measured

The dimensions of the rooms are: room 1 - 3x5 m, room 2 - 4,1x4 m, kitchen - 2,7x2,3 m. The height of the floor - 2,5 m. Loggia is glazed. Heating devices of the centralized heating system - cast-iron radiators of type M-140-AO with the number of sections in the room 1 - 6 pcs., in room 2 - 9 pcs., in kitchen - 5 pcs. The surface area of each section is 0.299 m<sup>2</sup>.

The temperature of the external air was measured at a distance of 0,25 m from the building at the height of the floor. The characteristics of the enclosing structures are as follows: the outer wall is made of silicate bricks (thickness  $\delta=0,52$  m, density  $\rho=1700$  kg/m<sup>3</sup>, coefficient of thermal conductivity  $\lambda=0,829$  W/m<sup>0</sup>C, heat capacity  $C=800$  J/kg<sup>0</sup>C); internal walls - gypsum (thickness  $\delta=0,25$  m, density  $\rho=600$  kg/m<sup>3</sup>, coefficient of thermal conductivity  $\lambda=0,24$  W/m<sup>0</sup>C, heat capacity  $C=795$  J/kg<sup>0</sup>C); ceiling - reinforced concrete slab (thickness  $\delta=0,22$  m, density  $\rho=1000$  kg/m<sup>3</sup>, coefficient of thermal conductivity  $\lambda=0,507$  W/m<sup>0</sup>C, heat capacity  $C=800$  J/kg<sup>0</sup>C); floor - reinforced concrete slab (thickness  $\delta=0,22$  m, density  $\rho=1229$  kg/m<sup>3</sup>, coefficient of thermal conductivity  $\lambda=1,28$  W/m<sup>0</sup>C, heat capacity  $C=800$  J/kg<sup>0</sup>C); window - double glazing in wooden weaving (thickness  $\delta=0,13$  m, density  $\rho=101,5$  kg/m<sup>3</sup>, coefficient of thermal conductivity  $\lambda=0,606$  W/m<sup>0</sup>C, heat capacity  $C=1012,6$  J/kg<sup>0</sup>C).

In fig. 4 the main results of evaluation of temperatures in separate points of the apartment are submitted.

It is worth noting that due to the accident of the heating system in the adjoining apartment at the time of 17 hours, in room 1, the heating was switched off for 12 hours, which did not lead to a significant decrease in the air temperature in the room. The resulting computational experiment data with the help of the proposed information technology are in good agreement with the experimental data given in the work [2].

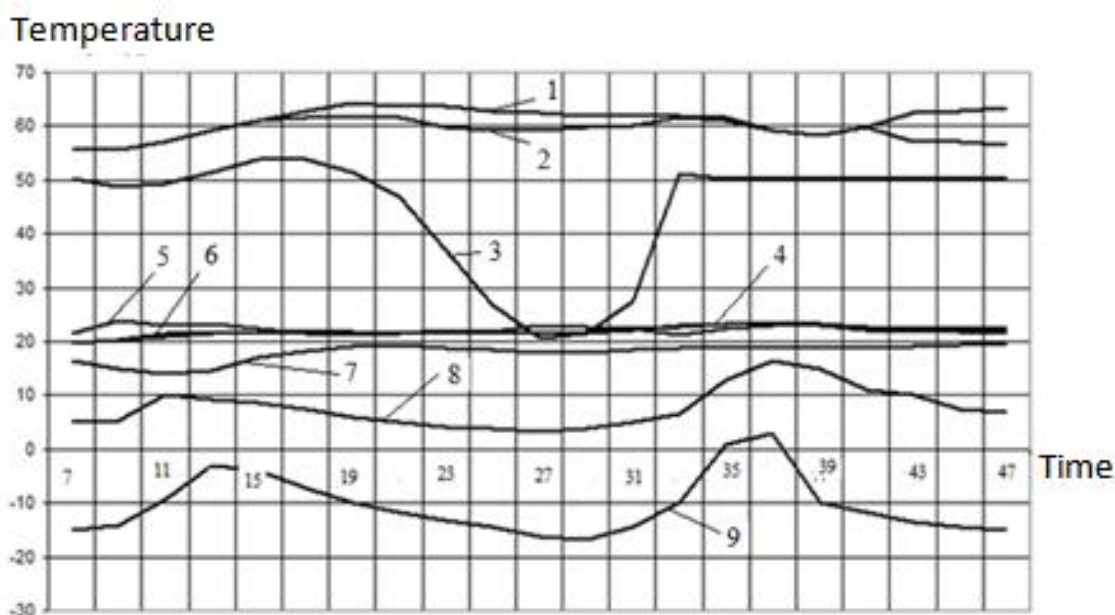


Fig. 4. Temperature changes in time. Curve 1 - radiator in room 1 (experimental data), curve 2 - radiator in the kitchen (experimental data), curve 3 - radiator in room 2 (experimental data), curve 4 - air in room 1 (calculation result), curve 5 - air in room 2 (result of calculations), curve 6 - air in the kitchen (result of calculations), curve 7 - air in the corridor (result of calculations), curve 8 - temperature in the loggia (result of calculations), curve 9 - temperature in the environment ( experimental data)

## 7. Conclusions

In this article, the problem of choosing a model and method for estimating thermal conductivity, convective and radiation heat exchange was solved. A structural diagram of an interconnected and interdependent process of heat and mass transfer is chosen. This task is applicable can be applied to boiler installations, heating networks, foundry, which use liquid or gaseous means.

Calculation of heat and mass transfer processes allows determining the distribution of temperatures, concentrations of mixture components, as well as heat fluxes and mass of the medium as a function of coordinates and time.

As a result, information model for evaluation of interconnected heat and mass transfer process and its program implementation is implemented.

**References:** 1. *Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M.* Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoi effektivnosti zdaniy. M: Avok-press, 2002. 194 s. 2. *Tadlia O.Iu., Krukovskii P.H.* Eksperimentalnoe issledovanie teplovogo rezhima tipovoi dvukhkomnatnoi kvartiry v otopytelnyi peryod / Prom. teplotekhnika. 2006. T. 28, № 4. S.64-71. 3. *Gerlich V.* Modelling of heat transfer in buildings // Proc. 25th European Conference on Modelling and Simulation. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.639.9258&rep=rep1&type=pdf>. 4. *Nahora H.B., Hoanga M.L., Verbovena P., Baelmansb M., Nicola B.M.* CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores / International Journal of Refrigeration. 2005. № 28. P. 368-380. URL: [http://diyhpl.us/~nmz787/pdf/CFD\\_model\\_of\\_the\\_airflow\\_heat\\_and\\_mass\\_transfer\\_in\\_cool\\_stores.pdf](http://diyhpl.us/~nmz787/pdf/CFD_model_of_the_airflow_heat_and_mass_transfer_in_cool_stores.pdf). 5. *Horobets V.H., Trokhaniak V.I.* Kompiuterne matematyчне modeliuвання protsesiv teplo- i maso perenosu pry ventyliatsii povitria v ptakhivnychykh prymishchenniakh / Naukovyi visnyk TDATU. Vyp.5. Tom 1. S.168-176. 6. *Yerokhin A. L., Zatserklyanyi H.A.* Rozrobka obiektno-orientovanoi modeli dlia analizu teplovtrat u budivli nevyrobnychoho pryznachennia // Tekhnolohycheskii audit i rezervy proizvodstva. 2016. № 5/1(31). S. 26-33. 7. *Kutsenko O. S., Zatserklyanyi H.A.* Modeliuвання teploobminu cherez ohorodzhuvalni poverkhni budivli // Visnyk NTU «KhPI». 2012. № 42 (948). S. 129-141. 8. *Yerokhin A.L., Zatserklyanyi H.A.* Heat and mass exchange analysis indoors // Міжвідомчий збірник наукових праць Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України «Відбір і обробка інформації». 2016. № 44 (120). С. 51-55. 9. *Yerokhin A.L., Zatserklyanyi H.A.* Instrumentalniy zasib dlia analizu teplomasoobminnykh protsesiv budivel // Teoriia i praktyka aktualnykh naukovykh doslidzhen. Kherson : Vydavnychiy dim «Helvetyka», 2017. 10. *Zolotukhin, O., Kudryavtseva, M.* Authentication Method in Contactless Payment Systems International Scientific and



*Надійшла до редколегії 16.01.2019*

**Yerokhin Andriy**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Software Engineering KhNURE. Scientific interests: computation intelligence, identification and visualization of abnormal situations. Address: Nauky Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel. 70-21-446.

**Zatserklyanyi Heorgii**, aspirant of the Department of Software Engineering KhNURE. Scientific interests: process modeling. Address: Nauky Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel. 70-21-446.

**Babii Andriy**, Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department of Software Engineering KhNURE. Scientific interests: parallel distributed systems. Address: Nauky Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel. 70-21-446.

**Turuta Oleksii**, PhD of Technical Sciences, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Software Engineering KhNURE. Scientific interests: computation intelligence, architectures of service-based systems. Address: Nauky Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel. 70-21-446.

**Zolotukhin Oleg**, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Associate professor of the Department of Artificial Intelligence KhNURE. Scientific interests: cloud technologies, data mining. Address: Nauky Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel. 70-21-337.

---

УДК 004.942:616.5-612.79

DOI: 10.30837/0135-1710.2019.176.009

*Е. В. ВЫСОЦКАЯ, В. А. КЛИМЕНКО, А. П. ПОРВАН, А. А. ТРУБИЦИН, А. И. ДОВНАРЬ*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕБЕНКА С АТОПИЧЕСКИМ ДЕРМАТИТОМ**

---

В статье представлена математическая модель проточного хемостата для определения относительной результативности адаптивного процесса, позволяющая количественно выразить и определить состояние ребенка с atopическим дерматитом. Результаты анализа позволяют получить картину сравнительных характеристик изменения состояния больного.

### **1. Вступ**

Атопический дерматит (АД) является одним из распространенных заболеваний современного человека. Согласно данным исследования The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC), которое активно выявляло пациентов методом анкетирования, в мире АД страдает до 22,5% детей в возрасте 6-7 лет и до 24,6% детей 13-14 лет. Была также отмечена тенденция к глобальному увеличению распространенности АД в среднем на 2 % ежегодно [1]. По данным публикации [2], АД отмечается у 25 % детей школьного возраста и 10 % взрослых. В Украине распространенность АД среди детей составила 5,05% [3].

Данное заболевание оказывает существенное влияние на качество жизни больного и его семьи, нарушая в большей степени психическую сферу, и может быть причиной детской инвалидности [4]. АД - это не только заболевание кожи, но и начало грозного "атопического марша", так как у многих больных развиваются респираторные аллергические болезни - аллергический ринит и бронхиальная астма [5, 6]. От того, насколько рано и правильно будет диагностирован АД и насколько адекватной будет его терапия, зависит и дальнейший прогноз аллергии.

Постоянно продолжается поиск новых патогенетических механизмов, методов лечения АД, но, к сожалению, и на сегодняшний день лечение больного с аллергическим заболеванием не приводит к полному выздоровлению [7, 8]. А существующие выводы, полученные при проведении прямых эмпирических исследований особенности формирования и протекания АД, не позволяют объективизировать изменения функционального состояния больных с различной степенью тяжести АД без применения соответствующего математического обеспечения.

## 2. Постановка задачи исследования

Для аргументированного выбора терапии для конкретного больного и объективизации оценки течения АД предложено много моделей и методов, но ни один из них не удовлетворяет клиницистов полностью.

На сегодняшний день в процессе определения адаптационных механизмов организма человека, в том числе и детей [9], используются различные методы математической статистики, которые позволяют выявить скрытые закономерности в отношении морфофункциональных образований целостной системы [10, 11]. Кроме того, рядом авторов осуществлена попытка использования математических моделей и методов, описывающих компенсаторные механизмы организма биологического объекта, для принятия диагностического решения в области офтальмологии [12] и эндокринологии [13].

В работе [14] авторами предложена многопараметрическая математическая модель выявления изменений механизмов адаптивной функции человека для четырех распространенных фенотипов АД. Данная модель описывает динамику взаимодействия кожных покровов и аллергенов, приводящего к иммунной дисрегуляции, что позволяет оценить начало болезни, предположить направление ее прогресса. Существенным недостатком использования данной модели является громоздкость вычислений, характерных для математических моделей системной динамики, и использование в качестве основных предикторов математической модели результатов дорогостоящих исследований генетического и иммунологического статусов.

Для изучения характера взаимодействия межсистемных и внутрисистемных взаимоотношений в [15] использовался также математический метод корреляционной адаптометрии, в основу которого положен анализ парной корреляции для всех показателей определения адаптационного синдрома. Использование данного метода предполагает оценку степени связанности показателей с помощью корреляционного графа с последующим принятием решения о состоянии пациента на основе аппарата теории нечетких множеств.

Известен подход к моделированию адаптационных возможностей детей на основе энтропийного критерия [16]. В качестве измеряемых параметров рассматривались данные клиникоортоостатической пробы (КОП). В статье показано, что КОП является переходной характеристикой, позволяющей судить о резервах адаптации и потенциальных возможностях жизненно важных систем организма ребенка. Полученные с использованием энтропийного подхода адаптационные кривые с помощью кластерного анализа по координатам центроидов были разделены на пять групп, что позволило выделить пять универсальных типов адаптационных реакций. Однако предложенный подход не может быть адаптирован к случаю оценки адаптационных возможностей детей с АД ввиду отсутствия учета таких важных показателей, как удельная скорость изменения количества эозинофилов, показателей IgA и IgE, являющихся маркерами протекания различных фаз АД.

В [17] описан вычислительный метод выбора оптимальной тактики "активной терапии" для пациентов с АД, который использует гибридную динамическую модель патогенеза АД с целью определения сроков манифестации данной патологии у взрослого населения с использованием алгоритма дифференциальной эволюции. Недостатком использования метода является сложность решения рекуррентных уравнений оптимального управления в реальном масштабе времени, отсутствие возможности комплексной оценки адаптационных возможностей ребенка с АД с целью предотвращения манифестации данной патологии.

Таким образом, целью работы является разработка математической модели определения адаптационных возможностей ребенка с atopическим дерматитом на базе теории проточного культивирования.

## 3. Разработка математической модели

На любом уровне организации человеческий организм как адаптивная система должен обеспечивать адекватную форму отношений со средой с целью поддержания гомеостаза. Для этого в такую систему должен поступать определенный поток информации с последующим его преобразованием. При этом задача сводится к анализу усвоения некоторого стационарного случайного процесса [18]. В таком случае организм человека можно рассматривать как проточный преобразователь-культиватор [19]. В самоорганизующуюся систему (организм ребенка) поступает поток информации о состоянии окружающей среды

(пищевые, бытовые, пыльцевые аллергены и т.д.). В ответ на данный поток развиваются адаптационные процессы, которые устанавливают равновесие. Существенными показателями этого процесса являются такие характеристики, как эффективность ответа -  $\alpha$  (уровень IgE), что обеспечивает результативность адаптивного процесса в виде площади поражения кожных покровов -  $w$ .

Существует определенное начальное состояние иммунной системы, которое в ответ на воздействие факторов внешней среды, используя резервные возможности адаптивной системы (организма ребенка), отвечает адекватными формами стереотипных реакций и в норме характеризуется отсутствием обострений и любых клинических проявлений заболевания.

Состояние иммунной системы может меняться по мере совершенствования механизмов поддержания гомеостаза ребенка и зависит от ряда факторов: генетических особенностей, возраста ребенка и совершенствования анатомофизиологических факторов системы, сопутствующих заболеванию. Если допустить наличие некоторого максимально возможного объема установленных адаптивных реакций ребенка на антигены среды, обеспечивающих его равновесное состояние, и минимально возможного, то текущее состояние может занимать любое из промежуточных значений. Исходя из клинической практики, состояние пациента может характеризоваться наличием либо отсутствием обострения АД.

Вне зависимости от вида параметра, характеризующего текущее состояние пациента (параклинический критерий), будем использовать безразмерную характеристику, которая может быть представлена как некоторая величина  $k_s$

$$k_s = \frac{S_{tek}}{S_{normativnoe}}, k_s \in [0; 1], \quad (1)$$

где  $S_{tek}$  - измеренное значение признака;  $S_{normativnoe}$  - значение признака в норме.

Таким образом, организм ребенка как адаптивная система с коэффициентом эффективности силы аллергической реакции  $\alpha$  (показатель IgE) отвечает развитием воспаления (защитного продукта своей деятельности) как универсальным процессом, направленным на восстановление гомеостаза, и клинически манифестирует обострением различной длительности  $u$  (IgG) в форме адекватных реакций (стабилизация состояния больного).

Зависимость активности и эффективности отношений объект-среда, где могут происходить определенные колебания (0 - 30 % от общего количества лейкоцитов), отражает показатель  $\mu$  (удельная скорость изменения показателя количества эозинофилов), который характеризует адаптивный ответ организма ребенка на средовые воздействия.

Скорость преобразования потока информации из среды  $v$  (нарушение сна) отражает скорость адаптации организма больного к клинически проявляющимся воспалительным процессам, что может быть представлено как:

$$\frac{dv}{dt} = -\alpha \cdot \mu \cdot u. \quad (2)$$

С одной стороны, воздействие представляет собой стационарный случайный процесс и несет в себе неточное отображение, а с другой - процесс его переработки и усвоения требует определенной оценки [20]. С учетом этого, колебание значений  $v$  можно выразить формулой:

$$\frac{dv}{dt} = D \cdot (v - s) - \alpha \cdot \mu \cdot u, \quad (3)$$

где  $D$  - показатель IgA;  $s$  - показатель зуда;  $(v - s)$  - отражает отрицательное влияние наличия зуда на качество сна.

Динамику изменения  $u$  можно выразить формулой:

$$\frac{du}{dt} = \mu \cdot u - D \cdot u, \quad (4)$$

где  $(D \cdot u)$  - количество незавершенных и не участвующих в обеспечении конечного результата реакций организма: ЧСС, эритроциты, цветной показатель, частота дыхания, вес, рост.

Относительная результативность адаптивного процесса, выраженная скоростью снижения площади поражения  $w$ , представлена выражением:

$$\frac{dw}{dt} = -(1 - \alpha) \cdot \mu \cdot u - D \cdot w. \quad (5)$$

Дифференциальные уравнения, приведенные выше, отражают процессы, протекающие в организме больного, как в проточной функциональной системе. Если такая система находится в некотором случайном стационарном потоке информации, то через определенный промежуток времени в результате образования адекватных ответных реакций устанавливается равновесное состояние «функциональная система - среда». Возможные возмущения в среде будут вызывать соответствующие изменения и в функциональной системе. Эти изменения будут направлены на сохранение равновесного состояния. В этом случае очень важна скорость стабилизации равновесного состояния, так как последняя определяет ее жизнеспособность. В ряде случаев это является определяющим фактором в обеспечении адаптивного процесса, поэтому представляет интерес его анализ.

Оценивая изменение площади поражения, величину показателя количества эозинофилов можно представить в виде показателя  $\mu$ :

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot v}{K + v}, \quad (6)$$

где  $\mu_m = \max(\mu)$ ;  $K$  - показатель выраженности морфологических элементов сыпи.

Используя приведенное значение  $\mu_m$ , получим систему уравнений относительно параметров  $u, v$  и  $w$ :

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \frac{\mu_m \cdot v}{K + v} \cdot u - D \cdot u, \\ \frac{dv}{dt} = -\alpha \cdot \frac{\mu_m \cdot v}{K + v} \cdot u + D \cdot (s - v), \\ \frac{dw}{dt} = (\alpha - 1) \cdot \mu \cdot u - D \cdot w. \end{cases} \quad (7)$$

Решение полученной системы уравнений позволит определить относительную результативность адаптивного процесса организма ребенка с атопическим дерматитом.

#### 4. Результаты моделирования и их обсуждение

Адаптационные возможности организма человека обладают различной интенсивностью в различных клинических случаях. Это может объясняться наличием коморбидных сторонних заболеваний, плохой отягощенной наследственностью, неблагоприятными условиями проживания и иными факторами, ослабляющими иммунную систему и отягчающими общее состояние больного. Описанный математический аппарат, заключающийся в решении системы дифференциальных уравнений (7), позволяет потенциально оценить относительную результативность адаптивного процесса организма  $w$ .

Для проверки результатов исследований были выбраны 6 клинических случаев больных с АД (табл. 1).

Полученные результаты исследований для 19 эпох моделирования представлены на рис. 1-3. Для удобства сравнения все кривые приведены к одному масштабу. Моделирование эпох проводилось с применением программного средства Mathcad.

Анализируя графики, представленные на рис. 1, можно сделать вывод, что регресс параметра  $v$  в течение времени  $t$  на фоне отсутствия или незначительных изменений поведения параметра  $u$  приводит к пропорциональному увеличению параметра  $w$ . Обратная тенденция наблюдается на графике, представленном на рис. 3, что отражается на незначительном показателе относительной результативности адаптивного процесса (рис. 3, б).

Это позволяет условно разделить больных на основе потенциальных способностей их организма к восстановлению (выздоровлению) на три диапазона: больные с высокими адаптационными возможностями организма (В1); больные с умеренными адаптационными возможностями организма (В2); больные с условно низкими адаптационными возможностями организма (В3).

Для подтверждения точности определения относительной результативности адаптивного процесса ребенка с АД были исследованы данные 268 пациентов, которые случайным

Таблица 1

## Исходные значения параметров моделирования

Параметр	Степень тяжести АД					
	тяжелая	тяжелая	средняя	средняя	легкая	средняя
1	2	3	4	5	6	7
$w$	10	30	90	95	80	8
$K$	30	7	9	9	16	11
$s$	6	10	10	5	8	5
$v$	7	7	5	8	7	6
$\mu$	14	2	14	5	17	12
$D$	1.55	0.5	1.09	0.62	0,69	0,9
$u$	11.6	8.25	9.78	8	9,13	11,6
$\alpha$	600	468	450	713	624	180

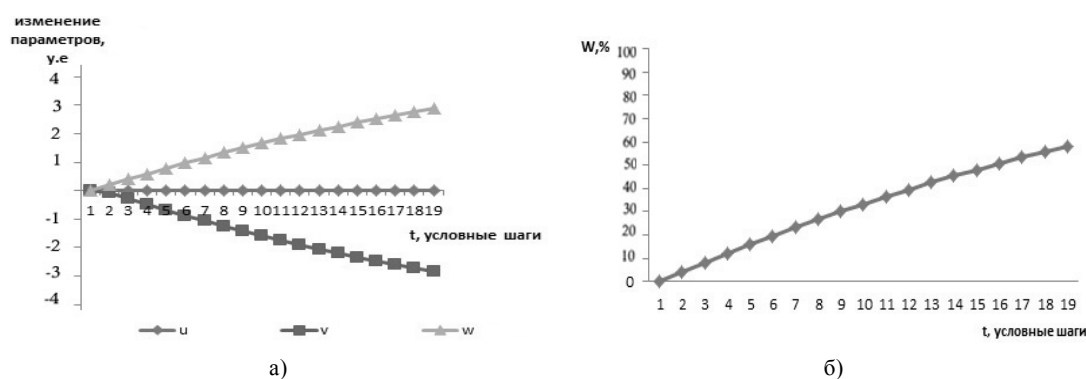


Рис. 1. Результаты моделирования: а) изменения моделируемых параметров;  
б) изменения относительной результативности адаптивного процесса

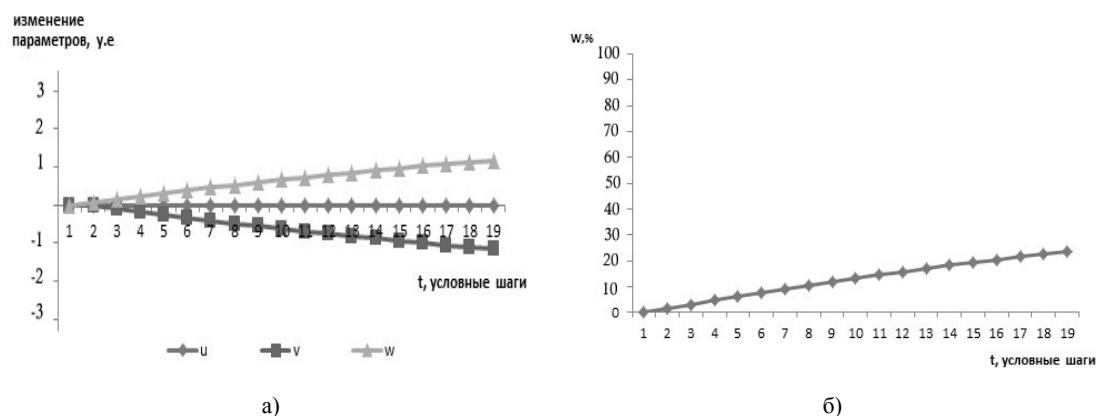


Рис. 2. Результаты моделирования: а) изменения моделируемых параметров;  
б) изменения относительной результативности адаптивного процесса

образом были разделены на обучающую (35%), тестовую (15%), валидационную (50%) группы. В каждой группе присутствовали пациенты с состояниями В1, В2 и В3 (табл. 2).

В результате проведения статистического анализа исходных данных и результатов определения адаптационных возможностей организма ребенка с АД точность составила для обучающей выборки - 88,30 %; для тестовой выборки - 90,00 %; для валидационной выборки - 91,04 %.

Графическое представление проверки прогностических свойств разработанной модели выполняли на основе построения ROC-кривой (рис. 4).

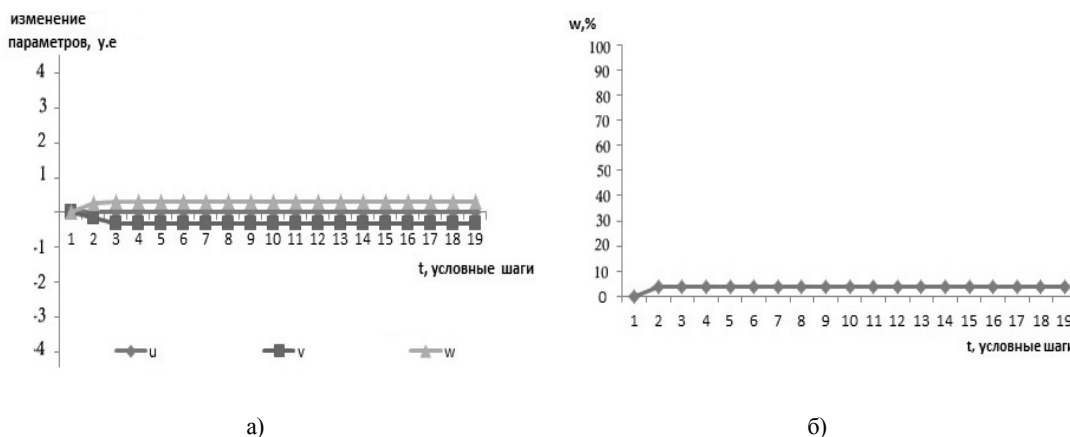


Рис. 3. Результаты моделирования: а) изменения моделируемых параметров; б) изменения относительной результативности адаптивного процесса

Таблица 2

Результаты определения классификационной точности разработанной математической модели

Состояние	Выборка								
	Обучающая			Тестовая			Валидационная		
	n	n'	% точности определения	n	n'	% точности определения	n	n'	% точности определения
B1	41	37	90,24	18	17	94,44	59	54	91,53
B2	29	24	82,75	13	11	84,62	42	38	90,47
B3	24	22	91,66	9	8	88,89	33	30	90,90
Общий, %	88,30			90,00			91,04		

Значение площади под кривой AUC (Area Under Curve) составило 0,84.

ROC-анализ полученной модели показал ее отличное качество. Чувствительность и специфичность обучающей, тестовой и валидационной выборок при сравнении по критерию  $\chi^2$  статистически значимо не отличаются ( $p = 0,34$ ,  $p = 0,41$  и  $p = 0,27$ , соответственно), что свидетельствует об адекватности построенной модели.

Общий анализ результатов решения системы дифференциальных уравнений для различных клинических случаев показывает, что степень выраженности адаптационных процессов организма можно сопоставить с характером изменения функции  $w$ : чем выше степень выраженности, тем больше значение  $w$ .

## 5. Выводы

Впервые разработана математическая модель определения адаптационных возможностей ребенка с атопическим дерматитом на основе теории непрерывного культиватора-хемостата. Данная модель отражает процессы, сопутствующие атопическому дерматиту, что позволяет более глубоко понять механизмы его возникновения и определить пути направленного воздействия синхронизации взаимообусловленных отношений морфофункциональных образований цело-

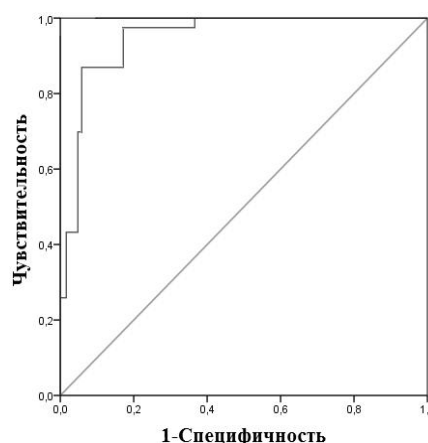


Рис. 4. ROC-кривая

стной системы их взаимодействия. Проведенное исследование изменения параметров системы дифференциальных уравнений позволило разделить больных на основе потенциальных способностей их организма к выздоровлению на три класса, что было подтверждено экспериментально.

**Список литературы:** 1. *Global variations in prevalence of eczema symptoms in children from ISAAC Phase Three* / J.A. Odhiambo, H.C. Williams, T.O. Clayton, C.F. Robertson, [etc.] // *J. Allergy Clin. Immunol.* 2009. Vol. 124 (6). P. 1251-1258. - doi:10.1016/j.jaci.2009.10.009. 2. *Brown, Sara J.* Atopic eczema / Sara J. Brown // *Clin. Medicine (London)*. 2016. Vol.16. N. 1. - pp. 66-69. doi: 10.7861/clinmedicine.16-1-66. 3. *Огнев, В. А.* Эпидемиология астмы и аллергии у детей. Монография / В. А. Огнев. - Х.: «Щедра садиба плюс», 2015. 336 с. ISBN 978-617-7306-37-4. 4. *Решетило, О. В.* Влияние атопического дерматита на качество жизни детей и родителей / О. В. Решетило, Т. В. Стоева, Н. Л. Весилык // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 9(40), Ч. 4. С. 65-67. Режим доступа: URL: <https://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/9-4-40.pdf#page=65>. 5. *Phenotypes of Atopic Dermatitis Depending on the Timing of Onset and Progression in Childhood* / Caroline Roduit, Remo Frei, Martin Depner, et al. // *JAMA Pediatr.* 2017. Vol. 171. N. 7. P. 655-662. doi:10.1001/jamapediatrics.2017.0556. 6. *Kapoor, R.* The prevalence of atopic triad in children with physician-confirmed atopic dermatitis / R. Kapoor, C. Menon, O. Hoffstad, W. Bilker // *J. Am. Acad. Dermatol.* 2008. Vol. 58. N. 1. P. 68-73. - doi: 10.1016/j.jaad.2007.06.041. 7. *Dinulos, James G.* New science and treatment paradigms for atopic dermatitis / James G. Dinulos, Alyssa Trickett, Caroline Crudele // *Current Opinion in Pediatrics*. 2018. Vol. 30 (1). P. 161-168. - doi: 10.1097/MOP.0000000000000560. 8. *Nankervis, H.* Scoping systematic review of treatments for eczema / H. Nankervis, K. S. Thomas, F. M. Delamere, et al. // Southampton (UK): NIHR Journals Library; 2016 May. (Programme Grants for Applied Research, No. 4.7). 2016. Режим доступа: URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK363127/> doi: 10.3310/pgfar04070. 9. *Porvan, A.* Technology for determining of students adaptive capabilities / A. Porvan // Paper presented at the 2015 «Information Technologies in Innovation Business Conference», ITIB 2015. Proceedings. P. 47-51. doi:10.1109/ITIB.2015.7355050. 10. *Yakubovska, S.* Developing a method for prediction of relapsing myocardial infarction based on interpolation diagnostic polynomial / Sofia Yakubovska, Olena Vysotska, Andrei Porvan, Dmytro Yelchaninov, et al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5, No. 9 (83). P. 41-49. - doi: 10.15587/1729-4061.2016.81004. 11. *Georgiyants, M.* Development of a mathematical model for predicting postoperative pain among patients with limb injuries / Marine Georgiyants, Oleksandr Khvysyuk, Nataliya Boguslavskaya, Anna Pecherska, et al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, No. 4 (86). P. 4-9. doi: 10.15587/1729-4061.2017.95157. 12. *Strashnenko, A. N.* A method for prognosis of primary open-angle glaucoma / A. N. Strashnenko, Y. A. Demin, I. V. Prasol, C. A. Sinenko, et al. // *International Review on Computers and Software (IRECOS)*. 2013. Vol. 8. No. 8. P. 1943-1949. 13. *Dobrorodnia, H.* Studying the mechanisms of formation and development of overweight and obesity for diagnostic information system of obesity / Hanna Dobrorodnia, Nina Gordiyenko, Ganna Chovpan, Marine Georgiyants, et al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6, No. 2 (84). P. 15-23. - doi:10.15587/1729-4061.2016.85390. 14. *Mathematical modeling of atopic dermatitis reveals «double-switch» mechanisms underlying 4 common disease phenotypes* / Elisa Dominguez-Huttinger, Panayiotis Christodoulides, Kosuke Miyachi, Alan D. Irvine, et al. // *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2017. Vol. 139. Iss. 6. P. 1861-1872. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2016.10.026>. 15. *Светличная, Г. Н.* Мультипараметрический системно-количественный метод оценки состояния здоровья человека / Г. Н. Светличная // *Сибирское медицинское обозрение*. 2007. № 43 (2). С. 3-6. 16. *Гергет, О. М.* Математические методы доказательной медицины в задачах прогнозирования здоровья детей раннего возраста / О. М. Гергет, В. А. Кочегуров, Г. А. Сакбасынова // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 10 (1). С. 29-34. 17. *Computational design of treatment strategies for proactive therapy on atopic dermatitis using optimal control theory* / P. Christodoulides, Y. Hirata, E. Dominguez-Huttinger, S.G. Danby, et al. // *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*. 2017. No. 375 (2096), 20160285. Режим доступа: URL: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/375/2096/20160285.full.pdf>. 18. *Seymour, V.* The Human-Nature Relationship and Its Impact on Health: A Critical Review / V. Seymour // *Frontiers in Public Health*. 2016. No.4. P. 260-272. <http://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00260>. 19. *Agoshko, Valeri I.* *Mathematical Models of Life Support Systems* / Valeri I. Agoshko, Jean-Pierre Puel. - Oxford, UK: EOLSS Publications, 2009. 504 p. ISBN-978-1-84826-579-0.

*Надійшла до редколегії 25.01.2019*

**Высоцкая Елена Владимировна**, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой радиоэлектронных и биомедицинских компьютеризированных средств и технологий (502) Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Адрес: Украина, 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17. E-mail: [evisotska@ukr.net](mailto:evisotska@ukr.net), тел.: +38 067-572-64-18.

**Клименко Виктория Анатольевна**, д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой пропедевтики педиатрии № 2 Харьковского национального медицинского университета. Адрес: Украина, 61051, г. Харьков, ул. Клочковская, 337-а. E-mail: [klymenkoviktorii@gmail.com](mailto:klymenkoviktorii@gmail.com)

**Порван Андрей Павлович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри радіоелектронних і біомедицинських комп'ютеризованих засобів і технологій (502) Національного аерокосмічного університету ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ». Адрес: Україна, 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17. E-mail: andreiporvan@gmail.com, тел.: +38 066-294-06-70.

**Трубицин Алексей Алексеевич**, аспірант кафедри біомедицинської інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки. Адрес: Україна, 61166, г. Харьков, пр. Науки, 14. E-mail: altr287@gmail.com, тел.: +38 097-949-42-87.

**Довнар Александр Иосифович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри радіоелектронних і біомедицинських комп'ютеризованих засобів і технологій (502) Національного аерокосмічного університету ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ». Адрес: Україна, 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17. E-mail: dov-alexandr@yandex.ru, тел.: +38 067-575-75-16.

---

УДК 004:681.2.08

DOI: 10.30837/0135-1710.2019.176.016

О.І. МИХАЛЬОВ, А.Ю. ЗИМОГЛЯД, А.І. ГУДА

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТОПОЛОГІЇ ВUСК ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАГРІВАЧЕМ У ВАКУУМІ**

---

Для проведення досліджень в області створення функціональних покриттів була потрібна математична модель перетворювача Вuск. Без правильної моделі практично неможливо побудувати систему управління для термічного випаровування металу у вакуумі.

### **1. Вступ**

Роботи зі створення функціональних покриттів в вакуумі для керування швидкістю випаровування, а так само й для відтворюваності експериментів вимагають можливості керування потужністю випаровувача [1,2]. Слід зауважити, що поведінка електричного опору нагрівача вкрай нелінійна [3], що визвано одразу багатьма факторами. До цих факторів належать: зміна опору від окислення, зміна опору внаслідок дії Джоулевого тепла, зміна фазового стану нагрівача, хімічна взаємодія з металом, що випаровується, фазовий перехід та подальше випаровування металу, що знаходиться на самому випаровувачі.

На виробництві використовують нагрівачі з доволі товстого металу (1-3 мм), завдяки чому при керуванні характерний час встановлення потужності збільшується. Проте це викликає додаткові складності в живленні такого нагрівача, оскільки для нього потрібні токи 100-400 А [3, 4]. В лабораторних умовах, для дослідів використовуються нагрівачі товщиною не більше 0.1 мм [4, 5]. Через їх меншу теплову інертність характерний час встановлення менший, що ускладнює систему керування потужністю.

Багато сучасних систем живлення мають в своїй основі перетворювачі топології Вuск, які є одними з найбільш придатних для використання з метою отримання контрольованого джерела живлення з меншою напругою та більшим струмом, ніж базове джерело живлення [5-7]. На теперішній час існують різні моделі таких систем [6, 8, 9]. Але ці моделі не у повному обсязі відображають нелінійні ефекти та переходи проміж режимами роботи нагрівача.

### **2. Постановка задачі дослідження**

Виходячи зі сказаного вище, головною метою дослідження є створення моделі перетворювача топології Вuск, який може бути використано для управління потужністю термічного нагрівача в вакуумі. Модель повинна бути придатною для використання у системі управління потужністю на основі мікроконтролера. Тому для досягнення мети дослідження пропонується вирішити такі задачі:

- розробка моделі перетворювача топології Вuск;
- розробка спрощеної моделі перетворювача;
- моделювання квазістаціонарного стану перетворювача;
- експериментальна перевірка результатів моделювання та розробка на її підставі апаратно-програмної системи управління.



### 3. Розробка моделі перетворювача топології Buck

Використання сучасних компонентів, у порівнянні з класичним підходом на основі використання низькочастотного трансформатора [9], дозволяють досягти більшого значення коефіцієнта перетворення енергії, менших маси та розміру. Однак цей перетворювач має менш очевидні характеристики, особливо в ситуаціях, коли необхідний великий діапазон вихідної напруги, точність вихідної напруги або швидка реакція на вихідне навантаження. Деякі з цих вимог можуть бути виконані за допомогою правильно сконструйованого зворотного зв'язку, але, в свою чергу, ця конструкція вимагає адекватної моделі самого конвертера.

Одна з можливих спрощених схемних реалізацій наведена на рис. 1, де  $V_{cc}$  - вхідна напруга живлення;  $V_2$  - вихідна напруга;  $R_h$  - опір навантаження на виході перетворювача;  $L$  - котушка індуктивності, яка грає ключову роль у перетворювачі;  $C_2$  - вихідна фільтруюча ємність. Конденсатор  $C_1$  часто не є відокремленим елементом схеми. Він може бути представлений внутрішньою ємністю діода та/або в складі демпферного ланцюга снаббера. Без нього правильне моделювання практично неможливе, оскільки, якщо обидва перемикача на-

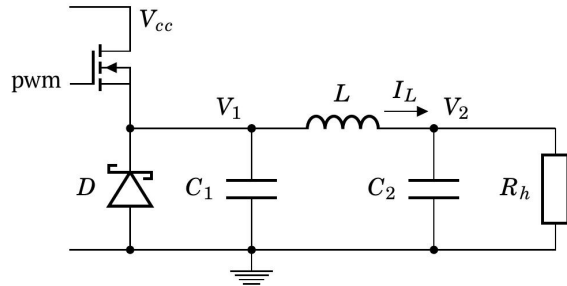


Рис. 1. Перетворювач топології Buck з діодом Шоттки у нижній частині напівмосту

півмосту закриті, то неможливо коректно визначити  $V_1$  - напругу на лівому виводі індуктивності.

Важливими елементами схеми є два «перемикачі», які проводять перемикання струму для індуктивного елемента  $L$ . Верхня частина може бути представлена MOSFET (Польовий транзистор, зроблений по MOS-технології), як показано на рис. 1, транзисторами ВІТ або ІGBT. Ця частина керується джерелом сигналу ШІМ (широтно-імпульсна модуляція). Нижня частина може бути представлена іншим транзистором, з власним керуючим сигналом або за допомогою пасивного перемикаючого елемента, такого як діод Шоттки. Схеми з двома транзисторами можуть дати вищий коефіцієнт перетворення, але вимагають більш складного управління, особливо якщо необхідний широкий діапазон напруги виходу. Відносно більше падіння напруги на діоді Шоттки призводить до зменшення коефіцієнту перетворення енергії, але не вимагає додаткового контролю. У схемах з діодом перетворювач може працювати в різних режимах.

Частота ШІМ  $f_{pwm}$  визначає повний період контролю  $T_0$ , тоді як період часу  $T_1$ , протягом якого верхній перемикач відкритий, визначає робочий цикл  $\gamma$ :

$$T_0 = \frac{1}{f_{pwm}}, \quad \gamma = \frac{T_1}{T_0}, \quad \gamma \in [0, 1). \quad (1)$$

При створенні моделі, для першого наближення припускаємо, що більша частина елементів є ідеальною, тобто  $V_{cc} = \text{const}$ ,  $L = \text{const}$ . MOSFET в закритому стані характеризується практично нескінченним опором, у відкритому стані еквівалентний невеликому звичайному резистору, а перемикання відбувається миттєво. У таких припущеннях динаміка моделі визначається наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} C_1 \dot{V}_1(t) = \frac{pwm(t)(V_{cc} - V_1(t))}{R_{ch}} + I_d(V_1) - I_L(t), \\ L \dot{I}_L(t) = V_2(t) - V_1(t), \\ C_2 \dot{V}_2(t) = I_L(t) - \frac{V_2(t)}{R_h(t)}, \\ I_d(V) = I_s \left( \exp\left(\frac{V_1(t)}{N_d V_t}\right) - 1 \right). \end{cases} \quad (2)$$

У (2)  $pwm(t)$  - ШІМ сигнал (0 або 1);  $R_{ch}$  - опір каналу MOSFET у відкритому стані;  $I_d(V_1)$  - струм через діод Шотткі;  $R_h$  - опір навантаження (нагрівача для випаровування металу в вакуумі) та дрітків;  $I_s, N_d, V_t$  - параметри діода Шотткі. Інші значення наведені на рис. 1.

Незважаючи на простоту системи (2), отримання її чисельних рішень в реальних умовах викликає певні труднощі. Зокрема, для рівнянь системи використовуються різні часові масштаби [7]. Типове значення  $R_h$  - 10 мОм,  $C_1 \approx 10^{-10} \text{F} \dots 10^{-8} \text{F}$ . Отже, необхідний часовий крок у числовому розрахунку може бути меншим, ніж  $10^{-12} \text{с}$ . З іншого боку, значення  $C_2$  часто набагато більше, і необхідний повний час моделювання може досягти  $10^{-2} \dots 10^2 \text{с}$ . Це призводить до дійсно величезної кількості кроків моделювання, а також до великого обсягу виділеної пам'яті, якщо нам потрібна повна історія процесу. Для визначення можливих методів зменшення кількості розрахунків проведено ряд чисельних моделювань деяких типових випадків.

Значення компонентів схеми обирали для реального обладнання, яке використовувалося в процесі вакуумного термічного випаровування [1, 5]. Тому  $V_{cc} = 12 \text{V}$ ,  $f_{pwm} = 100 \text{kHz}$ ,  $C_1 = 10 \text{nF}$ ,  $C_2 = 6600 \mu\text{F}$ ,  $L = 10^{-5} \text{H}$ ,  $I_s = 2.42 \cdot 10^{-5} \text{A}$ ,  $N_d = 1.78$ ,  $\gamma \in [0.02; 0.7]$ ,  $R_h \in [0.1; 10] \Omega$ .

Використовуючи ці параметри, можна скласти множину безрозмірних значень. Найбільш цінні з них базуються на співвідношенні часових виразів з періодом ШІМ. Отже, визначаємо:

$$\beta_{LRh} = \frac{L}{R_h T_0}, \beta_{C1Rch} = \frac{C_1 R_{ch}}{T_0}, \beta_{C2Rh} = \frac{C_2 R_h}{T_0}, \beta_{C1L} = \frac{\sqrt{C_1 L}}{T_0}, \beta_{C2L} = \frac{\sqrt{C_2 L}}{T_0}. \quad (3)$$

В описаних вище умовах отримуємо:  $\beta_{LRh} \in [0.1 \dots 10]$ ,  $\beta_{C1Rch} = 10^{-5}$ ,  $\beta_{C2Rh} \in [66 \dots 6.6 \cdot 10^3]$ ,  $\beta_{C1L} \approx 3.16 \cdot 10^{-2}$ ,  $\beta_{C2L} \approx 26$ .

Надзвичайно низьке значення  $\beta_{C1Rch}$  підкреслює той факт, що процеси зарядки і розрядки  $C_1$  можуть бути знехтувані при моделюванні. У цьому випадку необхідно надати правильне визначення  $V_1(t)$ . Значення  $\beta_{C1L}$ ,  $\beta_{C2L}$  не мають видимого представлення в цій схемі, оскільки коливання не є передбачуваним режимом роботи.

Використовуючи даний діапазон  $R_h$ , отримуємо значення  $\beta_{LRh}$ ,  $\beta_{C2Rh}$  як більші, так і менші 1. Це означає, що у системі реалізуються різні режими роботи. Дійсно, належне значення  $R_h$ , яке може дати нам розумну потужність, набагато менше:  $R_h \in [0.1; 0.5] \Omega$ . Отже, у випадку  $R_h = 0.5 \Omega$  ми отримуємо  $\beta_{LRh} = 2$  (це означає, що індуктивний процес на гілці  $L - R_h$  має один і той самий порядок з  $T_0$ , але все ж трохи повільніше) і  $\beta_{C2Rh} = 3.3 \cdot 10^2$ . Це дійсно дає змогу ігнорувати зміни  $V_2(t)$  протягом одного циклу ШІМ.

На рис. 2 представлені результати моделювання з заданим набором параметрів  $\gamma = 0.1$ ,  $R_h = 0.5 \Omega$ ,  $V_2(0) = V_{20} = 0 \text{V}$ ,  $I_L(0) = I_{L0} = 0$ . При цьому масштабі часу зростання величини  $V_2(t)$  практично непомітне.

Щоб отримати цей результат, потрібно було зробити 5000000 кроків моделювання, протягом  $1 \cdot 10^{-11} \text{с}$  ( $\tau$ ) кожен. При збільшенні кроку часу до  $10^{-10} \text{с}$  процес моделювання стає нестійким. Проте отримані залежності достатньо прості, без складної поведінки.

Єдиним параметром, значення якого характеризується швидкими змінами, є  $V_1(t)$ . Гострий квадратичний графік, яким описуються ці значення, стає добре відомою кривою зарядки тільки якщо часовий крок близький до  $10^{-9}$ с. Стан  $I_L(t)$  далекий від стабільного, оскільки значення цього параметру збільшується після кожного періоду ШІМ. Значення  $V_2$  також збільшується, але через значну величину  $\beta_{C_2 R_h}$  це збільшення може бути неврахованим протягом одного періоду ШІМ ( $T_0$ ). Отже, за цих умов кожен період ШІМ можна поділити на дві частини. У кожній частині обидві залежності  $I_L(t)$  і  $V_2(t)$  близькі до лінійних. Залежність  $V_1(t)$  у видимій шкалі часу має два значення: близько  $V_{cc}$ , якщо  $\text{pwm}(t) = 1$ , і  $V_{dn} \approx -0.48\text{V}$  (напруга відкриття діода Шотткі) в іншому випадку. Ці факти можуть суттєво зменшити складність моделі, а отже, і кількість необхідних обчислювальних ресурсів.

На рис. 3 представлені результати моделювання з подібним набором параметрів:

$\gamma = 0.1$ ,  
 $R_h = 0.5\Omega$ ,  $V_{20} = 0.79\text{V}$ ,  
 $I_{L0} = 1.07\text{A}$ .

Основною відмінністю від попереднього варіанту моделювання є те, що початкові умови було обрано для забезпечення

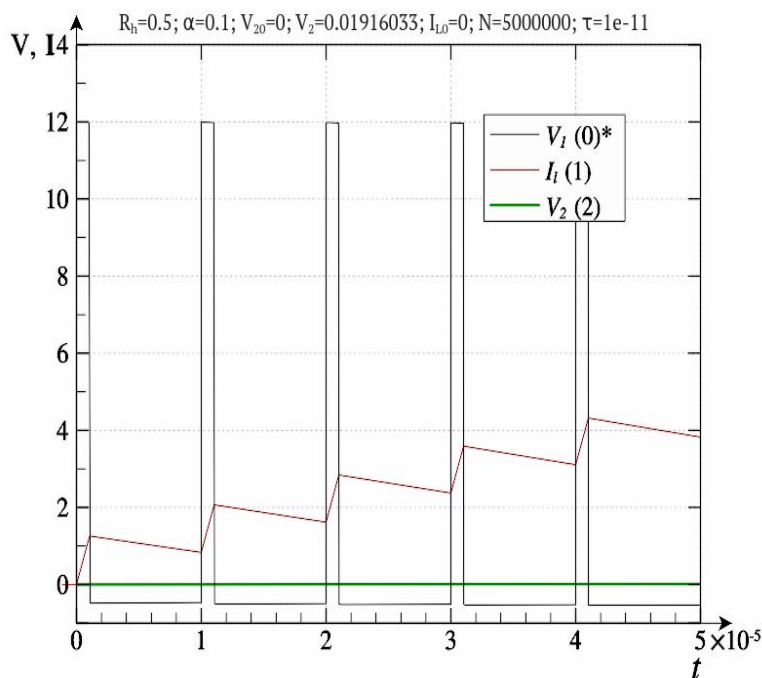


Рис. 2. Моделювання роботи buck-перетворювача при  $\gamma = 0.1$ ,  $R_h = 0.5\Omega$ ,  $V_{20} = 0\text{V}$ ,  $I_L(0) = I_{L0} = 0$

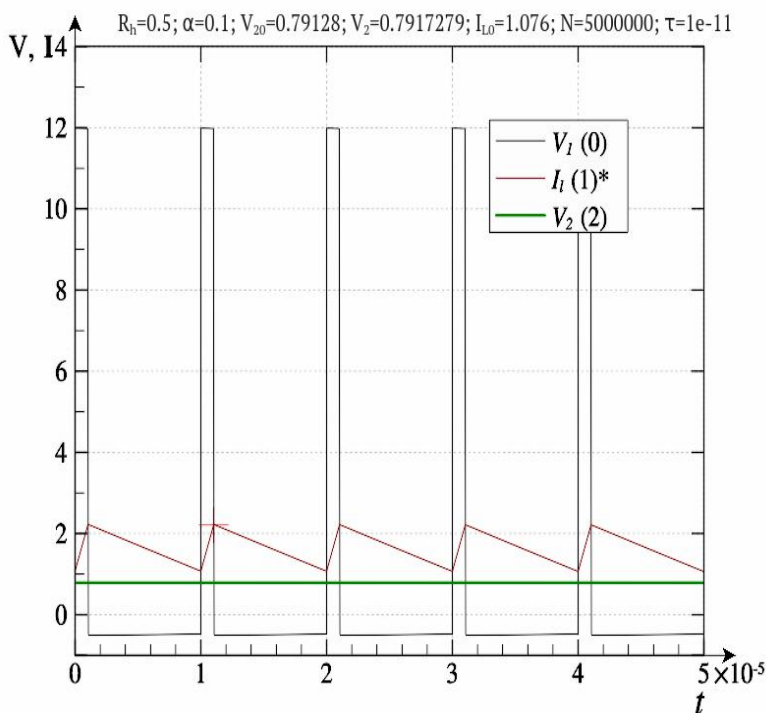


Рис. 3. Моделювання роботи buck-перетворювача при  $\gamma = 0.1$ ,  $R_h = 0.5\Omega$ ,  $V_{20} = 0.79\text{V}$ ,  $I_{L0} = 1.07\text{A}$

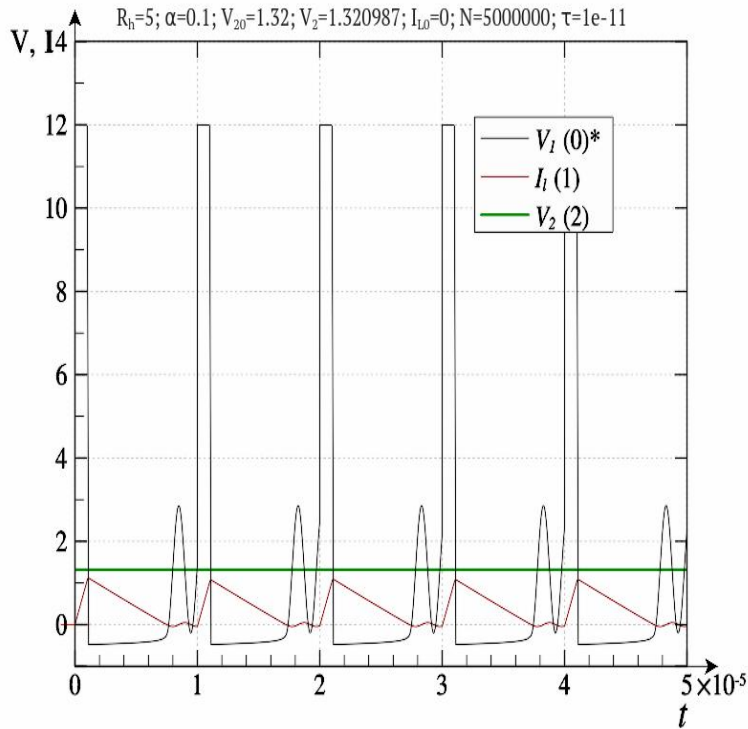


Рис. 4. Моделювання роботи buck-перетворювача при  $\gamma = 0.1$ ,

квазістаціонарної поведінки. Але головний результат такий самий: кожен період ШІМ можна поділити на дві прості частини.

На рис. 4 представлено суттєво інший результат. Вибір початкових умов був близьким до стаціонарних ( $\gamma = 0.1$ ,  $R_h = 5\Omega$ ,  $V_2(t) = V_{20} = 1.32\text{V}$ ), але модель демонструє більш складну поведінку. Перш за все, присутні принаймні 3 частини в кожному періоді ШІМ. Перший і другий показують поведінку, подібну до попередніх випадків, але магнітний потік в індукторі недостатньо потужний для підтримки безперервного струму. Цей режим відомий як «переривчастий режим провідності» (DCM). Більш того, у цій частині періоду ми можемо спостерігати

коливання  $V_1(t)$  і  $I_L(t)$ , але в реальних схемах його можна зменшити снаббером та іншими схемотехнічними засобами.

Цей поділ на 3 частини не спостерігається, якщо в нижній частині напівмосту використовується активний елемент. Але в цьому випадку ми можемо отримати змінний струм в індукторі, який не є бажаним для більшості цілей.

#### 4. Розробка спрощеної моделі перетворювача топології Buck

Як уже згадувалося раніше, якщо  $\beta_{C1Rch} \ll 1$  і інші безрозмірні значення не мають такої характеристики, то рівняння може бути спрощено. У цьому випадку необхідно задати  $V_1(t)$ . Щоб визначити ці значення, можна скористатися тим, що у використаних умовах існує 3 характеристичних значення: близько  $V_{cc}$ , якщо  $pwm(t) > 0$ ,  $V_{dn}$  або 0 в іншому випадку. Таким чином, система рівнянь набуває вигляду:

$$\begin{cases} L\dot{I}_L = V_2 - V_1(t), \\ C_2\dot{V}_2 - I_L = -\frac{V_2}{R_h}, \\ V_1(t) = \begin{cases} V_{cc} - R_{ch}I_L, & pwm(t) > 0, \\ V_{dn}, & pwm(t) = 0, I_L > 0, \\ 0, & pwm(t) = 0, I_L = 0. \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

Для цієї моделі необхідні додаткові схематичні обмеження:  $I_L(t) \geq 0$ .

Результати моделювання в умовах, аналогічних умовам першого варіанту моделювання (рис. 2), показані на рис. 5.

Результати моделювання досить близькі, а інші симуляції показують подібні результати. Найважливішою відмінністю є значення  $\tau$ : перша модель вимагає мінімальних значень, що приблизно дорівнюють  $10^{-11}$ , тоді як спрощена модель вимагає значення  $10^{-7}$ , тому обчислення в 1000 разів швидше, що вимагає менше пам'яті для зберігання результатів.

З використанням цих моделей було отримано залежності  $V_2(R_h, \gamma)$  у випадку фіксованих подібних значень.

На рис. 6 підсумкові результати моделювання представлені як  $V_2(R_h)$  - залежність для фіксованих  $\gamma$ .

Графік залежності поділяється на 3 частини: центральна частина відповідає безперервному режиму, де вихідна напруга практично не залежить від навантаження, ліва частина демонструє падіння напруги при високому навантаженні, а права частина відповідає переривчастому режиму.

На рис. 7 результати моделювання представлені як залежність  $V_2(R_h, \gamma)$ .

Результати показують, що для досягнення близьких до лінійних  $V_2(\gamma)$ -залежностей не-

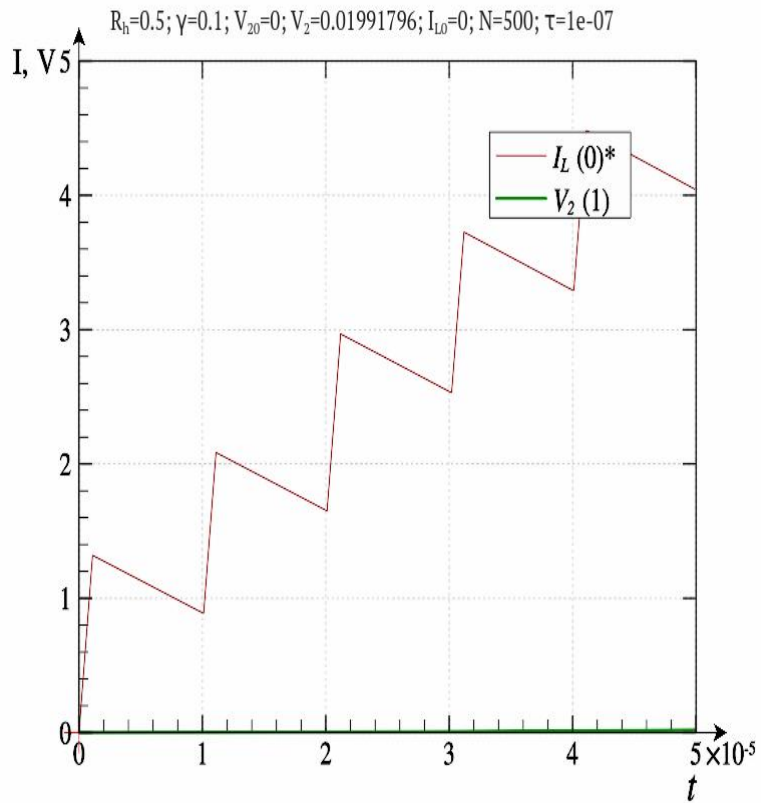


Рис. 5. Моделювання роботи buck-перетворювача при використанні спрощеної моделі:  $\gamma = 0.1$ ,  $R_h = 0.5\Omega$ ,  $V_{20} = 0V$ ,

$$I_L(0) = I_{L0} = 0.$$

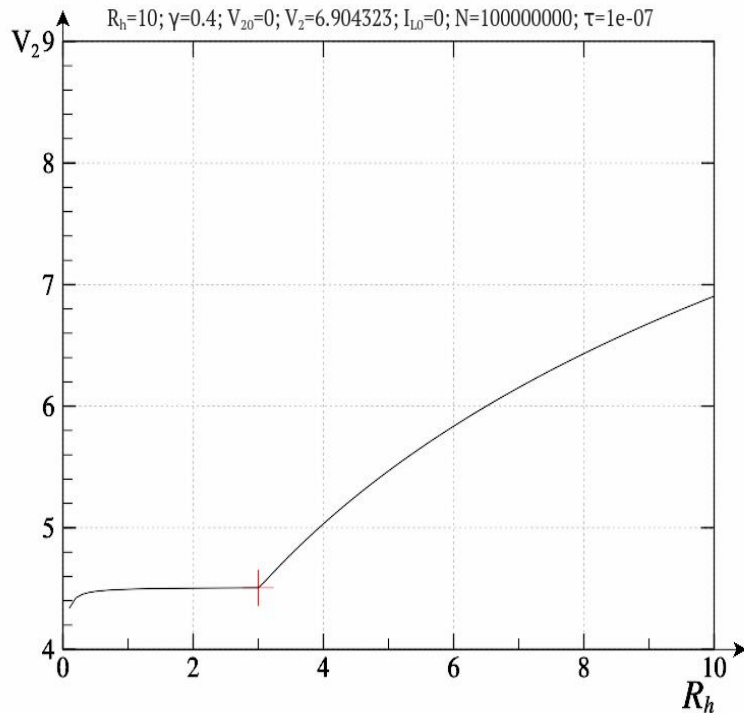


Рис. 6.  $V_2(R_h)$ -залежність для  $\gamma = 0.4$ , отримана за допомогою моделі (5)

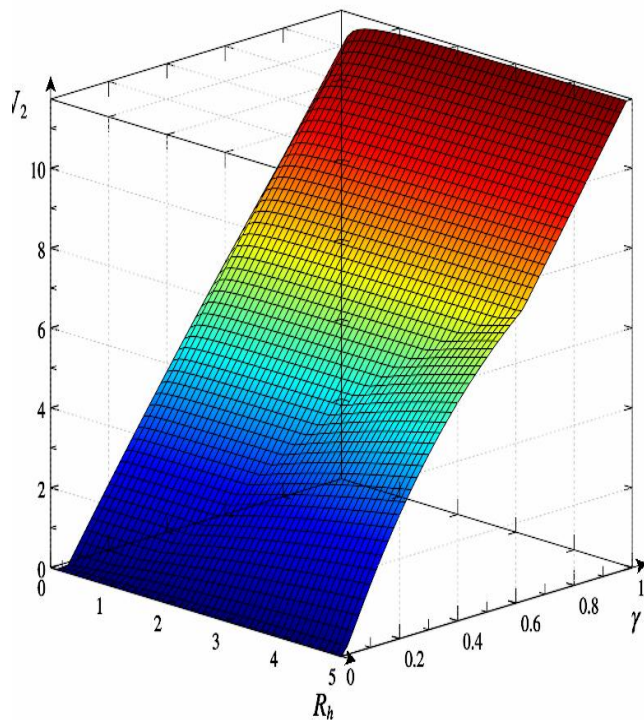


Рис. 7. Залежність  $V_2(R_h, \gamma)$   $\gamma = 0.4$ , отримана за допомогою моделі (5)

обхідно використовувати безперервний режим. Якщо діапазон  $R_h$  невеликий, це може бути виконано шляхом правильного вибору значень  $L$ ,  $f_{pwm}$ . Переривчастого режиму неможна уникнути, якщо  $\gamma$  швидко змінюється, але цей стан є перехідним.

У безперервному режимі реалізується ефективний вихідний опір  $R_s = R_{ch}\gamma$ , так що при низьких значеннях  $\gamma$  джерело живлення може управляти навантаженням з низьким опором без істотного падіння напруги.

### 5. Моделювання квазістаціонарного стану перетворювача

Результати попередніх моделювань показують, що в типових умовах для процесів у перетворювачі заряду існують 3 різні часові масштаби. Перший масштаб -  $10^{-11} \dots 10^{-9} \text{ s}$  - відповідає зарядці і розрядці  $C_1$ , другий -  $10^{-6} \dots 10^{-4} \text{ s}$  -

відповідає  $f_{pwm}$  і швидким змінам струму в індукторі, третій -  $10^{-3} \dots 10^2 \text{ s}$  - відповідає процесам зарядки та розрядки  $C_2$ . У третьому масштабі зміни обумовлені змінами опору навантаження, параметрами ШІМ або початковими умовами. Якщо ці значення фіксуються на постійному рівні, ми припускаємо, що перетворювач знаходиться в квазістаціонарному стані, оскільки зміни відбуваються в першому і другому масштабах часу. Для простоти будемо позначати цю ситуацію як «стаціонарний стан», маючи на увазі ці обмеження.

У цьому стаціонарному режимі:

$$\dot{V}_2 \approx 0, I_L(t) = I_L(t + n \cdot T_0). \quad (6)$$

Припустимо, що  $V_{cc} \gg |V_{dn}|$ ,  $V_{dn} \approx -0.48 \text{ V}$ . Що стосується нульового наближення, ми припускаємо, що  $I_L R_{ch} \ll V_{cc}$ .

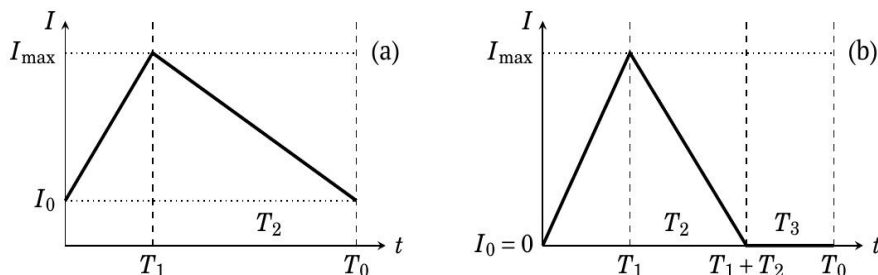


Рис. 8. Спрощені залежності  $I_L(t)$  для безперервних (а) і розривних (б) режимів

Схематичні зображення для одного циклу ШІМ представлені на рис. 8.

У безперервному режимі  $T_0 = T_1 + T_2$ ,  $I_0 \geq 0$ .

$$I_{\max} = I_0 + \frac{T_1}{L}(V_{cc} - V_2) = I_0 + \frac{T_2}{L}(V_2 - V_{dn}). \quad (7)$$

$$V_2 = V_{cc} \frac{T_1}{T_0} + V_{dn} \left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right) = V_{cc}\gamma + V_{dn}(1 - \gamma). \quad (8)$$

Рівняння часто спрощується до  $V_2 \approx V_{cc}\gamma$ , але при низьких значеннях  $\gamma$  це призводить до істотних помилок. З іншого боку, рівняння дає неправильні (від'ємні) результати при низьких значеннях  $\gamma$ , але в цьому випадку умови стану ССМ не виконуються.

Як можемо бачити, значення  $I_0$ ,  $R_h$  в цьому розрахунку не з'являються, тому точка балансу в даному випадку не залежить від навантаження. Але існує обмеження:  $I_0 \geq 0$ . Тому можна визначити  $I_0$ , використовуючи балансне рівняння:

$$q_{\text{in}} = T_0 I_0 + \frac{T_0 T_1}{2L}(V_{cc} - V_2) \approx T_0 I_0 + \frac{T_0^2 \gamma V_{cc}}{2L}(1 - \gamma), \quad (9)$$

$$q_{\text{out}} = T_0 \frac{V_2}{R_h} \approx \frac{T_0 V_{cc} \gamma}{R_h}. \quad (10)$$

$$I_0 = \frac{V_{cc} \gamma}{R_h} - \frac{T_0 \gamma V_{cc}}{2L}(1 - \gamma) = V_{cc} \gamma \left( \frac{1}{R_h} - \frac{T_0(1 - \gamma)}{2L} \right) = \frac{V_{cc} \gamma}{R_h} \left( 1 - \frac{T_0 R_h (1 - \gamma)}{2L} \right). \quad (11)$$

Виходячи з цього, умовою безперервного режиму стає:

$$\frac{T_0 R_h (1 - \gamma)}{2L} \leq 1, \quad \text{or} \quad \gamma \geq 1 - \frac{2L}{T_0 R_h} = \gamma_{\text{crit}}. \quad (12)$$

У розривному режимі умова  $I_L(0) = I_L(T_0) = 0$  виконується автоматично, тому визначити  $V_2$  з цього рівняння неможливо. Визначимо невідомі величини наступним чином:

$$\frac{T_0 \gamma V_{cc}}{2L}(1 - \gamma). \quad (13)$$

$$I_{\max} = \frac{T_1}{L}(V_{cc} - V_2) = \frac{T_2}{L}V_2, \quad (14)$$

$$q_{\text{in}} = \frac{T_1^2}{2L}(V_{cc} - V_2) + \frac{T_2^2}{2L}V_2. \quad (15)$$

$$q_{\text{out}} = \frac{T_0 V_2}{R_h}. \quad (16)$$

Вирішивши одночасно:

$$\begin{cases} T_1 V_{cc} - T_1 V_2 - T_2 V_2 = 0, \\ T_1^2 V_{cc} - T_1^2 V_2 + T_2^2 V_2 = 2T_0 L V_2 / R_h, \end{cases} \quad (17)$$

отримаємо:

$$T_2 = -\frac{\sqrt{R_h^2 T_1^2 + 8LR_h T_0} + R_h T_1}{2R_h}, V_2 = -\frac{T_1 \sqrt{R_h^2 T_1^2 + 8LR_h T_0} V_{cc} + R_h T_1^2 V_{cc}}{4LT_0}, \quad (18)$$

$$T_2 = -\frac{T_1}{2} + \frac{1}{2R_h} \sqrt{R_h^2 T_1^2 + 8LR_h T_0} = -\frac{T_{0\gamma}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{T_0^2 \gamma^2 + \frac{8LT_0}{R_h}} = \frac{T_0}{2} (\sqrt{\gamma^2 + 8\beta_{LRh}} - \gamma) \quad (19)$$

Ці розрахунки добре узгоджуються з результатами, наведеними в попередньому розділі, тому можуть бути використані у випадках, коли швидка динаміка  $R_h$  і  $\gamma$  не спостерігається.

### 6. Порівняння результатів моделювання з реальними експериментальними даними

Для керування потужністю нагрівача у вакуумі була розроблена система керування, яка включає в себе силову топологію buck, вимірюючий комплекс на основі INA226 та керуючу плату на основі STM32F407VBT.

Для перевірки результатів моделювання було проведено серію експериментів з реальним обладнанням, що розроблено. Досліджено реальний конвертер та нагрівач з тонкої металевої плівки у вакуумному пристрої. При фіксованих величинах  $\gamma$  були отримані залежності  $V_2(R_h)$ . Для моделювання було використано квазістаціонарний підхід з урахуванням додаткового падіння напруги. Результати показані на рис. 9.

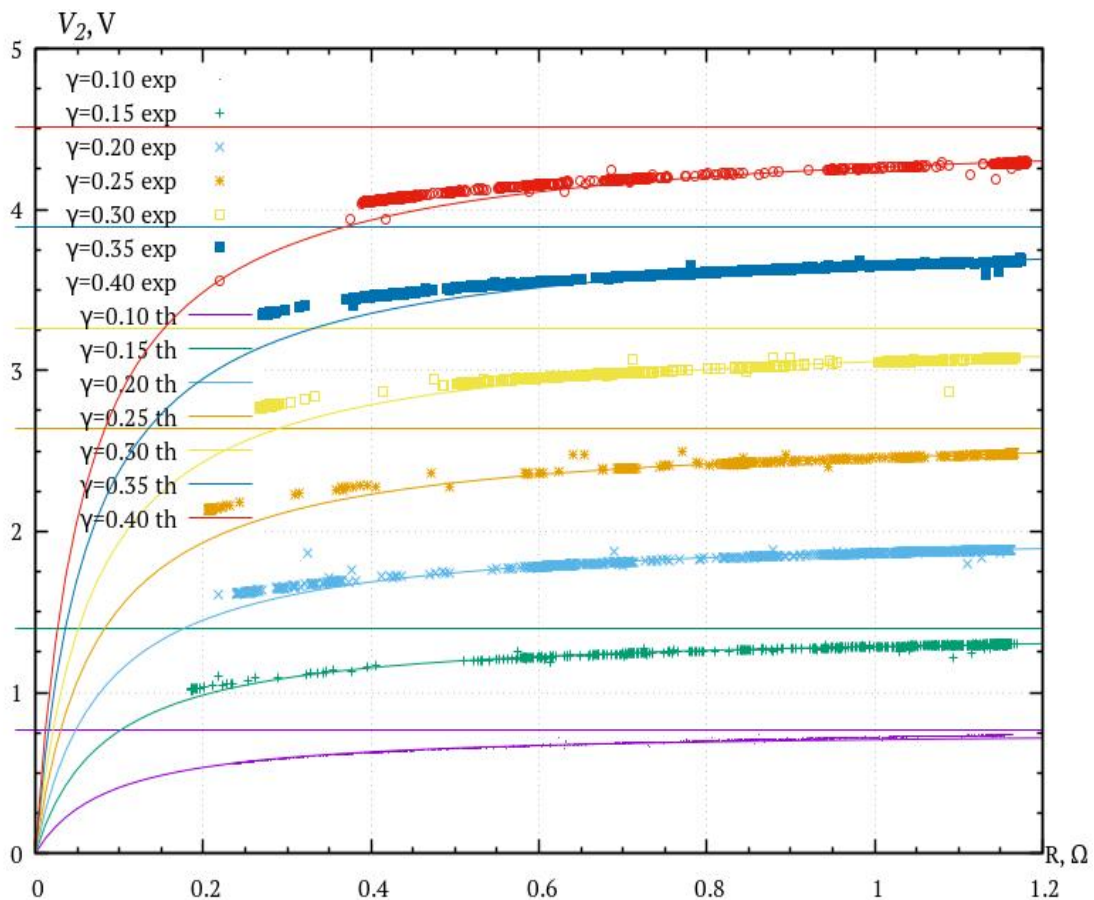


Рис. 9. Реальні (exp) та модельні (th) залежності  $V_2(R_h, \gamma)$



Різницею між реальним експериментом і квазістаціонарною моделлю можна знехтувати в більшості діапазонів, крім режиму надзвичайно великого навантаження. Тим не менш, це джерело живлення дає результати, придатні для практичного використання, а модель можна вважати адекватною.

З використанням залежностей, отриманих за допомогою цієї моделі, була розроблена система управління потужністю нагрівача. Система управління включає в себе перетворювач топології buck, вимірювальний комплекс на основі INA226 та керуючу плату на базі STM32F407VBT. Спеціалізована мікросхема INA226 дозволяє вимірювати як струм за допомогою зовнішнього шунта, та і напругу. Перетворення здійснюється вбудованим у INA226 16-бітним АЦП, та результат передається у контролер за протоколом I2C. Результати експериментальних досліджень показали, що використання вбудованого у мікроконтролер АЦП (із зовнішнім підсилювачем та фільтром), незважаючи на можливість значно зменшити час перетворення, дає незадовільні результати завдяки високому рівню шумів вимірювання, особливо при отриманні сигналу з шунта. Кращі, але недостатньо адекватні результати були отримані при використанні зовнішнього АЦП ADS1115.

ШІМ сигнал було синтезовано контролером за допомогою advanced-control таймеру TIM1. Відносно велика вхідна частота таймеру дозволила управляти параметрами ШІМ сигналу практично без помітної дискретизації.

Час циклу вимірювання, обробки значень, управління та виводу даних в UART складав 10 ms. Цей час виявився достатнім як безпосередньо для цілей управління, так і для отримання часових характеристик нагрівача.

Розроблена система управління дозволяє підтримувати не тільки стабільну потужність, а й вихідний струм або напругу. При цьому задане значення задається кусково-лінійною функцією. На графіку (рис. 10) представлені залежності заданої та отриманої потужності на нагрівачі від часу.

На наступному графіку (рис. 11) показані відхилення отриманої потужності на нагрівачі від заданої. Максимальне відхилення було отримано у той час, коли матеріал, що було призначено для випаровування, перейшов до рідкої фази та опір нагрівача суттєво змінився за час, значно менший за час циклу вимірювання та управління. Але це відхилення було скомпенсоване вже на наступному кроці, а теплова інерція системи дозволяє ігнорувати такі короткочасні та невеликі відхилення.

## 7. Висновки

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

Аналітичні залежності у вигляді наведених рівнянь описують багато особливостей поведінки перетворювача топології buck, але їх чисельне моделювання вимагає значних обчислювальних ресурсів.

У той же час в багатьох практичних випадках можна використовувати програмно-апаратну реалізацію моделі, що запропоновано у роботі, яка потребує в  $\sim 10^4$  раз менше ресурсів та дає досить адекватні результати.

З іншого боку, слід відзначити, що запропонований квазістаціонарний підхід дав відповідні аналітичні результати, які подальше були використані в симуляції у випадку, коли  $R_h$  і  $\gamma$  змінюються повільно.

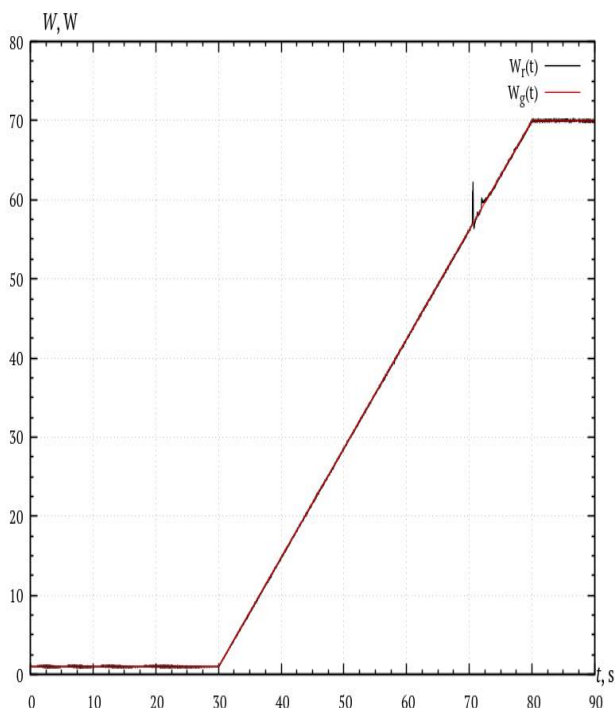


Рис. 10. Задана  $W_g(t)$  та отримана  $W_r(t)$  потужність на нагрівачі

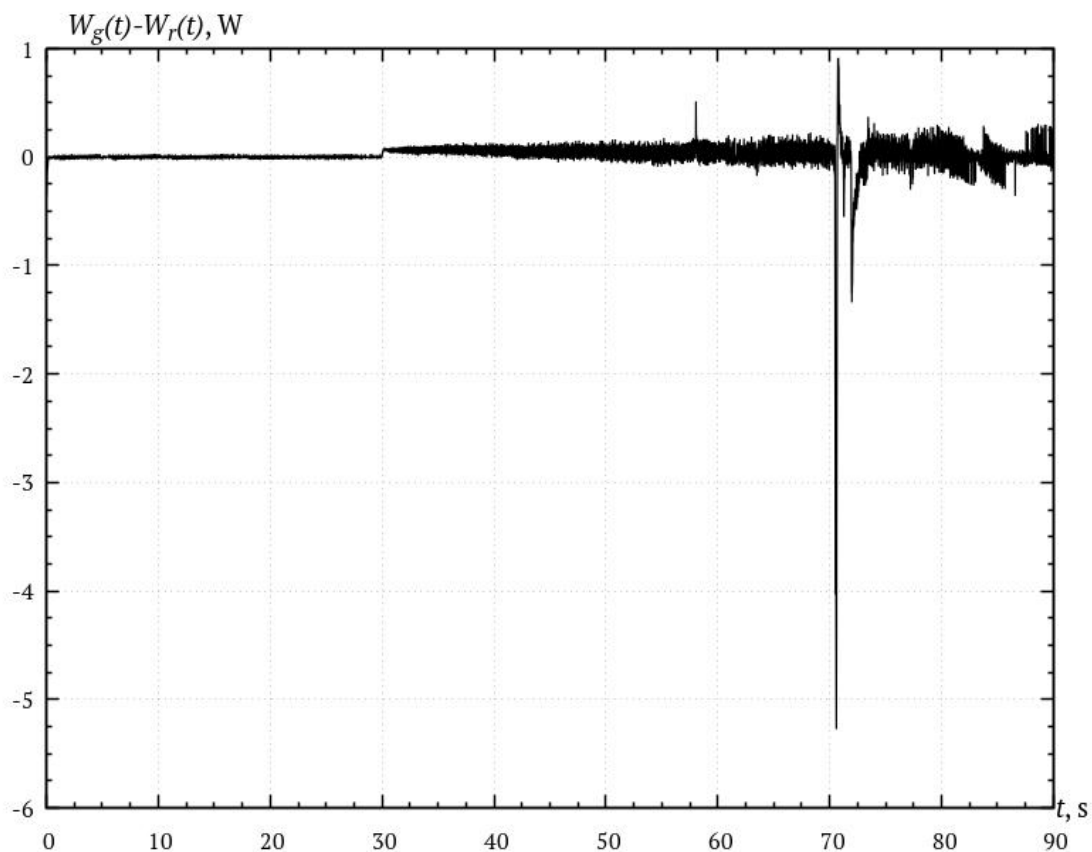


Рис. 11. Різниця між заданою та отриманою потужністю на нагрівачі

Порівняння з даними, що були отримані в реальному експерименті, підтвердило адекватність запропонованих моделей і методів. Це дозволило створити ефективну систему управління потужністю нагрівача для

термічного випаровування металу у вакуумі (рис. 12).



Рис. 12. Система керування нагрівачем в вакуумі

**Список літератури:** 1. Михалев А. И., Гуда А. И., Зимогляд А. Ю., Ковтун В. В. Моделирование фрактальных структур функциональных покрытий с учетом скорости напыления // Вісник ХНТУ. 2018. № 3 (66). С. 115-120. 2. Зимогляд А. Ю., Гуда А. И., Ковтун В. В. Журба А. А. Исследование зависимости коэффициента трения металлических пленок от фрактальной размерности // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. 2018. № 2 (115). С. 9-13. 3.

Heavens O.S. Measurement of the Optical Constants of Thin Films // CRC Press. 1995. 195 p. 4. Carroll F., Joseph H., Oxley, Blocher J. M. Powell Vapor Deposition. The Electrochemical Society series // New York: Wiley, 1966. 158 p. 5. Mattox Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control / Mattox, M. Donald // Westwood, N.J.: Noyes Publications, 1998. 944 p. 6. Mahesh Gowda, N.M., Kiran, Y. and Parthasarthy, S.S. Modelling of buck DC-DC converter using Simulink // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. July. Vol. 3. No. 7. P. 14965-14975. 7. Horovits P., Hill W. The Art of Electronics. -Moscow: Mir, 1995. 154 p. 8. Steve Roberts. DC/DC book of knowledge / Steve Roberts // RECOM Group Gmunden, 2014. - 234 p. 9. Mude, N.R. and Sahu, A. Adaptive control schemes for DC-DC buck converter // International Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 2. No. 3. P. 463-467.

Надійшла до редколегії 15.04.2019

**Михальов О.І.**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем Національної Металургійної Академії України. Наукові інтереси: сучасні проблеми управління та моделювання складних систем. Адреса: Україна, 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

**Зимогляд А.Ю.**, асистент кафедри інформаційних технологій і систем Національної Металургійної Академії України. Наукові інтереси: вакуумна техніка; тонкоплівкові покриття; автоматизація виробництва; електроніка; високовольтні прилади. Адреса: Україна, 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

**Гуда А.І.**, д-р техн. наук, професор кафедри інформаційних технологій і систем Національної Металургійної Академії України. Наукові інтереси: моделювання та ідентифікація динамічних систем, хаотична динаміка. Адреса: Україна, 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

УДК 519.171

DOI: 10.30837/0135-1710.2019.176.027

*В.Л. ШЕРГИН, Д.В. ЛЫМАРЕНКО, М.Р. ПОЛИИТ*

## **МОДЕЛЬ ЭЛАСТИЧНОЙ МАСШТАБНО-ИНВАРИАНТНОЙ НЕОРИЕНТИРОВАННОЙ СЕТИ**

Рассматривается модель графа, обладающего разными скоростями относительного прироста числа рёбер и вершин. Такой граф называется эластичным. Рассматриваются свойства показателя эластичности и его связь с фрактальной размерностью. Базовые концепции масштабно-инвариантной сети - роста и преимущественного присоединения - дополняются концепцией эластичности. В результате получена модель эластичной неориентированной масштабно-инвариантной сети. Такой подход позволяет распространить рассматриваемый класс моделей на плотные сети, для которых степени вершин распределены по закону Ципфа или близкому к нему.

### **1. Введение**

Модели масштабно-инвариантных сетей (МИС, SF - scale-free networks) считаются наиболее адекватным отражением свойств сетей реального мира, таких как всемирная паутина, сети цитирования и т.п. [1]. Развитие и применение таких моделей для сетей реального мира является перспективным направлением научных исследований.

Теория масштабно-инвариантных сетей основывается на двух фундаментальных концепциях: концепции роста и концепции преимущественного присоединения [2]. Однако, несмотря на очевидную полезность таких моделей, они имеют определенные недостатки и ограничения. Например, для классических моделей МИС значение показателя распределения степеней вершин превышает два, в то время как существуют такие сети, для которых этот показатель равен двум (что соответствует закону Ципфа) или меньше [3]. Кроме того, существует широкий класс сетей, для которых средняя степень вершин имеет тенденцию к увеличению по мере роста времени наблюдения, но эта зависимость или не рассматривается вообще, или рассматривается как внешний фактор модели. Более того, показатель распределения степеней вершин в классических моделях МИС напрямую зависит от среднего значения этой степени, то есть от параметра, имеющего масштаб. Во избежание указанных ограничений было предложено [4] расширить список базовых концепций (рост и преимуще-

ственное присоединение) концепцией различной относительной скорости увеличения количества рёбер и вершин, то есть концепцией эластичности.

В данной работе предлагается модификация модели масштабно-инвариантной сети, построенной с использованием неединичной эластичности.

## 2. Показатель эластичности графа

Пусть граф  $G(V, E)$  изначально содержит две вершины, соединённые ребром. В каждый момент времени к дереву добавляется одна вершина и одно ребро, таким образом,  $V(t) = t + 1$ ,  $E(t) = t$ ,  $\Delta V(t) = 1$ ;  $\Delta E(t) = 1$ .

Сравним относительные скорости прироста количества вершин  $\delta V(t) = \Delta V(t) / V(t)$  и рёбер  $\delta E(t) = \Delta E(t) / E(t)$ :

$$\delta E(t) = 1 \cdot \delta V(t-1). \quad (1)$$

Рассмотрим другой крайний случай - полный граф. При тех же начальных условиях ( $V(1) = 2$ ,  $E(1) = 1$ ) добавляемая вершина соединяется со всеми существующими, то есть  $\Delta E(t) = E(t+1) - E(t) = t + 1$ ,  $E(t) = t(t+1) / 2$ . Таким образом, для полного графа

$$\delta E(t) = 2 \cdot \delta V(t-1). \quad (2)$$

Рассмотренные крайние случаи проиллюстрированы на рис. 1.

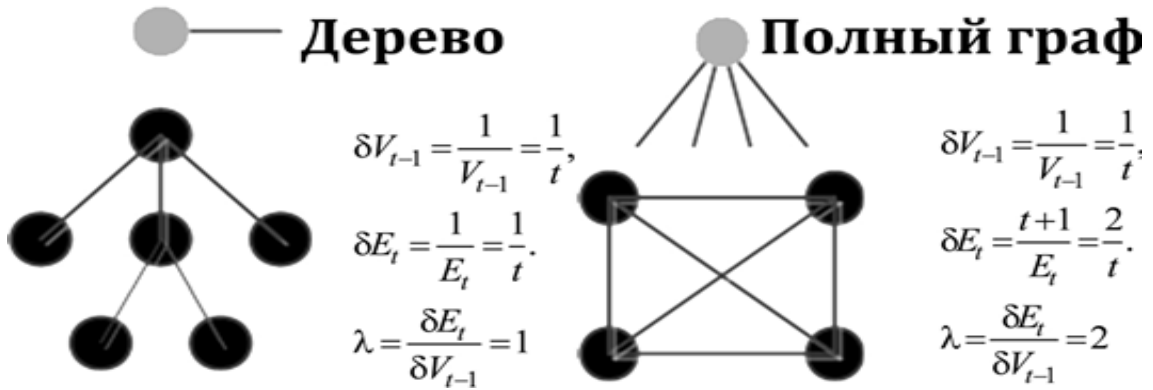


Рис. 1. Соотношения между относительными приростами числа рёбер и вершин

Очевидно, что выражения (1) и (2) можно обобщить на промежуточный случай  $1 < \lambda < 2$ :

$$\delta E(t) = \lambda \cdot \delta V(t) \cdot \frac{t+1}{t} = \lambda \cdot \delta V(t-1). \quad (3)$$

Параметр  $\lambda$  является эластичностью, то есть отношением относительного прироста количества рёбер к относительному приросту количества вершин:

$$\lambda = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\delta E(t)}{\delta V(t-1)}. \quad (4)$$

Стоит отметить, что в теории сетей термин "эластичность" применяется в другом смысле - как мера устойчивости сети при удалении узлов [5]. Однако в более общем математическом смысле этот термин широко употребляется именно как отношение относительных скоростей приростов функции и аргумента [4], чем и обосновывается применение этого термина в данной работе.

Одним из важных и полезных приложений понятия эластичности является то, что она устанавливает соответствие между скоростью прироста количества рёбер  $\Delta E(t)$  и текущим средним значением этого количества  $e(t)$ . Если коэффициент эластичности  $\lambda$  фиксирован, а количество вершин служит, как обычно, мерой времени ( $\Delta V(t) = 1$ ), то, согласно (3), получим:

$$\Delta E(t) = \lambda \frac{E(t)}{V(t)} \cdot \frac{t+1}{t} \approx \lambda \cdot e(t). \quad (5)$$

Таким образом, значение  $\lambda > 1$  показывает, что каждая новая вершина добавляет в среднем больше ребер, чем имеется в данный момент времени. Следует отметить, что во всех существующих моделях МИС это соотношение равняется единице ( $\lambda = 1$ ).

Из (4)-(5) следует, что количество рёбер в сети составляет

$$E(V) = \frac{\Gamma(V + \lambda - 1)}{\Gamma(V - 1)\Gamma(\lambda + 1)} = \frac{1}{\lambda \cdot B(V - 1, \lambda)}. \quad (6)$$

Можно отметить, что в предельном случае  $E(V) \xrightarrow{V \rightarrow \infty} CV^\lambda$ , что соответствует степенному закону распределения.

Очевидно, что коэффициент эластичности можно использовать как безмасштабную меру плотности сети (графа).

Более того, согласно [6], коэффициент эластичности растущей сети является его фрактальной размерностью в том случае, если измерять размер сети количеством вершин, а под единичным множеством понимать ребро.

Так, фрактальная размерность Минковского (box-counting dimension) для растущего объекта, определяется как

$$d = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\log N(R)}{\log R}, \quad (7)$$

где  $N(R)$  - количество кубов с единичной стороной, необходимых для покрытия объекта диаметром  $R$ .

Согласно правилу Лопиталья, граница растущего объекта (7) в случае существования таковой равна

$$d = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{d(\log N(R))}{d(\log R)} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{dN/N}{dR/R}. \quad (8)$$

Для дискретных структур выражение (8) приобретает вид

$$d = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\delta N}{\delta R}. \quad (9)$$

Представляется целесообразным применить концепцию эластичности (то есть различной относительной скорости увеличения количества рёбер и вершин) к модели масштабно-инвариантной сети.

### 3. Модель эластичной масштабно-инвариантной неориентированной сети

Наиболее известной моделью неориентированной МИС со степенным распределением является модель Барабаши-Альберт (БА), которая основана на следующих правилах: граф является неориентированным; начальное количество вершин и рёбер ограничено; на каждом шаге к графу добавляется одна новая вершина (концепция роста), которая связана с существующими; концы добавляемых рёбер (то есть связи) распределяются между имеющимися вершинами в соответствии с правилом преимущественного присоединения: вероятность того, что новое ребро инцидентно некоторой вершине  $i$ , пропорциональна её степени  $k_i$  [2].

Предположим, что начальный граф состоит из двух вершин и одного ребра. Обозначим количество вершин, имеющих степень  $k$ , как  $V(k, t)$ , их общее количество в данный момент времени  $t$  как  $V(t)$ , а общее количество рёбер как  $E(t)$ . Рассматривая процесс добавления дуг как процесс Бернулли, получим балансовое уравнение

$$V(k, t+1) = V(k, t) + m(t)(-w(k, t) + w(k-1, t)), \quad (10)$$

где  $w(k)$  - вероятность того, что новое ребро соединяется с некоторой вершиной степени  $k$ :

$$w(k) = \frac{k}{2m} p(k) . \quad (11)$$

Согласно (5), если коэффициент эластичности отличен от единицы, то среднее число дуг  $m(t)$ , которые добавляются в сеть, будет зависеть от текущего количества рёбер и будет расти с течением времени. В этом проявляется отличие предлагаемой модели от классической (то есть БА-модели).

Уравнение (10) имеет асимптотически стационарное решение  $V(k, t) = t \cdot p_k$ , причём из (5) и (11) следует, что вероятности распределения степеней вершин  $p_k$  удовлетворяют уравнению

$$p_k = \frac{\lambda}{2} (-kp_k + (k-1)p_{k-1}) . \quad (12)$$

Из (12) следует, что степени вершин распределяются по закону Юла-Саймона, который является дискретным аналогом степенного закона [2] и асимптотически совпадает с ним:

$$p_k = (\theta - 1)B(k, \theta) = C \frac{\Gamma(k)}{\Gamma(k + \theta)} , \quad (13)$$

где  $B(x, y)$ ,  $\Gamma(x)$  - соответственно, бета- и гамма-функции Эйлера.

Показатель распределения (12) (скейлинг-фактор) имеет вид

$$\theta = 1 + \frac{2}{\lambda} . \quad (14)$$

В то же время, для стандартной БА-модели ( $\lambda = 1_{+0}$  и  $m = const$ ) этот показатель имеет существенно иной вид:

$$\theta = 2 + 1/m . \quad (15)$$

Из сопоставления (14) и (15) следует, что использование концепции эластичности позволяет применять масштабно-инвариантные модели для сетей, которые имеют показатель распределения степеней вершин, близкий к двум, что соответствует закону Ципфа.

#### 4. Выводы

Рассматривается коэффициент эластичности как безмасштабная мера плотности растущего графа, устанавливающая соотношение между скоростями прироста числа вершин и рёбер. Этот показатель может рассматриваться как фрактальная размерность графа. Представлена модель масштабно-инвариантной неориентированной сети. Использование различных относительных темпов роста количества рёбер и вершин позволяет применять масштабно-инвариантные модели для плотных сетей, что существенно расширяет область применения таких моделей.

**Список литературы:** 1. *Choromanski, K.; Matuszak, M.; MieKisz, J.* Scale-Free Graph with Preferential Attachment and Evolving Internal Vertex Structure // *Journal of Statistical Physics*. 2013. № 151 (6). С. 1175-1183. 2. *Albert, R., Barabasi A.-L.* Statistical mechanics of complex networks // *Rev. Mod. Phys.* 2002. V. 74. P. 42-97. 3. *Newman, M.E.J.* Power laws, Pareto distributions and Zipf's law // *Contemporary Physics*. 2005. No. 46 (5). P. 323-351. 4. *Shergin V.L., Chala L.E.* The concept of elasticity of scale-free networks // *Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*. 2017. V. 62. P. 254-258. 5. *Снарский А.А., Ландэ Д.В.* Моделирование сложных сетей. К.: НТУУ «КПИ», 2015. 212 с. 6. *Shergin V.L., Chala L.E., Udovenko S.G.* Fractal dimension of infinitely growing discrete sets // *Advanced trends in rsdioelectronics, telecommunications and computer engineering (TCSET-2018)*. 2018. No. 348

*Надійшла до редколегії 14.01.2019*

**Шергин Вадим Леонидович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: интеллектуальный анализ данных, хаос и фракталы. Адрес: Украина, 61166, г. Харьков, пр. Науки, 14. Тел.: (057)702-13-37.

**Лымаренко Дмитрий Владимирович**, аспирант кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: моделирование масштабно-инвариантных сетей. Адрес: Украина, 61166, г. Харьков, пр. Науки, 14. Тел.: (057)702-13-37.

**Полиит Максим Русланович**, аспирант кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: теория графов и ее прикладные аспекты. Адрес: Украина, 61166, г. Харьков, пр. Науки, 14. Тел.: (057)702-13-37.

*О.В. ГРИГОР'ЄВ, Ю.О. ЩЕРБАКОВА*

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ДОБРОВІЛЬНОЇ І ОБОВ'ЯЗКОВОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Сертифікація, як засіб підтвердження якості друкованої продукції та інструмент для підвищення конкурентоспроможності й виходу на зовнішній ринок, є одним із заходів системи управління якістю поліграфічного бізнесу. Проведено дослідження процесу проведення сертифікації в Україні, розглянуті особливості і переваги добровільної і обов'язкової сертифікації. Визначені основні переваги кожного виду сертифікації.

### **1. Вступ**

Незважаючи на широке розповсюдження комп'ютеризованих засобів масової інформації, друкована продукція залишається одним з головних таких засобів і використовується для обміну знаннями, вираження громадської думки, є одним з джерел світових новин і духовно-релігійних цінностей, а також несе в собі історію і документовані факти. Галузь промисловості, що займається виробництвом і виготовленням друкованої продукції, прийнято називати поліграфією. Друкована продукція, що випускається на даний момент, розрізняється по виду, техніці і призначенням. Тому існують різні системи її класифікації. За однією з таких систем, до друкованої продукції відноситься газетна, книжкова, журнальна, етикетково-пакувальна і ділова продукції. Інша система пропонує розділяти друковану продукцію на такі групи:

- до першої групи відноситься ділова поліграфія (блокноти, бланки, папки, візитки, конверти тощо);
- до другої групи відноситься книжково-журнальна продукція, яка випускається великим накладом (друковані журнали, книги, навчальна література тощо);
- до третьої групи відноситься рекламна продукція (каталоги, плакати, афіші, листівки, брошури, етикетки, флаєри);
- до четвертої групи відноситься календарна продукція, яка є найбільш багатофункціональною поліграфічною продукцією [1].

У міжнародній практиці керування виробництвом кожної з груп друкованої продукції базується на створенні та використанні системи управління якістю продукції. Найпоширенішим способом підтвердження якості продукції у поліграфії є сертифікація - комплекс дій, спрямованих на отримання сертифікату відповідності якості продукції або підприємства певним стандартам і нормам. Сертифікація здійснюється в обов'язковому або добровільному порядку третьою стороною - акредитованою компетентною і незалежною організацією, визнаною на міжнародному рівні.

Слід враховувати, що для проведення сертифікації виробникам необхідно продумати цілі, на досягнення яких буде спрямовано сертифікацію, загальний план і основні аспекти сертифікації, розрахувати витрати часу і фінансів, трудомісткість і бар'єри, які можуть виникнути в ході перевірки. Тим не менше, як показує зарубіжний досвід, сертифікація отримує все більш широке застосування. Одна з головних причин такого поширення полягає в тому, що підготовча робота, яка проводиться в ході сертифікації, дозволяє виявити недоліки в системі забезпечення якості конкретного виробу або підприємства, сформулювати цілі та задачі досягнення необхідної якості, визначити і здійснити необхідні заходи у всіх ланках і етапах виробництва (від розробки технічної документації до здійснення взаємодії з покупцем в процесі експлуатації продукції). Тому аналітичні дослідження особливостей проведення сертифікації в Україні мають теоретичну та практичну актуальність для управління якістю як аспекту управління поліграфічним бізнесом.

### **2. Аналіз особливостей висвітлення проблем сертифікації в сучасних дослідженнях**

Сучасний стан науково-дослідницьких публікацій в галузі сертифікації українських поліграфічних підприємств можна охарактеризувати як вкрай недостатній. Переважна більшість результатів досліджень застарілі та втратили свою інформативність. Публікації в основному містять інформацію щодо особливостей добровільної або обов'язкової сертифікації

закордонних підприємств. Тому такими, що заслуговують найбільшої уваги у обраній галузі дослідження, нами визнано статті [2] та [3].

В статті [2] описуються види міжнародних стандартів в області якості: стандарти на продукцію (специфікація продукції, специфікація виробництв, показники якості, засоби і методи контролю тощо) і стандарти забезпечення якості, пов'язані з постачальником. У [2] мова йде про стандарти якості, що відіграють вкрай важливу роль у встановленні конкретних зв'язків між споживачем і виробником і є фундаментом для вирішення виникаючих проблем під час управління якістю продукції. Хороші перспективи в цьому напрямку, як відзначено у [2], має концепція загального управління якістю. Однак, в [2] немає інформації про добровільну й обов'язкову сертифікації, хоча це джерело слід визнати найбільш повним сучасним дослідженням на тему сертифікації.

Стаття [3] розкриває підтвердження відповідності товарів певним нормам - добровільним (у формі добровільної сертифікації) або обов'язковим (в формах прийняття декларації про відповідність та обов'язкової сертифікації). Також вказано, що основна мета проведення обов'язкової сертифікації товарів (робіт, послуг) - підтвердження їх безпеки для життя, здоров'я споживача, навколишнього середовища та запобігання заподіяння шкоди майну споживача. Добровільна сертифікація дозволяє кількісно характеризувати рівень якості продукції за екологічними показниками, які містяться в особливому документі - екологічному сертифікаті. Об'єктом дослідження, якому присвячено статтю [3], є добровільна екологічна сертифікація, а саме, інформованість виробника і споживача як фактор підвищення якості життя. Мета дослідження у [3] полягає у визначенні співвідношення між інформаційною складовою сертифікаційного процесу і рівнем життя населення. Але тема статті [3] не зачіпає поліграфічну сферу.

Таким чином, слід визнати необхідність проведення досліджень особливостей добровільної та обов'язкової сертифікації друкованої продукції та поліграфічних підприємств України, особливостей, недоліків і переваг сертифікації у сфері поліграфічного виробництва.

### **3. Задачі й мета дослідження**

Мета даного дослідження полягає в збиранні та обробці даних про особливості, переваги і недоліки проведення обов'язкової та добровільної сертифікації для поліграфічного виробництва і друкованих видань в цілому. При цьому планується використовувати отримані результати як вихідні дані для подальшого проведення SWOT-аналізу можливих варіантів сертифікації друкованої продукції українських поліграфічних підприємств в залежності від їх стратегічних цілей.

Для досягнення мети пропонується вирішити такі задачі дослідження:

- дослідження особливостей процесу проведення сертифікації друкованої продукції (для випадків добровільної та обов'язкової сертифікації);
- дослідження особливостей та переваг добровільної сертифікації;
- дослідження особливостей та переваг обов'язкової сертифікації.

### **4. Результати дослідження особливостей процесу проведення сертифікації друкованої продукції**

Оскільки оцінка якості товарів повинна бути процедурою, незалежною від виробника і покупця, Кабінет Міністрів України своїм декретом «Про стандартизацію і сертифікацію» визначив структуру національної системи сертифікації. Згідно з цим документом, керуючим органом цієї системи є Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики - Держспоживстандарт України (раніше називався Держстандарт України), який є національним органом з сертифікації. У його підпорядкуванні 149 державних підприємств з сертифікації товарів і послуг і 811 лабораторій, які проводять практичні дослідження зразків.

Держспоживстандарт України є організатором роботи державної системи сертифікації продукції - Системи УкрСЕПРО. У даній системі проводиться як обов'язкова, так і добровільна сертифікація. Авторитет сертифікації УкрСЕПРО як національної системи оцінки якості товарів і послуг на території країни можна порівняти тільки з сертифікацією ISO 9000. Але самі по собі ці системи мають суттєві відмінності:

- УкрСЕПРО встановлює відповідність всім державним нормам кінцевого продукту виробника;
- ISO 9000 зосереджується більше на процесі виробництва і його якості.

Процес проведення сертифікації в системі УкрСЕПРО передбачає виконання таких робіт:



- розгляд заявки, аналіз наданої документації та прийняття рішення за заявкою;
- відбір та ідентифікація зразків продукції для випробувань;
- випробування зразків;
- обстеження, атестація виробництва продукції, що сертифікується, або сертифікація (оцінка) системи управління якістю виробництва (якщо це передбачено схемою сертифікації);
- аналіз отриманих результатів, прийняття рішення про можливість видачі сертифіката відповідності;
- видача сертифіката відповідності, укладання ліцензійної угоди та занесення сертифікованої продукції до Реєстру Системи;
- технічний нагляд за сертифікованою продукцією під час її виробництва.

Заявку на сертифікацію (підтвердження відповідності) продукції може подати будь-яка організація будь-якої форми власності або фізична особа. Сертифікація проводиться як для окремих партій, так і для серій продукції. При сертифікації продукції, яка виготовляється серійно, з терміном дії сертифіката відповідності 2, 3 чи 5 років, заявником може бути тільки виробник продукції або його уповноважений представник. При цьому виготовлювач продукції повинен видати уповноваженому представнику довіреність.

Після розгляду співробітниками центру наданої документації проводиться відбір зразків товарів, для проведення відповідних досліджень та експертиз, в ході яких визначається відповідність друкованих видань встановленим щодо них нормативам і державним стандартам. Випробування типових зразків продукції здійснюється в спеціалізованих лабораторіях, які отримали державну акредитацію. Після закінчення всіх тестувань видається протокол сертифікаційних випробувань, який є підставою для оформлення сертифіката якості в тому випадку, якщо в процесі випробувань не було виявлено будь-яких невідповідностей. Якщо в ході експертиз були виявлені недоліки, здобувачеві буде відмовлено в реєстрації дозвільного документа із зазначенням причини офіційної відмови.

Сучасний стан сертифікації поліграфічної продукції в Україні пов'язаний з реформуванням системи технічного регулювання у відповідності до європейського досвіду. В результаті реформування були вилучені з переліку обов'язкової сертифікації майже всі групи поліграфічних товарів, за винятком навчальної літератури та виробів для дітей й підлітків. Решта товарів потрапляє на ринок без сертифікатів відповідності.

В Європі за безпеку і якість продукції відповідає виробник. Але відповідальність за випуск неякісної продукції в країнах ЄС і в Україні відрізняється. Підприємець в Європі в разі випуску на ринок небезпечної та неякісної продукції ризикує майже всім: своїм майном, бізнесом і так далі, в той час, як в Україні це не відстежується. Для усунення цієї розбіжності сертифікація в Україні повинна змінювати свій профіль і працювати вже як норма оцінки відповідності товарів вимогам безпеки. Але для того, щоб такий механізм запрацював, потрібно розробити і впровадити велику кількість технічних регламентів. З цією метою паралельно скасування застарілих форм сертифікації слід було ввести технічні регламенти для тих чи інших видів друкованої продукції. При цьому введення таких регламентів обов'язково треба було супроводжувати розробкою стандартів, які повинні бути слугувати доказовою базою відповідності продукції вимогам технічних регламентів. На жаль, в Україні цих заходів в момент скасування застарілих органів та форм сертифікації друкованої продукції здійснено не було.

### **5. Результати дослідження особливостей і переваг добровільної сертифікації**

В процесі добровільної сертифікації, що проводиться в Системі УкрСЕПРО, визначається відповідність параметрів продукції вимогам нормативних документів, вказані заявником. Як правило, це повинні бути вимоги безпеки, наведені в нормативних документах, що діють в Україні. В іншому процедури добровільної сертифікації в Системі УкрСЕПРО відповідають процедурам обов'язкової сертифікації в тій самій системі. Добровільна сертифікація продукції набуває все більшої популярності серед українських виробників і постачальників, оскільки вона забезпечує такі переваги:

- підвищення привабливості продукції в очах замовників та завоювання їх довіри;
- підвищення конкурентоспроможності продукції та отримання переваг під час участі в тендерах;
- підвищення впевненості керівництва підприємства - виробника або постачальника продукції в її якості.

У зв'язку з введенням в Україні технічних регламентів, розроблених на основі Директив ЄС Нового підходу, добровільна сертифікація набуває особливого значення, тому що значно полегшує подальшу процедуру декларування. При цьому полегшується підтвердження відповідності

вимогам технічних регламентів на основі отриманих сертифікатів для формування файлу технічної документації та підтвердження декларації відповідності. У тому випадку, якщо виробник друкованої продукції або її розповсюджувач планує експортувати товари за кордон, в обов'язковому порядку необхідно оформити відмовний лист, який буде потрібним при проходженні митного контролю як доказ, що до даного виду виробів законодавством країни не пред'являються обов'язкові вимоги щодо якості та безпеки. Об'єктами добровільного підтвердження відповідності (добровільної сертифікації) є продукція, процеси виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, роботи і послуги, а також інші об'єкти, щодо яких стандартами, системами добровільної сертифікації і договорами встановлюються вимоги.

В зарубіжних країнах в області сертифікації домінує сертифікація на добровільній основі, в той час як в Україні - це все ще обов'язкова сертифікація. На Заході будь-який виробник зацікавлений у випуску якісної продукції, щоб залишатися на ринку і бути конкурентоспроможним. При цьому підприємство, яке не має нарікань щодо якості з боку споживачів, може декларувати якість і встановлювати відповідність прийнятим нормам самостійно, але будь-який недолік потягне за собою штрафні санкції та відкликання декларації відповідності. Організація втратить свою репутацію постачальника якісної продукції, а така репутація - це умова конкурентоспроможності [4].

В Україні такої практики немає, хоча в даний час споживач стає все більш вимогливим щодо отриманих ним товарів і послуг. Він зацікавлений в тому, щоб ціна товару відповідала його якості, щоб він задовольняв певним вимогам, таким як безпека, надійність, екологічність, ергономічність тощо. Таким чином, споживач буде звертати увагу на наявність сертифікату якості у даної продукції, при цьому знак добровільної сертифікації на упаковці буде для нього відміткою заслуженої довіри. Добровільна сертифікація має перевагу над обов'язковою в зв'язку з розширенням поняття «якість». Тут можуть розглядатися такі вимоги, які покупець вважає найбільш значущими, в той час як в обов'язковій сертифікації існує певний перелік нормативно встановлених експлуатаційних параметрів. Тому добровільна сертифікація дозволяє піддати продукт практично будь-яким дослідженням.

#### **6. Результати дослідження особливостей і переваг обов'язкової сертифікації**

Як вже зазначалося, у поліграфічній галузі обов'язковій сертифікації підлягають тільки учбові матеріали й поліграфічні вироби для дітей й підлітків за законом ТР ТС 007 (008) / 2011 «Про безпеку продукції, призначеної для дітей та підлітків». Інші поліграфічні вироби сертифікуються в добровільному порядку.

Всі товари, які підлягають сертифікації, в обов'язковому порядку повинні пройти перевірку і лабораторні випробування. Це необхідно, щоб визначити відповідність характеристик продукції чинним нормам українського законодавства. Ця вимога поширюється і на імпортовані товари. Приймаючи рішення пропустити товари, які підлягають сертифікації в Україні, українська митниця керується документом «Порядок митного оформлення імпортованих товарів (продукції), що підлягають обов'язковій сертифікації в Україні». При цьому, особлива увага приділяється наявності сертифіката УкрСЕПРО.

Отримати підтвердження відповідності своєї продукції українським нормам іноземний виробник може у двох випадках:

- якщо між країною виробника і Україною діє багатостороння або двостороння угода про взаємне визнання результатів сертифікації, про що є документальне підтвердження;
- якщо він пройде обов'язкову сертифікацію відповідно до норм українського законодавства.

Відсутність цього документа робить митне оформлення такого товару неможливим.

Процедура обов'язкової сертифікації для товарів українського та зарубіжного походження абсолютно однакова. Тому іноземні виробники можуть використовувати «Перелік» як підказку чи підлягає сертифікації на території України їх товар чи ні, і яким вимогам він повинен відповідати. Обов'язкова сертифікація товарів здійснюється уповноваженими органами сертифікації, спеціальними дослідницькими центрами та аудиторами. Список цих організацій можна знайти в Реєстрі Системи сертифікації УкрСЕПРО. Вся інформація про проведення сертифікації є конфіденційною і доступна лише виробнику, щоб той міг внести зміни при необхідності.

Сертифікація друкованої продукції для переважної більшості її видів не є обов'язковою процедурою. На неї можливо оформити в Центрі сертифікації добровільний сертифікат на друковану продукцію або відмовний лист. І тільки на карти листові топографічні і топог-

рафічні плани необхідно оформляти обов'язковий сертифікат. Гігієнічний сертифікат на друковану продукцію необхідно оформляти тільки на книги і журнали для дітей і підлітків, а також навчальні видання для середніх загальноосвітніх шкіл та закладів вищої освіти. Проведення санітарно-епідеміологічної експертизи видань для дорослих, топографічних карт, плакатів, марок і іншої друкованої продукції необов'язково.

Сертифікації підлягає як українська продукція, так і імпорتنі товари. Митному оформленню імпортованих товарів в Україні може передувати обов'язкова сертифікація продукції та отримання свідоцтва про визнання її на вітчизняному ринку. При цьому повинні виконуватися такі основні вимоги:

а) наявність повного пакету документів - при проведенні сертифікації виробів, які підлягають обов'язковій сертифікації, здійснюється контроль за наявністю всіх необхідних даних на конкретний тип товарів;

б) відповідність параметрів товару нормативним документам, зафіксованим законом України, а також основним вимогам даних, зазначених в «Переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні» [5].

Найчастіше подібні вимоги мають відношення до запитів, що стосуються безпеки. Крім того, чимала кількість видів товарів повинні підлягати санітарно-епідеміологічній перевірці, мати спеціальний висновок.

Обов'язковий сертифікат має ряд своїх переваг. По-перше, він захищає компанію від підробки продукції. По-друге, сертифікат є гарантією довіри українських і зарубіжних споживачів. По-третє, наявність обов'язкової сертифікації захищає конкурентоспроможність компанії. Явними перевагами є зменшення імпорту аналогічних товарів, поліпшення і стимуляція науково-технічного прогресу. Крім того, сертифікат вважається відмінним стимулом у підвищенні якості продукції і технічного рівня виробництва.

## **6. Висновки з проведеного дослідження**

Сертифікацію слід вважати засобом захисту споживача від неякісної та небезпечної друкованої продукції шляхом надання достовірної об'єктивної і точної інформації про її якість, звільняючи тим самим покупця від необхідності самостійно проводити складну і трудомістку оцінку якості продукції. Сертифікація в даний час є найбільш ефективною формою підтвердження відповідності виробленої продукції або послуги встановленим вимогам і підвищення їх конкурентоспроможності на внутрішньому і на зовнішньому ринках.

Зараз обов'язковій сертифікації підлягає максимум видів продукції і технічних засобів, які виготовляються в Україні і за кордоном. Обов'язкова сертифікація продукції проводиться незалежними органами контролю, акредитованими державними органами. Державними органами також реалізуються планові і непланові контролю організації, якщо є виявлення порушень застосовуються штрафні санкції. Але, оскільки сертифікована продукція викликає більше довіри у споживача, в останні роки істотно зріс інтерес виробників не тільки до обов'язкової, але і добровільної системи сертифікації. Можна з упевненістю сказати про наявність конкурентних та інших переваг у поліграфічних підприємствах з добровільної сертифікацією, в порівнянні з іншими. Проте на сьогодні в Україні зацікавленість в добровільній сертифікації продукції проявляють лише українські експортери. В подальшому, по мірі посилення конкуренції на ринку, буде зростати потреба в добровільній сертифікації.

**Список літератури:** 1. *Сергеев А.Г., Латинцев М.В.* Сертифікація. М.: Лотос, 2000. 126 с. 2. *Сабина Т. С., Воробець Г. И.* Роль сертификации товаров по показателям экологической безопасности в современном информационном пространстве // Вестник Прикамского социального института. 2017. С. 73-81. 3. *Поповская С. А., Тимербаев А. С.* Стандартизация и сертификация продукции и системы управления качеством // Символ науки. 2016. С. 25-33. 4. *Пономарев С.В., Шишкина Г.В., Мозгова Г.В.* Метрологія, стандартизація, сертифікація. Т.: Вид-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 96 с. 5. *Прохоров Ю.К.* Управління якістю. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 144 с.

*Надійшла до редколегії 11.01.2019*

**Григор'єв Олександр Вікторович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри медіасистем та технологій ХНУРЕ. Наукові інтереси: оцінка якості поліграфічної продукції. Адреса: Україна, м. Харків, вул. Грибоєдова, 31. Тел: (+380) 0970608967.5

**Щербакова Юлія Олексіївна**, студентка КТСПВМ-16-1, магістр. Наукові інтереси: оцінка якості поліграфічної продукції. Адреса: Україна, м. Харків, пр. Науки, 66а, кв. 84. Тел: (+380) 0636012205.

*В.М. ЛЕВИКІН, К.В. ЗИБІНА*

## **РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЛАНУ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ**

Метою статті є дослідження існуючих методів кадрового планування і розробка нового методу формування ефективного плану підвищення кваліфікації на підставі експертних оцінок. Розроблений метод є універсальним і може застосовуватися в будь-якій організації.

### **1. Постановка проблеми формування ефективного плану підвищення кваліфікації**

Одним з важливих чинників успішного функціонування підприємств і організацій є наявність висококваліфікованого персоналу. Особливого значення цей фактор набуває в установах, діяльність яких пов'язана з охороною здоров'я людини та наданням медичних послуг. У зв'язку з постійним розвитком технологій, способів надання медичної допомоги, появою нових медикаментів перед начальником відділу кадрів медичних установ стоїть питання про постійне підвищення кваліфікації людських ресурсів.

Підвищенню кваліфікації співробітників медичних установ приділяється особлива увага в законодавстві України. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 листопада 2012 р. № 1115 «Про затвердження Порядку підготовки та підвищення кваліфікації осіб, які зобов'язані надавати медичну допомогу», кожні п'ять років лікарі і молодші спеціалісти з медичною освітою повинні проходити атестацію на підтвердження або підвищення кваліфікаційної категорії [1].

В даний час питання про направлення на курси підвищення кваліфікації вирішується особисто начальником відділу кадрів. Рішення приймається на підставі тільки лише останнього терміну підвищення кваліфікації, при цьому не враховуються: вікова категорія співробітників, наявність інтернів у відділенні, рівень кваліфікації співробітників, терміни основних, додаткових і соціальних відпусток, зайнятість в інших відділах організації, сезон. Відсутність обліку даних факторів унеможливорює кадрове планування і може привести до збоїв в роботі організації. Тому проблема формування плану підвищення кваліфікації є важливою для стабільного функціонування організації.

### **2. Аналіз сучасних досліджень методів формування плану підвищення кваліфікації**

Формування ефективного плану підвищення кваліфікації є досить трудомістким процесом, оскільки при його формуванні необхідно враховувати ряд факторів, від яких залежить стабільна робота медичних установ.

У медичних установах використовується програма "Медичні кадри", однак у начальника відділу кадрів немає можливості формувати ефективний план підвищення кваліфікації: це програмне забезпечення дозволяє формувати план підвищення кваліфікації, проте, надалі, його необхідно перевіряти ще раз, що дуже ускладнює роботу співробітників відділу кадрів.

Питанням навчання персоналу, атестації та підвищення кваліфікації приділялося достатньо багато уваги. Дані питання піднімаються в роботах таких українських і зарубіжних авторів, як Андрухова А.А. [2], Балабанова Л. В. [3], Бузько І. Р. [4], Виноградський М. Д. [5], Данилюк В. М. [6], Кібанов А. Я. [7], Веснін В.Р. [8], Лукічов Л.І. [9], Рогожин М.Ю. [10], Р.К. Zingheim [11], а також Джеймс Уолкер [12], який займається питаннями підвищення кваліфікації саме персоналу медичних установ.

На даний момент застосовуються такі методи формування плану підвищення кваліфікації:

- балансний метод (забезпечує встановлення зв'язків між потребами в ресурсах і джерелами їх покриття, а також між розділами плану [14]);
- нормативний метод (передбачає розрахунок загальної чисельності працівників (робітників і фахівців окремо) на основі планованого обсягу виробництва (продукції, робіт, послуг) і прогресивних норм виробітку) [15];

- статистичний метод (встановлює залежність аналізованого показника від інших змінних). Певна величина, наприклад, необхідна кількість співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації, виражається через одну або кілька змінних [16];

- метод експертної оцінки [17];
- метод групових оцінок;
- метод Дельфі.

### **3. Постановка задачі удосконалення методу синтезу формування ефективного плану підвищення кваліфікації**

Кожен з розглянутих у попередньому розділі методів має ряд своїх переваг і недоліків. Тому виникає проблема вибору методу, який якнайкраще відповідав би об'єкту автоматизації і задачам управління цим об'єктом.

Метою даного дослідження є удосконалення методу формування ефективного плану підвищення кваліфікації, спрямоване на синтез вже існуючих методів. Для досягнення даної мети пропонується вирішити такі задачі дослідження:

- проведення синтезу і модифікації існуючих методів для створення вдосконаленого методу формування ефективного плану підвищення кваліфікації;
- практична апробація результатів дослідження.

### **4. Виклад основного матеріалу**

В результаті опитування експертів з оцінки ефективності застосування методів формування ефективного плану підвищення кваліфікації, виявилось доцільним провести модифікацію і синтез балансного і статистичного методів.

Призначення балансного методу планування полягає в тому, щоб шляхом побудови балансів досягти ув'язки наявних фінансових ресурсів і фактичної потреби в них. Спочатку балансний метод планування застосовується у фінансовому плануванні, але даний метод застосовується і до кадрового планування, оскільки спрямований на розрахунок трудової потреби організації. Отже, основною метою модифікації методу є розрахунок балансу не тільки для чисельності персоналу, а й для оцінки його рівня кваліфікації і необхідності навчання.

Балансний метод планування містить наступні етапи.

Етап I. Визначення впливу організаційних цілей на підрозділи організації.

Крок 1. Розгляд плану потреби у людських ресурсах на підставі стратегічних планів організації.

Крок 2. Розробка процедури побудови і розробки системи балансів, відповідно до мети підприємства, що є складовою частиною загальної системи балансів підприємства (як матеріальних, так і нематеріальних).

Етап II. Складання вихідного балансу підприємства.

Крок 1. Побудова балансної таблиці.

Баланс трудових ресурсів - система показників, що відображають чисельність і склад трудових ресурсів, які беруть участь в діяльності організації, та їх розподіл. Баланс являє собою двосторонню бюджетну таблицю, в лівій частині якої відображаються джерела ресурсів, а в правій - їх розподіл.

Крок 2. Складання балансового рівняння.

Зміст балансового рівняння полягає в тому, що сума залишку ресурсів на початок періоду і їх надходження з внутрішніх і зовнішніх джерел повинна дорівнювати сумі їх витрат (поточного споживання і продажу на сторону) і залишку на кінець періоду. Наприклад, балансове рівняння з фінансових ресурсів має підтримувати таке співвідношення:

$$П + O_n = P + O_k, \quad (1)$$

де  $П$  - надходження коштів;  $O_n$  - залишок коштів на початок періоду;  $P$  - витрачання коштів;  $O_k$  - залишок коштів на кінець періоду.

Крок 3. Виявлення основних недоліків в ресурсах підприємства на основі Кроків 1, 2 даного етапу. На даному етапі відбувається внесення змін до балансної таблиці і балансного рівняння для визначення таких факторів розвитку даної системи, які забезпечили б розвиток системи з найкращими показниками, а також з такими показниками, які забезпечували б безперервність бізнес-процесу.

Етап III. Перевірка змін, внесених на попередньому кроці. Здійснюється перевірка за допомогою перерахунку балансного рівняння (1) і порівняння його з балансною таблицею. Якщо всі значення збігаються між собою і ліва частина балансного рівняння дорівнює правій, то з'являється можливість формування ефективного плану.

Етап IV. Складання плану на наступний рік, на підставі Кроку 3 Етапу II.

Таким чином, балансний метод дозволяє провести ув'язку між наявними та необхідними ресурсами. Для формування ефективного плану підвищення кваліфікації така ув'язка повинна здійснюватися між співробітниками, які направляються на курси підвищення кваліфікації, і співробітниками, які залишаються на робочих місцях. При цьому необхідно враховувати не тільки кількість співробітників, але й їх кваліфікацію, освіту, вік, сезон тощо.

Другим методом - кращим для розробки ефективного плану підвищення кваліфікації - є статистичний метод планування. Він відноситься до одних з найпростіших методів, які дозволяють встановити кореляційний взаємозв'язок двох змінних величин. З їх допомогою можна з певним ступенем імовірності прогнозувати (а відповідно, і запланувати) настання події Б, якщо відбувається пов'язана з нею подія А.

Найбільше поширення статистичні методи знаходять у фінансовому плануванні. Наприклад, вони дозволяють визначати майбутні доходи, ґрунтуючись на поточних вкладеннях і заданих процентних ставках. За допомогою статистичного методу можливо планувати роботу з кадрами (направлення співробітників на курси підвищення кваліфікації), орієнтуючись на статистичні дані.

Статистичне планування (побудова прогнозу і перевірка імовірнісно-статистичної моделі) зазвичай засноване на одночасному використанні двох типів інформації [3]:

- апріорної інформації про природу і змістовну сутність аналізованого явища, представленої, як правило, у вигляді тих чи інших теоретичних закономірностей, обмежень, гіпотез;
- вихідних статистичних даних, що характеризують процес і результати функціонування аналізованого явища або системи.

Визначимо наступні етапи статистичного методу планування:

Етап I (постановочний) включає в себе визначення кінцевих прикладних цілей планування; набору факторів і показників (змінних), описів взаємозв'язків, які нас цікавлять; ролі цих чинників і показників - які з них, в рамках поставленої конкретної задачі, можна вважати вхідними, а які - вихідними (ці чинники зазвичай важко піддаються безпосередньому прогнозу; їх значення формуються в процесі функціонування системи, що моделюється, а самі фактори несуть смислове навантаження).

Етап II (апріорний, передмодельний) полягає в попередньому аналізі модельованого об'єкта.

Етап III (інформаційно-статистичний) полягає в зборі необхідної статистичної інформації, тобто реєстрації значень, які беруть участь в аналізі чинників і показників на різних часових і (або) просторових етапах функціонування модельованої задачі.

Етап IV (специфікація моделі) включає в себе пряме виведення (яке спирається на прийняті на Етапі II гіпотези і вихідні допущення) загального вигляду модельних співвідношень, що зв'язують між собою вхідні і вихідні змінні, які нас цікавлять.

Етап V (дослідження ідентифікованості та ідентифікація моделі) полягає в проведенні статистичного аналізу моделі з метою "налаштування" значень її невідомих параметрів на ті вихідні статистичні дані, які ми маємо. При реалізації цього етапу необхідно отримати відповідь на питання, чи можливо в принципі однозначно відновити значення невідомих параметрів моделі по наявних вихідних статистичних даних при прийнятій на Етапі IV структурі (способі специфікації) моделі. А потім, після позитивної відповіді, необхідно вирішити вже проблему ідентифікації моделі, тобто запропонувати і реалізувати математично коректну процедуру оцінювання невідомих значень параметрів моделі по наявних вихідних статистичних даних. Якщо проблема ідентифікованості вирішується негативно, то необхідно повернутися до Етапу IV і внести необхідні корективи в вирішення задачі специфікації моделі.

Етап VI (верифікація моделі) полягає в використанні різних процедур зіставлення оцінок, наслідків та висновків з дійсністю. Цей етап називають також етапом статистичного аналізу точності і адекватності моделі. При песимістичному характері результатів цього

етапу необхідно повернутися до Етапу IV, а іноді і до Етапу I. Якщо ж етап верифікації моделі дає позитивні результати, то метод може бути безпосередньо використаний для побудови прогнозу за описаною вище загальною схемою.

Для застосування даних методів при вирішенні задачі формування ефективного плану підвищення кваліфікації необхідно провести їх синтез і модифікацію. Вдосконалений метод включає в себе основні переваги балансного і статистичного методу, а також враховує модифіковану модель предметної області.

Вдосконалений метод формування ефективного плану підвищення кваліфікації співробітників організації містить такі етапи:

Етап I. Визначення впливу організаційних цілей на підрозділи організації, при цьому кадрове планування базується на стратегічних планах організації і на підставі цих планів розробляється план підвищення кваліфікації співробітників.

Етап II. Збір необхідної статистичної інформації про значення чинників і показників, які беруть участь в аналізі, на різних часових і (або) просторових тактах функціонування модельованої системи.

На даному етапі відбувається збір інформації про планові кількісні показники співробітників, які можуть бути направлені на курси підвищення кваліфікації.

Етап III. Побудова прогнозу кількості співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації, по кварталах.

Крок 1. Висувається гіпотеза, що наступного календарного року кількість співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації, буде не менше або дорівнюватиме кількості співробітників, які направляються на курси цього календарного року.

$$x_{pri} \leq x_{fi}, 1 \leq i \leq 4, \quad (2)$$

де  $x_{pri}$  - кількість співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації у відповідному кварталі;  $x_{fi}$  - кількість співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації в наступному році;  $i$  - номер кварталу.

Крок 2. Перевірка гіпотези, побудова моделі прогнозу.

Перевірка гіпотези, а також прогнозування кількості співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації, буде здійснюватися методом експоненціального згладжування з трендом і сезонністю Хольта-Вінтерса [6].

Прогнозування здійснюється за допомогою послідовного застосування наступних чотирьох формул:

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_t + p * T_t) * S_{t-s+p}, \quad (3)$$

де  $\hat{Y}_{t+p}$  - прогноз кількості співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації, за методом Хольта-Вінтерса на  $p$  періодів вперед;  $L_t$  - експоненційно згладжена величина на поточний період;  $p$  - порядковий номер періоду, на який робимо прогноз;  $T_t$  - тренд за останній період;  $S_{t-s+p}$  - коефіцієнт сезонності ( $S$ ) за той самий період в останньому сезоні;

$$L_t = k * \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - k) * (L_{t-1} + T_{t-1}), \quad (4)$$

де  $L_t$  - згладжена величина на поточний період;  $k$  - коефіцієнт згладжування ряду;  $Y_t$  - поточне значення ряду;  $S_{t-s}$  - коефіцієнт сезонності попереднього періоду;  $L_{t-1}$  - згладжена величина за попередній період;  $T_{t-1}$  - значення тренду за попередній період;

$$T_t = b * (L_t + L_{t-1}) + (1 - b) * T_{t-1}, \quad (5)$$

де  $T_t$  - значення тренду на поточний період;  $b$  - коефіцієнт згладжування тренду;  $L_t$  - експоненційно згладжена величина на поточний період;  $L_{t-1}$  - експоненційно згладжена величина за попередній період;  $T_{t-1}$  - значення тренду за попередній період;

$$S_t = q * \frac{Y_t}{L_t} + (1 - q) * S_{t-s}, \quad (6)$$

де  $S_t$  - коефіцієнт сезонності для поточного періоду;  $q$  - коефіцієнт згладжування сезонності;  $Y_t$  - поточне значення ряду;  $L_t$  - згладжена величина за поточний період;  $S_{t-s}$  - коефіцієнт сезонності за цей же період в попередньому сезоні.

Як результат проведеного прогнозу отримуємо кількість співробітників, які можуть бути направлені на курси підвищення кваліфікації наступного календарного року.

Побудова прогнозу на наступний рік дає можливість раціональніше організувати навчання співробітників вже в поточному році, бо якщо кількість співробітників, яких треба направити на курси підвищення кваліфікації в першому кварталі наступного року, більше, ніж прогнозована кількість путівок, то деяких співробітників необхідно направити на курси вже в поточному році. Таким чином, прогнозування кількості співробітників на наступний календарний рік дає можливість своєчасно направляти співробітників на курси, а також запобігає появі екстремальних ситуацій в роботі організації.

Етап IV. Складання балансної таблиці.

Крок 1. Визначення співробітників, яких необхідно направити на курси підвищення кваліфікації в кожному кварталі.

На даному етапі поквартально визначається кількість співробітників, які повинні бути направлені на курси підвищення або підтвердження своєї кваліфікаційної категорії. Спочатку співробітники вибираються за таким критерієм, як дата попереднього проходження курсів, тобто вибираються ті співробітники, у яких закінчується термін дії сертифіката. Після цього здійснюється перевірка: чи наявна у відділі необхідна кількість лікарів/молодших медичних спеціалістів та необхідна кількість молодих співробітників, які мають навички роботи з технікою; чи виконуються умови сезонності; чи можливе залучення лікарів/молодших медичних спеціалістів з інших відділень.

Якщо здійснюється повернення на даний крок, то виконується перерозподіл співробітників по кварталах, тобто змінюються терміни проходження курсів підвищення кваліфікації певним співробітником. Дані зміни можуть відбуватися за умови відсутності на даний момент часу жодного лікаря, або ж якщо сезонність не дозволить направляти лікарів певної спеціалізації.

Крок 2. Складання балансної таблиці.

Дана таблиця відображає порівняння кількості персоналу, який залишається на своїх робочих місцях, і тієї кількості співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації. При цьому враховується і планова кількість співробітників, які можуть бути направлені на курси.

Етап V. Формування ефективного плану підвищення кваліфікації.

На підставі балансної таблиці й балансного рівняння складаються ефективні плани підвищення кваліфікації.

Розроблений метод ефективного формування плану підвищення кваліфікації є універсальним, тому що може застосовуватися в кожній зі сфер кадрового управління.

## **5. Апробація результатів удосконалення методу формування ефективного плану підвищення кваліфікації**

Апробацію результатів удосконалення методу формування ефективного плану підвищення кваліфікації пропонується провести на прикладі лікарні. Розглянемо більш детально застосування Етапів III, IV, V методу на прикладі лікарні.

Етап III. Побудова прогнозу кількості співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації, по кварталах.

Крок 1. Висувається гіпотеза, що на наступний календарний рік кількість лікарів, які направляються на курси підвищення кваліфікації, буде не менша або дорівнюватиме кількості співробітників, які направляються на курси в цьому календарному році (2)

Аналогічна гіпотеза висувається і для молодших медичних спеціалістів.

Крок 2. Перевірка гіпотези, побудова моделі прогнозу.

За допомогою методу експоненціального згладжування Хольта-Вінтерса робиться прогнозування кількості лікарів, які направляються на курси підвищення кваліфікації.

Після послідовного застосування виразів (3)-(6) отримуємо кількість лікарів та молодших медичних спеціалістів, які можуть бути направлені на курси підвищення кваліфікації в



наступному календарному році. Приклад таблиці прогнозу кількості співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації, представлений в таблиці 1.

Таблиця 1

Приклад прогнозу кількості співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації лікарів та молодших медичних спеціалістів

Тип медичного персоналу	Квартал			
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Лікарі	5	15	7	8
Молодші медичні фахівці	10	12	6	7

IV етап. Складання балансної таблиці.

Крок 1. Визначення співробітників, яких необхідно направити на курси підвищення кваліфікації в кожному кварталі.

У кожному відділенні лікарні визначаються поквартально ті лікарі і молодші медичні фахівці, яким необхідно в даному календарному році пройти курси підвищення кваліфікації.

Крок 2. Складання балансної таблиці.

Нехай у першому кварталі було виділено 5 путівок на курси підвищення кваліфікації. Серед співробітників, яких необхідно направити на курси, повинен бути 1 лікар-алерголог вищої категорії, тому що у нього в даному кварталі збігає термін дії сертифіката. У таблиці надаються дані про кількість персоналу, який залишається на своїх робочих місцях, і кількість співробітників, які направляються на курси підвищення кваліфікації. Приклад балансної таблиці для алергологічного відділення представлений таблицею 2.

Таблиця 2

Приклад балансної таблиці для алергологічного відділення

Співробітники, що направляються на підвищення кваліфікації (лікар-алерголог)	Кількість	Робочі місця (лікар алерголог) Всього: 4	Кількість
Кваліфікаційна категорія		Кваліфікаційна категорія	
– вища	1	– вища	0
– перша	0	– перша	2
– друга	0	– друга	1
вік:		вік:	
– від 22 до 40	1	– від 22 до 40	1
– від 40 до 56	0	– від 40 до 56	2
– старше 56	0	– старше 50	0

В результаті порівняння даних з таблиці можна зробити висновок, що направлення лікаря-алерголога вищої категорії на курси не порушить безперервність бізнес-процесу в алергологічному відділенні, тому що одного лікаря вищої категорії можуть замінити два лікаря першої і один лікар другої кваліфікаційної категорії.

Етап V. Формування ефективного плану підвищення кваліфікації.

На підставі балансної таблиці й балансового рівняння складаються ефективні плани підвищення кваліфікації. В основі балансів цього плану вже заложено ту кількість лікарів та молодших медичних спеціалістів, які можуть бути направлені на курси підвищення кваліфікації. На останньому етапі формується вихідний документ «План підвищення кваліфікації», в якому вказується, який співробітник і коли направляється на курси.

## 5. Висновки з проведеного дослідження і перспективи подальших досліджень

У роботі запропоновано вдосконалений метод формування ефективного плану підвищення кваліфікації. Даний метод дозволив скоротити час на формування ефективного плану підвищення кваліфікації, виключив виникнення помилок при формуванні планів підвищення кваліфікації і є ефективним, оскільки в ході практичної апробації нового методу був сформований новий план підвищення кваліфікації, що враховує комплекс таких факторів: вікова категорія працівників; наявність інтернів у відділенні; рівень кваліфікації співробітників; терміни основних, додаткових і соціальних відпусток; зайнятість в інших відділах організації; сезон; посаду; освіту; терміни попереднього проходження курсів підвищення кваліфікації, що дає можливість направлення на курси підвищення кваліфікації співробітників без збоїв в роботі організації.

Розроблений метод є універсальним і може застосовуватися для будь-яких організацій. Але варто відзначити, що отримані результати справедливі тільки для малих і середніх організацій. Тому як перспективу подальших досліджень пропонується вибрати роботи з перевірки ефективності вдосконаленого методу для великих організацій.

**Список літератури:** 1. *Про затвердження Порядку підготовки та підвищення кваліфікації осіб, які зобов'язані надавати медичну допомогу* [Електронний ресурс]: постанова Кабінету Міністрів України від 21 листопада 2012 р №1115. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1115-2012-%D0%BF-02.02.2014>. 2. *Андрухова О.О.* Логістичний підхід до управління підприємством як логістичною системою / О.О. Андрухова // Науково-інформаційний вісник. Серія: економіка. 2011. № 3. С. 207-211. 3. *Балабанова Л.В.* Управління персоналом: підручн. / Л. В. Балабанова, О.В. Сардак. К.: ЦУЛ, 2011. 468 с. 4. *Бузько І.Р.* Оцінювання людського капіталу як інструмент управління навчання персоналу / І.Р. Бузько, Ю.Ю. Дяченко, О.А. Немашкало // Актуальні проблеми економіки. 2011. № 2. С. 117-124. 5. *Виноградський М.Д.* Управління персоналом: навч. посіб. / М.Д. Виноградський. К.: Центр навчальної літератури, 2006. 504 с. 6. *Данилюк В.М.* Менеджмент персоналу: навч.-метод. посібн. / В.М. Данилюк, В.М. Петюк, С.О. Цінбалюк. К.: КНЕУ, 2006. 398 с. 7. *Кибанов А.Я.* Управление персоналом организации / А.Я. Кибанов. М.: ИНФРА, 2007. 512 с. 8. *Веснин, В.Р.* Управление персоналом: уч. пособие / В.Р. Веснин. М.: Проспект, 2008. 240 с. 9. *Лукичева, Л.И.* Управление персоналом: курс лекций: практ. задания: уч. пособие для вузов / Л.И. Лукичева; под ред. Ю. П. Анискина. 3-е изд., стер. М.: Омега-Л, 2007. 264 с. 10. *Рогожин, М.Ю.* Управление персоналом: практ. пособие / М. Ю. Рогожин. М.: Проспект, 2010. 320 с. 11. *Zingheim P.K.* The Team Pay Research Study. Compensation and Benefit Review. Nov-Dec, 1995. 12. *Walker, J.W.* Human Resource Planning. New York, McGraw-Hill, 1997. 13. *Волков О.И.* Экономика предприятия: курс лекций / О.И. Волков, В.К. Скляренко. М.: ИНФРА-М, 2006. 280 с. 14. *Цілі і сутність кадрового планування. Частина 2* [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://hr-gu.com/2012/08/celi-i-sushhnost-kadrovogo-planirovaniya-chast-2/> - 02.02.2015. 15. *Кадрове планування* [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://besonus.narod.ru/planpers.htm> - 02.02.2015. 16. *Управління персоналом. Словник-довідник. Кадрове планування* [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://psyfactor.org/personal/personal10-03.htm> - 02.02.2015. 17. *Winters P.R.* Forecasting sales by exponentially weighted moving averages // Management Science. 1960. Vol. 6. №3.

*Надійшла до редколегії 99.99.2019*

**Левикін Віктор Макарович**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри ІУС ХНУРЕ. Наукові інтереси: розробка розподілених інформаційних систем. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. 70-21-451.

**Зибіна Катерина Вікторівна**, асистент кафедри ІІІ ХНУРЕ. Наукові інтереси: проблеми високотехнологічних обчислень у ІТ-продуктах та інформаційних системах. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. 70-21-446.

*А. Л. СРОХІН, Г. А. ЗАЦЕРКЛЯНИЙ*

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ПРОЦЕСУ

В статті пропонується інформаційна технологія для аналізу та оцінювання взаємопов'язаного і взаємообумовленого тепломасообмінного процесу у складній системі. Одноманітний підхід до розгляду тепломасообмінного процесу у будь-якій системі забезпечується побудовою розрахункової структури процесу і об'єктно-орієнтованим підходом до його проектування.

### 1. Постановка проблеми

Задача аналізу та оцінювання тепломасообмінного процесу є досить актуальною, оскільки тепломасообмін спостерігається в найрізноманітніших складних системах різного функціонально-конструктивного виконання і різного призначення, а від організації цього процесу залежить ефективність роботи відповідних систем. Сам тепломасообмінний процес теж є складною системою, оскільки, як правило, є взаємопов'язаним і взаємообумовленим, хоча в кожному елементі має свої характерні особливості. Для аналізу та оцінювання такого процесу не обійтися без математичного моделювання з використанням сучасних інформаційних технологій.

### 2. Аналіз сучасних підходів до аналізу тепломасообмінного процесу

Аналіз моделей, методів та інформаційних технологій, які використовуються для оцінювання тепломасообміну у конкретних предметних областях показує, що, незважаючи на широку розмаїтість підходів, на сьогодні немає моделей, які б розглядали взаємопов'язаний і взаємообумовлений тепломасообмінний процес у всій складній системі. Розглядаються процеси або в окремих елементах системи, або у найпростішій постановці.

### 3. Виклад основного матеріалу дослідження

Тепломасообмінний процес у складній системі подається у вигляді розрахункової ієрархічної структури, найнижчим рівнем якої є елементарний елемент. Елементарним є однорідний за теплофізичними та конструктивними параметрами елемент, тобто елемент, у якому спостерігається однорідний тепловий процес (теплопровідність, конвективний теплообмін чи променеве випромінювання). Така структура дозволяє розглядати з єдиних позицій будь-який тепломасообмінний процес у складній системі, а взаємопов'язаний і взаємообумовлений тепломасообмінний режим у всій системі зводити до режиму в елементарних елементах, узгоджуючи їх відповідними крайовими умовами [1].

При формулюванні математичної моделі теплопередачі через багат шарову тверду конструкцію вважається, що [2]:

- теплотехнічні характеристики матеріалів шарів не залежать від вологості і температури матеріалу;
- температурне поле конструкції є тривимірним і нестационарним;
- теплопередача через конструкцію відбувається за рахунок теплопровідності;
- на межах між шарами здійснюється ідеальний тепловий контакт (граничні умови четвертого роду);
- всередині конструкції може виділятися чи поглинатися тепло.

При цих умовах теплопровідність конструкції при нестационарному режимі описується нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку у частинних похідних:

$$c_p \frac{\partial}{\partial t} T(x, y, z, t) = \frac{\partial}{\partial x} \lambda_x \left( \frac{\partial}{\partial x} T(x, y, z, t) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \lambda_y \left( \frac{\partial}{\partial y} T(x, y, z, t) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \lambda_z \left( \frac{\partial}{\partial z} T(x, y, z, t) \right) + \sum_{p=1}^P q_p, \quad (1)$$

Граничні умови подаються у вигляді температури на поверхні:

$$T = T(t), \quad (2)$$

або конвективного теплообміну:

$$\lambda_x \left( \frac{\partial}{\partial x} T(x, y, z, t) \right) l_x + \lambda_y \left( \frac{\partial}{\partial y} T(x, y, z, t) \right) l_y + \lambda_z \left( \frac{\partial}{\partial z} T(x, y, z, t) \right) l_z + \alpha (T(x, y, z, t) - T_c) = 0, \quad (3)$$

де  $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  - коефіцієнти теплопровідності, відповідно, в напрямку осей координат;  $\alpha$  - коефіцієнт теплообміну;  $T_c$  - температура навколишнього середовища;  $T(x, y, z, t)$  - температура на поверхні;  $q_p$  - інтенсивність  $p$ -го джерела (стоку) тепла;  $c, \rho$  - відповідно питома теплоємність і щільність матеріалів шарів огорожі;  $l_x, l_y, l_z$  - направляючі косинуси вектора нормалі до поверхні.

Окревим випадком розглядуваної моделі є одновимірна модель у напрямку від внутрішньої до зовнішньої поверхонь:

$$c_p \frac{\partial}{\partial t} T(z, t) = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_z \left( \frac{\partial}{\partial z} T(z, t) \right) + \sum_{p=1}^P q_p. \quad (4)$$

Вважаємо, що суцільне середовище в приміщенні будівлі є двохкомпонентною пароповітряною сумішшю, а рух цієї суміші є малошвидкісним турбулентним при наявності внутрішніх джерел і стоків маси, імпульсу та енергії. Тоді система визначаючих рівнянь охоплює рівняння балансу маси, кількості руху і енергії для суміші в цілому, а також рівняння перенесення водяного пару [3].

Моделювання турбулентності виконується на основі SST-моделі Ментера.

В подальшому рівняння тепломасообміну використовуються в інтегральній формі. Ці рівняння мають вигляд:

$$\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \oint_S \rho \bar{U} d\bar{S} = \sum_{i=1}^{I_1} m_i dV + \sum_{i=1}^{I_2} \oint m_i d\bar{S}, \quad (5)$$

$$\int_V \frac{\partial (\rho \bar{U})_x}{\partial t} dV + \oint_S \rho U_x \bar{U} d\bar{S} = \oint_S \frac{P^*}{\rho} dS_x + \int_V g(\rho - \rho_h) dV + \sum_{j=1}^3 \oint \sigma_{xy} dS_j + \sum_{j=1V}^{J_1} \int i_{xy} dV + \sum_{j=1S}^{J_2} \oint i_{xy} dS, \quad (6)$$

$$\int_V \frac{\partial (\rho \bar{U})_y}{\partial t} dV + \oint_S \rho U_y \bar{U} d\bar{S} = \oint_S \frac{P^*}{\rho} dS_y + \int_V g(\rho - \rho_h) dV + \sum_{j=1S}^3 \oint \sigma_{yj} dS_j + \sum_{j=1V}^{J_1} \int i_{yj} dV + \sum_{j=1S}^{J_2} \oint i_{yj} dS, \quad (7)$$

$$\int_V \frac{\partial (\rho \bar{U})_z}{\partial t} dV + \oint_S \rho U_z \bar{U} d\bar{S} = \oint_S \frac{P^*}{\rho} dS_z + \int_V g(\rho - \rho_h) dV + \sum_{j=1S}^3 \oint \sigma_{zj} dS_j + \sum_{j=1V}^{J_1} \int i_{zj} dV + \sum_{j=1S}^{J_2} \oint i_{zj} dS, \quad (8)$$

$$\int_V c_p \frac{\partial (\rho T)}{\partial t} dV + \oint_S c_p \rho \bar{U} T d\bar{S} = \int_V \frac{\partial P_a}{\partial t} dV - \oint_S (c_{pV} \bar{m}_V + c_{pG} \bar{m}_G) T d\bar{S} + \sum_{k=1V}^{K_1} \int q_k dV + \sum_{k=1S}^{K_2} \oint \bar{q}_k d\bar{S}, \quad (9)$$

$$\int_V \frac{\partial \rho y_V}{\partial t} dV + \oint_S \rho \bar{U} y_V d\bar{S} = \sum_{i=1}^{I_1} m_i y_V dV + \sum_{i=1S}^{I_2} \oint \bar{m}_i y_V d\bar{S}. \quad (10)$$

Модель турбулентності Ментера, записана в термінах  $k$  (кінетична енергія турбулентності) і  $\omega$  (питома швидкість її дисипації), в інтегральній формі має вигляд:

$$\int_V \frac{\partial \rho k}{\partial t} dV + \oint_S \left[ \bar{U} n (\rho k) - (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial n} \right] dS = \int_V \rho (P_k - \beta^* k \omega) dV, \quad (11)$$

$$\int_V \frac{\partial \rho \omega}{\partial t} dV + \oint_S \left[ \overline{Un}(\rho \omega) - (\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial n} \right] dS = \int_V \rho \left( P_k - \beta \omega^2 + 2(1 - F_1) \sigma_\omega \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right) dV, \quad (12)$$

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega}, \quad \tau_{ij} = 2\mu_t S_{ij} - 2\bar{I} \frac{\mu_t \nabla U + \rho k}{3}, \quad P_k = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad P_\omega = \frac{\gamma}{\mu_{ij}} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}. \quad (13)$$

Окремим випадком розглянутої є квазістаціонарна модель. Згідно з цією моделлю, вважається, що параметри пароповітряної суміші змінюються з часом, але не змінюються в просторі. В цьому випадку математична модель має вигляд:

$$\int_V \frac{d\rho}{dt} dV = \sum_{i=1}^{I_1} m_i dV + \sum_{i=1}^{I_2} \oint \bar{m}_i d\bar{S}, \quad (14)$$

$$\int_V c_p \frac{d(\rho T)}{dt} dV = \int_V \frac{dP_a}{dt} dV + \sum_{k=1}^{K_1} \int q_k dV + \sum_{k=1}^{K_2} \oint \bar{q}_k d\bar{S}, \quad (15)$$

$$\int_V \frac{d\rho y_V}{dt} dV = \sum_{i=1}^{I_1} \int m_i y_V dV + \sum_{i=1}^{I_2} \oint \bar{m}_i y_V d\bar{S}. \quad (16)$$

Тут  $\rho$  - щільність;  $c_v$  - питома теплоємність суміші при сталому об'ємі;  $S, V$  - площа поверхні і об'єм розглядуваного елемента;  $q$  - щільність потоку тепла, що надходить до елемента (залишає елемент).

Між двома твердими тілами з різними температурами відбувається взаємний обмін теплотою за допомогою випромінювання. Тепловий потік, що переходить від більш нагрітого тіла до менш нагрітого за допомогою випромінювання, визначається з рівняння:

$$Q_n = C_{1-2} F \tau \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi, \quad (17)$$

де  $C_{1-2}$  - коефіцієнт взаємного випромінювання;  $F$  - площа поверхні випромінювання;  $T_1, T_2$  - абсолютні температури поверхонь більш нагрітого і менш нагрітого тіл;  $\varphi$  - середній кутовий коефіцієнт.

Існує чимало систем різного характеру, в яких спостерігаються складні взаємопов'язані і взаємообумовлені різні за своєю природою тепломасообмінні процеси. Стикування цих процесів, тобто задання крайових умов, є непростою задачею.

Вирішити цю проблему пропонується введенням узагальнених крайових умов, під якими розуміється сукупність крайових умов, заданих у найпростішому вигляді, і нестационарних точкових, поверхневих і об'ємних джерел і стоків маси, імпульсу та енергії, які примикають до певної границі чи розпорошені у досліджуваному просторі. Це дозволяє задавати крайові умови у найпростішому вигляді, а реальні взаємодії реальних процесів подавати джерелами і стоками відповідної субстанції. Отже, забезпечується одноманітне стикування різних тепломасообмінних процесів, які спостерігаються в елементах складної системи.

Визначення інтенсивності джерел і стоків енергії, маси та імпульсу, які є складовими узагальнених крайових умов, ґрунтується на фізичній суті конкретного тепломасообмінного процесу.

Нехай через грань чи її частину елементарного елемента подається пароповітряна суміш певної концентрації, щільності і температури. В такому випадку будемо вважати, що на всій грані задається умова прилипання і непроникнення, а до грані чи її частини примикає поверхневе джерело маси суміші, імпульсу, енергії та маси водяного пару.

Будемо вважати, що пароповітряна суміш, яка надходить, є ідеальним газом, а її теплоємність не залежить від температури. Тоді на основі рівняння Бернуллі і рівняння адіабати знаходимо вирази для швидкості струменя і температури:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2c_p T_1}{\mu} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (18)$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (19)$$

Тут  $T_1, P_1$  - локальні значення температури і тиску у розглядуваному пароповітряному просторі;  $k$  - показник адиабати;  $P_2$  - тиск у прилеглому елементі;  $c_p, \mu$  - теплоємність при сталому тиску і динамічний коефіцієнт в'язкості. Частка водяного пару пароповітряної суміші, що подається в розглядуваний елемент, вважається рівною відповідному параметру у прилеглому елементі.

Отже, інтенсивності джерел такі:

- інтенсивність джерела маси -  $m_i = \frac{P_2}{RT_2}$  ;
- інтенсивність джерела імпульсу -  $i_i = \frac{P_2}{RT_2} v_2$  ;
- інтенсивність джерела енергії -  $q_i = \frac{P_2}{RT_2} \left( \frac{v_2^2}{2} + c_v T_2 \right)$ ,  $c_v = c_p - R$  ;
- інтенсивність джерела водяного пару -  $m_{yi} = \frac{P_2}{RT_2} y_v$  .

Тут  $R$  - універсальна газова стала.

Джерелами (стоками) енергії подається надходження тепла від сонячної радіації, штучного освітлення, тепловиділення від людей та систем опалення. Знаходження інтенсивності джерела (стоку) енергії в цьому випадку виконується за загальноприйнятими методиками.

Для розв'язування задачі теплопровідності в багат шаровій стінці використовується модифікований метод скінчених елементів [2]. Модифікація стосується введення двох типів скінчених елементів: однорідних і неоднорідних. Однорідні елементи мають правильну геометричну форму (прямокутний паралелепіпед) із направляючими, паралельними осям координат, і однорідний склад, що в даному випадку означає сталість коефіцієнта теплопровідності в елементі. Функції форми для однорідних елементів відшукується у вигляді трилінійних функцій.

Неоднорідні елементи містять тонкі шари, на межах яких коефіцієнт теплопровідності істотно змінюється. Для неоднорідних елементів при умові, що коефіцієнт теплопровідності є кусково-сталим і шукана функція форми змінюється тільки в напрямку, перпендикулярному тонкому шару (розташування шару в елементі може бути довільним), функція форми вибирається кусково-лінійною і знаходиться з умови відтворення точного розв'язку одновимірного стаціонарного рівняння теплопровідності у скінченному елементі. Така функція форми має вигляд:

$$N_1 = 1; N_j = N_{j-1} - \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{j-1}}}, j = 2 \dots n-1, N_n = 0 \quad (20)$$

Рівняння теплопровідності за умови стаціонарності із заданими граничними умовами записується у вигляді функціоналу:

$$\Omega = \int_V \frac{1}{2} \left[ \lambda_x \left( \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} \right)^2 + \lambda_y \left( \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial y} \right)^2 + \lambda_z \left( \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial z} \right)^2 \right] dV + \oint_S \left( qT(x, y, z, t) + \frac{1}{2} [\alpha(T(x, y, z, t) - T_c)^2] \right) dS + \sum_{p=1}^P \int_V q_p dV \quad (21)$$

Мінімізація функціоналу здійснюється на множині вузлових значень температури  $\{T\}$ . Для розглядуваної задачі замість функції  $T$  в усій області розглядається множина функцій  $T^{(e)}$ , визначена на окремих скінчених елементах. У цьому випадку інтеграли розбиваються на інтеграли по окремих елементах.

В результаті ряду перетворень отримуємо таке матричне рівняння:

$$[K]\{T\} = \{F\}, \quad (22)$$

де  $[K]$  - глобальна матриця теплопровідності;  $\{F\}$  - глобальний вектор навантаження елементів.

Дотримуючись процедури методу скінчених елементів на основі методу Гальоркіна в слабкому формулюванні, одержуємо таке матричне рівняння для нестационарного рівняння теплопровідності:

$$[C] \frac{\partial \{T\}}{\partial t} + [K]\{T\} = \{F\}, \quad (23)$$

де  $[C]$  - матриця демпфування, яка враховує зміну температури в часі.

Для розв'язування задачі про конвективний теплообмін використовується метод скінчених об'ємів. При цьому апроксимація поверхневого інтегралу ґрунтується на припущенні сталості підінтегральної функції на всій поверхні розглядуваної грані, а об'ємного - на сталості підінтегральної функції в усьому об'ємі скінченого об'єму. Похідна за часом апроксимується скінченою різницею «вперед». Одержується явна різницева схема [3]. Вона стійка при виконанні умови:

$$\begin{cases} dt < \frac{(dx)^2}{2} \\ dx < \frac{2}{U_x} \end{cases} \quad (24)$$

Стан кожного елементарного елемента структури системи тепломасообміну визначається внутрішніми процесами, відображеними в субмоделі, і впливами на нього інших елементарних елементів.

Узагальнена інформація про наявність впливу для кожного елементарного елемента подається матрицею міжелементних впливів. Значення елемента в матриці, що дорівнює 1, розміщене у рядкові з іменем  $i$  і у стовпчиків з іменем  $k$ , означає, що елементарний елемент з іменем  $i$  зазнає впливу з боку елементарного елемента системи з іменем  $k$ , а якщо цей елемент дорівнює 0, то такого впливу немає. Ця матриця використовується для побудови інтерфейсів функцій, які описують поведінку елементарних елементів системи.

Моделювання поведінки системи виконується на певному відрізку часу. При цьому виконання кожного часового кроку включає 3 етапи:

1. Кожний елементарний елемент системи одержує інформацію про стан елементарних елементів, які впливають на нього в даний момент часу.

2. Кожний елементарний елемент системи обчислює свій стан у наступний момент часу (не переходячи при цьому в наступний стан). Обчислення виконуються на основі відповідної субмоделі елементарного елемента системи.

3. Кожний елементарний елемент системи реалізує (переводить себе в) наступний стан.

Відповідно до ідеології об'єктно-орієнтованого моделювання, всі елементарні елементи моделі типізовані, тобто відносяться до певного класу і кожний елемент моделі подається об'єктом відповідного класу. При цьому структура, властивості і поведінка об'єкта даного

класу однозначно визначається описом цього класу. Клас визначає інформаційну структуру елемента моделі і містить набір функцій (методів), що визначають еволюцію його стану. При цьому структура міжелементних взаємодій, що визначається матрицею міжелементних впливів, подається у відповідних класах у вигляді списків аргументів функцій - членів класу, які здійснюють виконання другого етапу чергового кроку моделювання системи.

Інформаційна технологія для оцінювання тепломасообмінного процесу складається з трьох основних частин: препроцесора, вирішувача і постпроцесора [4]. Кожна з цих частин є незалежною і може бути використаною як окрема програма. Зв'язок між програмами здійснюється за допомогою стандартизованих потоків даних (файлів).

Препроцесор призначений для достовірного візуального введення і редагування інформації як геометричного і теплофізичного характеру, так і визначаючого тепловий процес. Оболонка препроцесора будується у вигляді ієрархічної структури за принципом дерева каталогів.

Вирішувач за початковими даними, одержаними із препроцесора, на основі функціональної моделі предметної області з використанням модулів, що складають інформаційну базу пакету, формує програму у вигляді послідовності класів і їх об'єктів для розв'язування конкретної задачі з оцінювання тепломасообмінного процесу та виконує відповідні обчислення.

У розробленому постпроцесорі передбачена можливість візуалізації полів швидкості, температури, тиску.

**Список літератури:** 1. *Єрохін А. Л., Зацеркляний Г. А.* Розробка об'єктно-орієнтованої моделі для аналізу тепловтрат у будівлі невиробничого призначення // Технологический аудит и резервы производства. 2016. № 5/1 (31). С. 26-33. 2. *Куценко О. С., Зацеркляний Г. А.* Моделювання теплообміну через огорожувальні поверхні будівлі // Вісник НТУ «ХПІ». 2012. № 42 (948). С. 129-141. 3. *Yerokhin A. L., Zatserklyanyi H. A.* Heat and mass exchange analysis indoors. Міжвідомчий збірник наукових праць Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України «Відбір і обробка інформації». 2016. № 44 (120). С. 51-55. 4. *Єрохін А. Л., Зацеркляний Г. А.* Інструментальний засіб для аналізу тепломасообмінних процесів будівель // Теорія і практика актуальних наукових досліджень. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2017.

*Надійшла до редколегії 14.05.2019*

**Єрохін Андрій Леонідович**, докт. техн. наук, професор, декан факультету комп'ютерних наук ХНУРЕ. Наукові інтереси: обчислювальний інтелект, ідентифікація аномальних ситуацій. Адреса: Україна, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

**Зацеркляний Георгій Альбертович**, аспірант, кафедра програмної інженерії ХНУРЕ. Наукові інтереси: моделювання процесів. Адреса: Україна, 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.



*Т. Г. БІЛОВА*

## **ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ БАЗИ ДАНИХ СИСТЕМИ НАДАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ АДМІНІСТРАТИВНИХ ПОСЛУГ**

Розглянуто особливості розробки розподіленої бази даних суб'єктів системи надання електронних адміністративних послуг як гетерогенної системи. Визначено етапи проектування системи знизу до гори, засоби забезпечення фрагментації та реплікації даних. Досліджено механізми реалізації віддалених та розподілених запитів та транзакцій, що охоплюють декілька органів державної влади. Процес проектування визначено у два етапи, пов'язані з попередньою розробкою та репроекткуванням. Сформульовано лінійний адитивний критерій ефективності проектування та якості надання послуг.

### **1. Вступ**

Основою архітектури системи надання електронних адміністративних послуг є розподілена база даних (РБД), що дає змогу ефективно використовувати для організації послуг інформацію з різномірних джерел [1]. Проектування, створення та підтримка такої системи пов'язані з рядом труднощів, що мають місце при інтеграції даних. Інтеграція БД в слабо пов'язані федерації потребує розвитку нових методів управління даними, що є специфічними для таких середовищ. Концепції, що використовуються в централізованих БД, не можуть бути використані. Побудова розподіленої системи потребує підтримки даних, що створюються на різних фізичних серверах БД, розгортаються на різних апаратно-програмних платформах та зберігаються у різних форматах. Головна задача такої системи - представлення інформації про власні ресурси та різні рівні доступу для користувачів.

Організаційні та правові питання створення системи електронного урядування активно розроблюються спеціалістами в рамках державного урядування [2], але питання практичної реалізації системи на базі сучасних інформаційних технологій мають розрізнений характер. Наприклад, розглядаються питання створення математичної моделі заявника до системи електронного урядування [3], але реалізація цієї моделі в рамках системи так і залишається невизначеною.

Дослідження в галузі розробки та експлуатації РБД свідчать, що оптимальні алгоритми фрагментації та сегментації РБД відносять до NP-складних [4], тобто з ростом розмірності завдань їх обчислювальна складність зростає експоненційно. Тому на цей час не існує систем, що повністю реалізують дванадцять принципів побудови РБД, сформульовані Дейтом [5]. Вирішення задач проектування неоднорідних РБД зводиться до визначення схем фрагментації та реплікації даних за допомогою евристичних та генетичних алгоритмів [4]. В рамках сучасних досліджень в галузі РБД значне місце присвячено проблемам інтеграції даних з різномірних систем, розробці моделей глобальної схеми БД та її модифікації [6, 7]. Для створення цих моделей використовуються математичні апарати теорії графів, теорії множин, предикатів тощо.

Актуальною є задача узагальнення та розробки підходів для проектування РБД системи надання електронних адміністративних послуг з урахуванням особливостей адміністративних регламентів, представлених у вигляді шаблонів моделей елементарних та композиційних послуг, та гетерогенності розподіленого середовища обробки.

Метою дослідження є визначення етапів проектування РБД системи надання електронних адміністративних послуг, основним принципом якої є інтеграція інформаційних систем органів державної влади. В рамках поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі: визначити проблеми організації розподіленої обробки інформації при наданні адміністративних послуг та сформулювати задачу проектування РБД; визначити методи розподіленої обробки даних в БД; визначити основні етапи проектування та критерій оцінки якості надання послуг в рамках роботи системи.

## 2. Постановка задачі проектування розподіленої бази даних

Розроблена в [1] архітектура системи надання адміністративних послуг є технологічним рішенням для органів державного управління, в апараті яких працюють кілька тисяч працівників, залучених до взаємодії з громадянами та організаціями. Взаємодія між суб'єктами системи реалізується за допомогою урядового порталу, який виконує функції управління інтерфейсом, формування моделей виконання процесів, управління розподіленими транзакціями та оптимізацію запитів. Службовцям надається доступ до урядового порталу за технологією «ролей».

Суб'єкти надання послуг в такій системі представляються у вигляді РБД. В загальному випадку РБД складається з множини вузлів прийому запитів (query site) і непорожньої множини вузлів даних (data site). Вузли даних виконують функції зберігання даних, а на вузлах прийому запитів реалізується користувальницький інтерфейс для доступу до даних, що зберігаються в вузлах даних. Найважливіша відмінна ознака такої системи - слабо зв'язаний характер середовища. Фундаментальний принцип створення РБД [5] полягає у представленні для суб'єктів звернення та суб'єктів надання послуг розподіленої системи як централізованої.

Розглянемо механізми надання адміністративних послуг. Як відомо з [2], більшість адміністративних послуг орієнтовано на так звані «життєві епізоди», тобто типові ситуації, які виникають в процесі життя будь-якої людини та вимагають взаємодії з органами влади для оформлення відповідних документів, надання допомоги тощо. Послуги, орієнтовані на життєві епізоди, з точки зору розподіленого оброблення та надання інформації, мають такі властивості:

- життєвий епізод ініціалізує декілька елементарних та/або композитних послуг, вихідні результати одних з них є вхідними даними для інших;
- обробка кожної з послуг може вимагати звернення до декількох державних структур;
- суб'єкту звернення повинна надаватися можливість виконати всі дії для одержання послуги в одному місці - принцип «єдиного вікна».

На рис. 1 представлено модель життєвого епізоду «народження дитини» та пов'язані з ним послуги у відповідності з інформаційною моделлю адміністративної послуги, розробленою в [1].

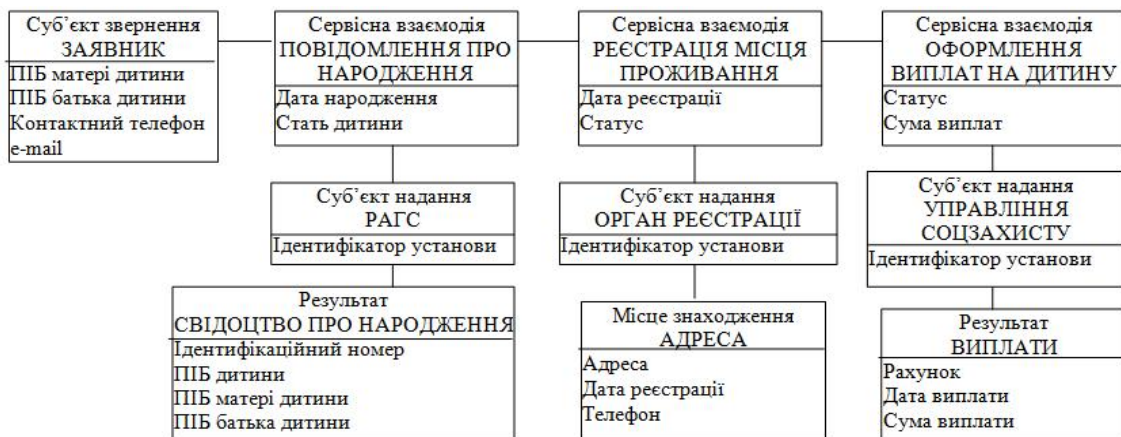


Рис. 1. Модель адміністративних послуг, пов'язаних з життєвим епізодом «народження дитини»

Використання РБД як основи системи надання електронних адміністративних послуг, орієнтованих на життєві епізоди, визначається наступними вимогами:

- «транзакційність» - необхідність відстежувати виконання пов'язаних операцій в рамках надання послуги і в разі помилки чи збою при виконанні однієї з операцій скасовувати всі кроки транзакції;
- необхідність моніторингу процесу виконання послуги;
- жорсткий контроль виконання послуги.

РБД як складова частина системи надання електронних адміністративних послуг визначає її функціонування в трьох вимірах: публікація інформації; транзакції в рамках окремої державної установи; транзакції, що потребують інтеграції між кількома державними структурами. Найбільш вразливим етапом є підтримка транзакцій, що потребують інтеграції між декількома структурами. При цьому розрізняють віддалені транзакції, коли дані оброблюються в іншій державній структурі, та розподілені транзакції, коли дані оброблюються в більш ніж одній структурі. За тим же принципом розділяються і запити.

Складність обробки розподілених запитів та транзакцій визначається накладанням додаткових обмежень на забезпечення цілісності даних як в локальних вузлах, так і знань про представлення даних в віддалених вузлах.

Державні установи використовують різні архітектури даних для забезпечення реалізації своїх функцій, що належать до різноманітних предметних областей, які можна розділити на дві великі групи: гомогенні та гетерогенні.

Гомогенні предметні області відповідають послугам, які надаються однією окремою установою. Це елементарні послуги, що передбачають використання централізованої архітектури інформаційних систем та централізованої БД.

Гетерогенні предметні області виділяють або всередині великих територіально розподілених установ, або при описі взаємодії різних установ (компонентні послуги). У цих випадках передбачається використання різних архітектурних рішень та баз даних. При цьому основна увага приділяється обміну даними між різними типами систем.

В загальному випадку наявність власних систем в органах влади різних рівнів визначає гетерогенність РБД, яка повинна інтегрувати розрізнені інформаційні ресурси з метою створити загальну середу надання адміністративних послуг. У гетерогенних системах для організації взаємодії між різними типами СУБД забезпечується трансляція переданих повідомлень. Наприклад, як транслятор можна використовувати Heterogeneous Services [8], що підтримує доступ до БД, які відрізняються від Oracle. Система повинна взяти на себе локалізацію необхідних даних і виконання трансляції переданих повідомлень. У загальному випадку дані можуть бути затребувані з іншого вузла, який характеризується такими особливостями:

- інший тип використовуваного обладнання;
- інший тип використовуваної СУБД;
- інший тип застосовуваних обладнання та СУБД.

Основні проблеми проектування пов'язані зі створенням єдиної концептуальної схеми РБД шляхом інтеграції окремих локальних концептуальних схем. При наявності семантичної неоднорідності інтеграція локальних моделей даних стає надзвичайно важкою задачею.

Таким чином, задача проектування РБД формулюється як пошук відображення  $\varphi$ :

$$\langle P, L \rangle \xrightarrow{\varphi, Z} \langle G, F, S, R, T \rangle, \quad (1)$$

де  $P$  - множина моделей елементарних та композитних адміністративних послуг;  $L$  - множина локальних схем БД вузлів суб'єктів надання послуг;  $G$  - глобальна схем РБД;  $F$  - схема фрагментації даних;  $S$  - схема реплікації даних;  $R$  - множина розподілених запитів;  $T$  - множина розподілених транзакцій;  $Z$  - критерій ефективності проектування.

Тобто проектування є відображенням множини моделей послуг та локальних схем вузлів в глобальну схему РБД з визначенням механізмів фрагментації, розміщення даних та формування розподілених запитів та транзакцій з урахуванням критерію ефективності.

### 3. Методи забезпечення розподіленої обробки даних в БД

Для вирішення задач розподіленої обробки в РБД застосовують технології фрагментації та реплікації даних, а також розподілені обмеження цілісності, розподілені запити та транзакції. Комплексна реалізація усіх визначених технологій дозволяє значно підвищити ефективність, доступність та масштабованість системи.

Під фрагментацією розуміємо розбиття БД або таблиці на кілька частин і зберігання цих частин на різних вузлах РБД. Задачу фрагментації можна сформулювати наступним чином:

- якщо відношення  $R$  розбивається на фрагменти  $R_1, R_2, \dots, R_n$ , то  $\cup R_i = R$  при умові існування операції реляційної алгебри, що дозволяє відновити відношення  $R$  з його фрагментів;

- якщо елемент даних  $d_j \subset R_i$ , то він не повинен бути присутнім одночасно в інших фрагментах, виняток - первинний ключ при вертикальній фрагментації.

Основним принципом фрагментації є зберігання інформації там, де вона може бути використана. Тому з точки зору обслуговування адміністративних послуг доречно застосовувати горизонтальну фрагментацію. Наприклад, розміщення інформації щодо користувачів послуг згідно з регіоном проживання у відповідних регіональних органах влади та місцевого самоврядування.

Для підвищення якості обробки розподілених даних використовується реплікація - створення і зберігання копій одних і тих самих даних на різних вузлах РБД. Такий підхід прискорює обробку інформації, але потребує додаткових механізмів відстеження актуальності та відновлення реплік. В рамках надання адміністративних послуг, як правило, результат виконання запитів містить невеликий обсяг даних, тому підтримка механізмів реплікації потрібна лише в окремих випадках, наприклад, для створення звітів.

До засобів розподіленої обробки також відносять:

- розподілені обмеження цілісності - обмеження, для перевірки виконання яких потрібно звернення до іншого вузла РБД;

- розподілені запити - запити на читання, які звертаються більш ніж до одного вузла РБД;

- розподілені транзакції - команди на зміну даних, які звертаються більш ніж до одного вузла РБД.

Реалізації зазначених вище методів потребує вирішення задачі управління глобальними даними. Глобальна схема повинна містити всі дані, що розміщуються в локальних вузлах, та всі зміни в локальній БД повинні поширюватися на глобальну схему.

В залежності від ступеня інтеграції збережених в РБД даних глобальна схема може бути представлена як:

- централізована схема, дані якої розташовані на спеціально виділеному вузлі;

- повністю реплікована схема (розподіл копії глобальної схеми на кожен вузол РБД з забезпеченням процедур її відтворення);

- секціонована схема (децентралізований варіант глобальної схеми, при якому на кожному вузлі зберігається його локальний варіант схеми тільки для об'єктів, що зберігаються на цьому вузлі; загальна схема є об'єднанням всіх локальних схем);

- секціонована схема з централізованою реплікацією (на кожному вузлі зберігається його локальна схема, а на спеціально виділеному центральному вузлі зберігаються актуальні репліки всіх цих локальних схем).

Управління глобальною схемою містить наступні задачі: вибір формальної моделі для представлення глобальної схеми, визначення рівнів глобальної схеми, підтримка глобальної схеми в актуальному стані, реструктуризація глобальної схеми. Для системи надання електронних адміністративних послуг пропонується модель представлення глобальної схеми як орієнтований граф без петель [1, 9], що відображує глобальний рівень та локальні рівні у відповідності до ієрархії органів державної влади. Таке представлення дозволяє використовувати рекурсивні алгоритми обходу графів при проведенні пошуку потрібної для реалізації послуг інформації.

Розробка РБД системи надання електронних адміністративних послуг «знизу до гори» містить наступні етапи: розробка регламентів електронних послуг; відображення регламентів на глобальну схему РБД; визначення процедур фрагментації та розміщення даних по вузлах.

#### **4. Життєвий цикл проектування РБД**

Життєвий цикл проектування РБД містить дві фази: проектування і репроектування. Під проектуванням розуміють фрагментацію відношень та розміщення їх по вузлах обчислювальної мережі. Можливі зміни в законодавстві та регламентах надання адміністративних послуг, постійна реструктуризація державних структур вимагають підвищеної уваги саме до другої фази - репроектування.

На рис. 2 представлено основні фази проектування РБД для системи надання електронних адміністративних послуг. Циклічне представлення фази репроектування дає змогу підтримувати РБД в актуальному стані та налаштувати її на зміну параметрів предметної області.

Для оцінки якості надання послуг, орієнтованих на життєві епізоди, при розробці РБД можна використовувати наступний адитивний критерій:

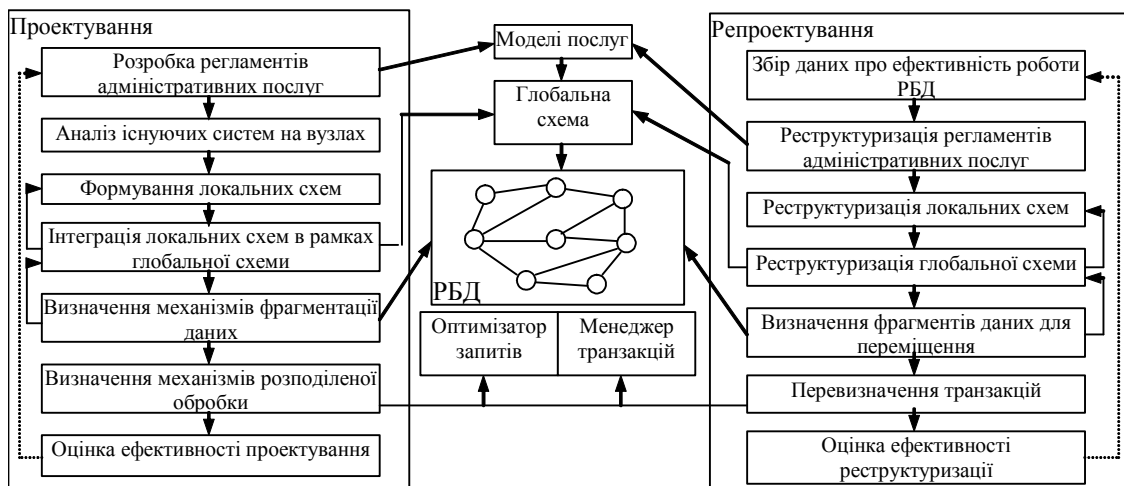


Рис. 2. Життєвий цикл проектування РБД

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( k_t(t) \frac{\tau_{ij}^r}{\tau_{ij}^t} + k_g(t) \omega_{ij} \right) p_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $n$  - кількість вузлів РБД (суб'єктів надання);  $m$  - кількість адміністративних послуг, що оброблюються в системі за певний проміжок часу;  $\tau_{ij}^r, \tau_{ij}^t$  - відповідно, реальний та теоретичний час відгуку на  $j$ -й запит  $i$ -им вузлом;  $\omega_{ij}$  - коефіцієнт ефективності оброблення  $j$ -го запиту в  $i$ -му вузлі, що визначається на основі оцінки отриманих послуг суб'єктами звернення;  $p_{ij}$  - ймовірність обробки  $i$ -ї послуги в  $j$ -му вузлі;  $k_t$  і  $k_g$  - відповідно, коефіцієнти важливості часу відгуку та готовності транзакції, що лежать в межах від 0 до 1 та визначаються на основі експертних оцінок [6].

Складність оптимізації при вирішенні задачі (1) за критерієм (2) визначається виглядом цільової функції, що є лінійною, залежить від параметру часу та містить стохастичну складову. Для вирішення такої задачі доцільно використовувати методи параметричного та стохастичного програмування, такі як метод послідовного покращення плану та зведення до задач опуклого програмування.

## 5. Висновки

Існуючі технології проектування РБД ґрунтуються на створенні розподіленого середовища обробки даних шляхом інтеграції різнорідних вузлів та не враховують динамічні зміни в регламентах надання адміністративних послуг. Запропонований підхід до проектування РБД містить дві стадії: проектування та репроєктування, що дає змогу адаптувати систему до змін в законодавстві та реструктуризації органів влади. Процес репроєктування базується на постійному аналізі відповідності системи вимогам та виконується циклічно. У разі внесення змін в модель адміністративної послуги запускається реструктуризація РБД, що охоплює лише ті вузли системи, в яких зберігається інформація, пов'язана з виконанням даної послуги.

Запропонований адитивний критерій якості обслуговування дозволяє оцінити ефективність обробки інформації в системі як з точки зору суб'єктів надання послуг, так і з точки зору суб'єктів звернення. Питанням розробки алгоритмів репроєктування глобальної схеми РБД будуть присвячені подальші дослідження.

**Список літератури:** 1. Білова Т.Г. Архітектура системи представлення електронних адміністративних послуг // АСУ та прибори автоматики. 2018. № 175. С. 49-53. 2. Клімушин П. С., Серенко А.О. Електронне урядування в інформаційному суспільстві : [монографія.] Харків : Вид-во ХарПІ НАДУ «Магістр», 2010. 312 с. 3. Марковець О.В. Математична модель заявника для систем електронного урядування // Інформаційні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2011. № 699. С.154-164. 4. Чумаченко Е.И., Захаров С.С. Алгоритмическое обеспечение распределенных баз

данных // Штучний інтелект. 2013. № 1. С. 49-54. 5. *Дейт К. Дж.* Введение в системы баз данных. М.: Вильямс. 2005. 1328 с. 6. *Бальченко Г.В.* Проблемы розроблення неоднорідних розподілених систем управління базами даних // Технічні науки та технології. 2016. № 2 (4). С. 67-71. 7. *Бобрешов-Шишов Д. И., Саяркин Л. А., Шаров И. А.* Динамическое управление структурой распределенной базы данных / Молодой ученый. 2015. № 7. С. 51-53. 8. *Кайт Т., Кун Д.* Oracle для профессионалов: архитектура и методики программирования, 3-е изд. :Пер. с англ. М.: 000 «ИД. Вильямс». 2016. 960 с. 9. *Афанасьев В.В., Лебедеко Е.В.* Графоаналитическая модель процесса формирования глобальной схемы мультибазы данных с учетом этапов ее реструктуризации // Информационные системы и технологии. 2014. № 1 (81). С 12-18.

*Надійшла до редколегії 11.06.2019*

**Білова Тетяна Георгіївна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ІУС ХНУРЕ. Наукові інтереси: моделювання бізнес-процесів в органах державної влади та управління, хмарні технології, розподілені бази даних. Адреса: Україна, м. Харків, пр. Науки 14, тел. +38(057)7021451.

---

УДК 004.75

DOI: 10.30837/0135-1710.2019.176.054

*И.А.МАЛЬКОВА*

## **МОДЕЛИ ШАБЛОНОВ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЗАТРАТ НА РЕАЛИЗАЦИЮ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ**

---

В статье рассмотрены вопросы построения логической сети, отображающей поведение агентов мультиагентной системы, с использованием набора шаблонов, представляющих собой типовые фрагменты логической сети. Представлены модели шаблонов в графическом виде и в виде логических формул алгебры конечных предикатов, а также правила применения моделей шаблонов, описывающие ограничения и возможные варианты построения логической сети.

### **1. Постановка проблемы**

Процессный подход к управлению предприятием требует применения знаний, необходимых для непосредственного управления и оптимизации бизнес-процессов (БП). Важным классом БП являются БП с изменяющейся структурой (БПИС).

Реализация цели БПИС выполняется в условиях временных и материальных ограничений. В связи с этим возникает проблема оценки временных и материальных затрат на реализацию различных вариантов БПИС.

Оперирование бизнес-объектом (БО) в условиях временных и материальных ограничений предполагает учет затрат при обработке таких объектов. Для предметной области, связанной с обработкой электронных документов, БПИС предполагает использование в качестве БО электронных документов, что требует проведения мониторинга компьютерных сетей с учетом особенностей процессного подхода.

Исходя из этого, актуальной является проблема мониторинга ресурсов компьютерной сети (КС) с целью получения оценки временных и материальных затрат на обработку БО для принятия обоснованных решений о порядке реализации процедур БП с учетом логических взаимосвязей между ними. Мониторинг обеспечивает необходимые условия для гибкой перестройки последовательности действий БП и выдерживание ограничений на время выполнения БП, что, в свою очередь, требует разработки модели оценки затрат на обработку БО в рамках процессного подхода.

Решение проблемы оценивания затрат ресурсов КС при обработке БО на базе мониторинга состояния ресурсов КС осуществляется посредством мультиагентной системы (МАС) [1,2].

Согласно [1,2] поведение МАС базируется на основе правил взаимодействия агентов, что требует применения логического аппарата для описания взаимодействия агентов и поведения системы в целом. Такой аппарат должен учитывать временные параметры и последовательность выполнения действий. В соответствии с изложенными особенностями

МАС, а также необходимостью оценивания затрат на реализацию БПИС актуальной является проблема формализации поведения агентов МАС.

## 2. Постановка задачи исследования

В рамках изложенной проблемы возникают следующие задачи:

- разработка моделей шаблонов, представляющих собой типовые фрагменты логической сети, отображающей поведение агентов МАС;
- разработка правил применения шаблонов.

Технология Workflow [3-6] ориентирована на построение моделей БП, включая описание последовательности работ. Данная технология использует специальный язык Workflow, основанный на шаблонах (моделях, образцах) Workflow.

Взяв за основу шаблоны Workflow, сформируем минимальный набор шаблонов, достаточный для описания всех возможных траекторий поведения агентов МАС.

Под шаблоном будем понимать структурно-логическую схему, отображающую пару состояний агента, в которых выполняются определенные действия в рамках МАС.

Для решения данной задачи необходимо:

- выделить типовые фрагменты логической сети и представить их в виде шаблонов, взяв за основу шаблоны Workflow;
- определить количество шаблонов, которое должно быть достаточным для того, чтобы описать все возможные траектории поведения агентов;
- разработать модели шаблонов, то есть описать в виде логических формул алгебры конечных предикатов;
- представить модели шаблонов в графическом виде;
- сформулировать правила применения шаблонов - общие правила, описывающие ограничения и возможные варианты построения логической сети.

Главным преимуществом данного подхода является то, что он позволяет ответить на вопрос как строить логическую сеть, отображающую поведение агентов МАС, ориентированной на оценку затрат на обработку объектов БП в распределенной компьютерной сети.

В рамках данной работы описание правил применения шаблонов предлагается выполнить средствами алгебры конечных предикатов, что открывает возможность перехода от алгоритмического описания БП к описанию их в виде уравнений [7].

Предположим, что алфавит букв А состоит из четырех символов {a,b,c,d}, а алфавит переменных В - из двух символов  $x, \tau$ . Заданы также следующие логические операции:

$\rightarrow$  - импликация (если - то);

$\neg$  - отрицание.

Обозначим действия агента переменной  $x$ , а задержки переменной  $\tau$ .

Переменная  $\tau$  - дискретное время, принимающее значения  $0, 1, 2, \dots, n$ .

Переменная  $x$  принимает одно значение из множества {a,b,c,d}.

## 3. Модели шаблонов поведения агентов мультиагентной системы

Рассмотрим основные типы шаблонов для построения логической сети.

Шаблон 1 (последовательность).

Описание: действие  $b$  траектории  $t$  выполняется после завершения действия  $a$ , принадлежащего той же траектории  $t$  (рис. 1).

Модель шаблона 1 может быть представлена следующим выражением:

$$x(\tau)^a \rightarrow x(\tau + 1)^b \text{ или } \neg x(\tau)^a \vee x(\tau + 1)^b. \quad (1)$$

Правило использования: шаблон 1 (последовательность) используется для моделирования последовательности шагов в траектории реализации поведения агентов логической сети.

Шаблон 2 (параллельно распределенный или выполняемый).

Описание: выполнение действия  $a$  создает возможность для выполнения обоих действий  $b$  и  $c$  (рис. 2).



Рис. 1. Схема шаблона 1

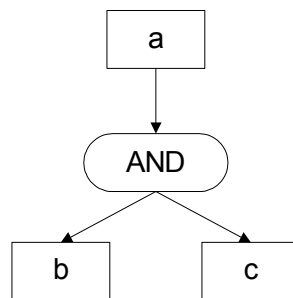


Рис. 2. Схема шаблона 2

Модель шаблона 2 может быть представлена следующим выражением:

$$x(\tau)^a \rightarrow (x(\tau+1)^b \vee x(\tau+2)^c) . \quad (2)$$

Правило использования: шаблон 2 (параллельно распределенный или выполняемый) применяется для обеспечения движения агентов по параллельным траекториям. Может быть использован в том месте логической сети, где существует один вход и два выхода, причем после выполнения входного действия приводятся в исполнение оба выходных действия.

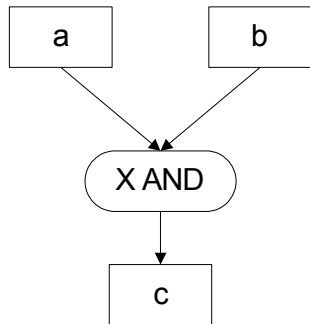


Рис.3. Схема шаблона 3

Шаблон 3 (сходящийся).

Описание: действие с может быть выполнено после завершения обоих действий а и b (рис. 3).

Модель шаблона 3 может быть представлена следующим выражением:

$$(x(\tau)^a \wedge x(\tau)^b) \rightarrow x(\tau+1)^c . \quad (3)$$

Правило использования: шаблон 3 (сходящийся) применяется для обеспечения движения агентов по параллельным траекториям. Может быть использован в том месте логической сети, где существует два входа и один выход, причем завершение обоих входных действий приводит в исполнение одно выходное действие.

Шаблон 4 (исключительный выбор).

Описание: выполнение действия а создает возможность для выполнения одного из действий b или с (рис.4).

Модель шаблона 4 может быть представлена следующим выражением:

$$x(\tau)^a \rightarrow (x(\tau+1)^b \wedge x(\tau+1)^c) . \quad (4)$$

Правило использования: шаблон 4 (исключительный выбор) может быть использован в том месте логической сети, где существует один вход и два выхода, причем после завершения входного действия приводится в исполнение одно из выходных действий.

Шаблон 5 (слияние).

Описание: действие с может быть выполнено после того, как выполнено одно из предыдущих действий а или b (рис. 5).

Модель шаблона 5 может быть представлена следующим выражением:

$$(x(\tau)^a \vee x(\tau)^b) \rightarrow x(\tau+1)^c . \quad (5)$$

Правило использования: шаблон 5 (слияние) может быть использован в том месте логической сети, где существует два входа и один выход, причем после завершения одного из входных действий приводится в исполнение выходное действие.

Шаблон 6 (цикл).

Описание 1: действие b выполняется неоднократно до тех пор, пока не выполнится действие с (рис.6).

Модель шаблона 6 (повторное выполнение одного действия) может быть представлена следующим выражением:

$$x(\tau)^b \rightarrow \neg x(\tau+1)^c \text{ или } \neg x(\tau)^b \rightarrow x(\tau+1)^c . \quad (6)$$

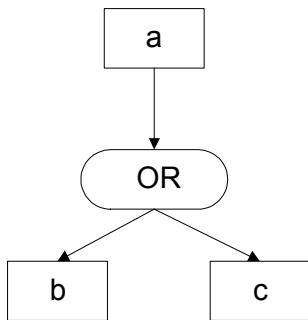


Рис.4. Схема шаблона 4

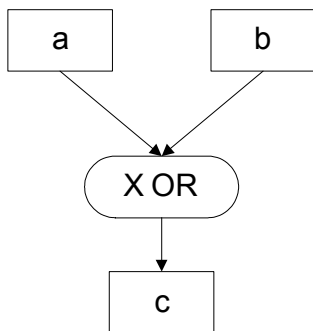


Рис.5. Схема шаблона

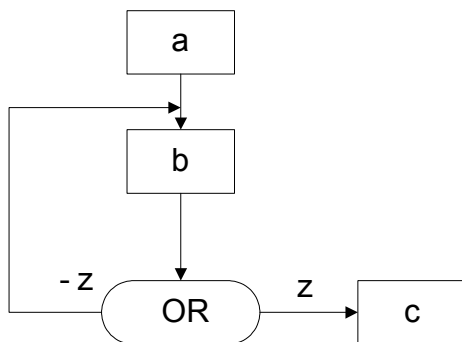


Рис.6. Схема шаблона 6 (повторное выполнение одного действия)



Описание 2: действия b и c выполняются неоднократно до тех пор, пока не выполнится действие d (рис.7).

Модель шаблона 6 (повторное выполнение нескольких действий) может быть представлена выражением

$$(x(\tau)^b \rightarrow x(\tau+1)^c) \rightarrow \neg x(\tau+2)^d \quad (7)$$

или

$$\neg(x(\tau)^b \rightarrow x(\tau+1)^c) \rightarrow x(\tau+2)^d . \quad (8)$$

Правило использования: шаблон 6 (цикл) может быть использован в том месте логической сети, где одно или несколько действий выполняются неоднократно.

#### 4. Выводы

Предлагается логический подход к формализации поведения агентов МАС с применением математического аппарата алгебры конечных предикатов.

Представлены шесть моделей шаблонов в графическом виде и в виде логических формул алгебры конечных предикатов, а также правила применения моделей шаблонов, описывающие ограничения и возможные варианты построения логической сети.

Главным преимуществом данного подхода является то, что он позволяет ответить на вопрос, как построить логическую сеть, отображающую поведение агентов МАС, ориентированной на оценку затрат на обработку объектов БП в распределенной компьютерной сети.

**Список литературы:** 1. Чалый С.Ф., Макрушан И.А. Модель мультиагентной системы оценивания затрат на обработку объектов бизнес - процессов в распределенной компьютерной сети // Весник Национального университета «Львівська Політехніка»: «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». 2009. № 650. С. 141-150. 2. Jennings N. R., Faratin P., Johnson M. J., Norman T. J., O'Brien P., Wiegand M. E. Agent-Based Business Process Management. Int Journal of Cooperative Information Systems 5 (2&3) 105-130, 1996. 3. Agostini and G. De Michelis. A Light Workflow Management System Using Simple Process Models. Computer Supported Cooperative Work, 9 (3/4). 2000. P. 335-363. 4. Charles Plesums An Introduction to Workflow // Workflow Handbook. 2002. [http://www.wfmc.org/information/introduction\\_to\\_workflow02.pdf](http://www.wfmc.org/information/introduction_to_workflow02.pdf). 5. Carol Prior. Workflow and Process Management// Workflow Handbook.-2003.-[www.wfmc.org/information/Workflow\\_and\\_Process\\_Management.pdf](http://www.wfmc.org/information/Workflow_and_Process_Management.pdf). 6. David Hollingsworth. The Workflow Reference Model: 10 Years On // Workflow Handbook 2004. [http://www.wfmc.org/standards/docs\\_Ref\\_Model\\_10\\_years\\_on\\_Hollingsworth.pdf](http://www.wfmc.org/standards/docs_Ref_Model_10_years_on_Hollingsworth.pdf). 7. Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Теория интеллекта: учеб. [для студ. высш. учеб. зав.]. Харьков: НТУ «ХПИ». 2006. 587 с.

Надійшла до редколегії 24.06.2019

**Малькова Ирина Анатольевна**, ассистент кафедры ИУС ХНУРЭ. Научные интересы: управление бизнес-процессами, системы поддержки принятия решений. Адрес: Украина, 61166, г. Харьков, пр. Науки, 14, тел. +38(057)7021451.

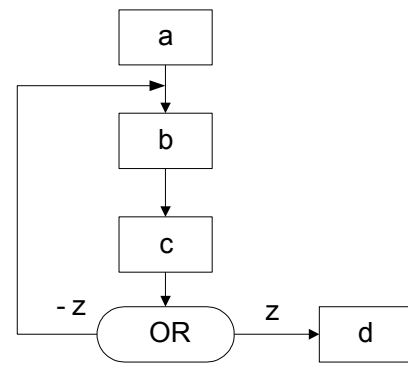


Рис.7. Схема шаблона 6 (повторное выполнение нескольких действий)

*А.В. ВОВК, В.С. КУЗНЕЦОВА*

## **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ЗАГРУЗКИ САЙТОВ**

В предлагаемой статье разработан метод создания сайтов с учетом требований относительно увеличения скорости их загрузки. Описаны рекомендации по оптимизации сайта и шаги, которым необходимо уделить особое внимание. Применение разработанного метода способствует увеличению скорости загрузки, что окажет ключевое влияние на доступность сайта пользователю, особенно в психологическом аспекте, что повысит активность пользователей на сайте и конверсию.

### **1. Введение**

Современные технологии играют одну из ведущих ролей в повседневной жизни, а Интернет, несомненно, занимает лидирующие позиции, следовательно, сайты являются одним из самых незаменимых атрибутов большинства фирм и организаций, так как выполняют роль профессионального и квалифицированного представителя в Интернете, доступного круглосуточно для всех пользователей из любой точки мира.

Потребность в сайте формируется на основе ряда следующих преимуществ:

- эффективное привлечение новых клиентов;
- увеличение числа стабильных заказов и прибыли;
- улучшенная коммуникация и другие виды взаимодействия с потребителями;
- возможность показать большому количеству людей свое творчество и поделиться мыслями.

- улучшение узнаваемости бренда.

Следует заметить, что данные преимущества будут присутствовать лишь при качественном создании сайта. Его основными характеристиками являются:

- высокая скорость загрузки;
- удобство навигации;
- интуитивно понятный интерфейс;
- наличие специальных инструментов, которые смогут привлечь и убедить потенциального покупателя;
- лаконичный дизайн.

Быстрота загрузки страниц - одно из главных правил качественного Интернет-сайта, она увеличивает коэффициент конверсии, вовлеченность пользователей и поднимает сайт в результатах выдачи. Особенно большое значение она приобретает, если речь идет о мобильном трафике.

### **2. Цель и задачи исследования**

Цель работы - исследование способов повышения качества сайтов как IT-продуктов по критерию скорости их загрузки.

Для достижения данной цели необходимо решить такие задачи:

- разработать метод повышения скорости загрузки сайтов;
- разработать рекомендации по практической реализации предлагаемого метода.

### **3. Описание метода повышения скорости загрузки сайтов**

В настоящее время оценивание скорости загрузки сайтов осуществляется на основе общей совокупности метрик. Однако множество сервисов и средств решения задачи оценивания (например, WebPageTest, Google PageSpeed Insights, Pingdom) оптимизированы для решения отдельных частных случаев этой задачи. Так Google PageSpeed Insights, например, даёт рекомендации по увеличению полученной оценки сайта, то есть его ускорения в соответствии с требованиями и рекомендациями корпорации Google.

Однако проведенный анализ основных представителей данного множества сервисов и средств решения задачи оценивания скорости загрузки сайтов позволил выделить ряд общих положений, следование которым гарантирует улучшение итоговой оценки для создаваемых сайтов. На основе этих положений был разработан метод увеличения скорости загрузки сайтов, представляющий собой последовательность следующих этапов.

Этап 1. Изначальное создание сайта в соответствии со стандартами W3C или исправление ошибок и несоответствий в коде.

Этап 2. Сокращение объема ресурсов CSS и JavaScript.

Этап 3. Уменьшение времени ответа сервера путём перемещения всех статичных файлов с веб-сайта на CDN.

Этап 4. Уменьшение количества HTTP-запросов.

Этап 5. Помещение CSS-файлов в начале страницы.

Этап 6. Включение сжатия в настройках сервера.

Этап 7. Оптимизация мобильной версии сайта.

Этап 8. Использование кэша браузера.

Этап 9. Уменьшение количества DNS-запросов.

Этап 10. Оптимизация изображения.

Этап 11. Работа над сокращением времени ответа сервера, в том числе:

- оптимизация работы с базой данных;
- использование наиболее производительного сервера;
- использование акселераторов PHP;
- настройка серверного кэширования страниц.

#### **4. Разработка рекомендаций по практической реализации этапов метода повышения скорости загрузки сайтов**

В ходе практической апробации предложенного метода были разработаны следующие рекомендации по выполнению его отдельных этапов.

В ходе выполнения Этапа 2 уменьшение объема файла приводит к уменьшению времени его загрузки браузером. Для JavaScript и CSS утилиты по сжатию файлов удаляют комментарии, лишние пробелы и переводы строк, заменяют все объявленные переменные меньшими по длине, уменьшая общий объем файла более чем в 2 раза.

В ходе выполнения Этапа 3 на CDN можно перенести все изображения, файлы JavaScript и CSS и оставить на главном сервере только файл HTML. Размещение данной информации на CDN может существенно повысить скорость загрузки страниц сайта.

В ходе выполнения Этапа 4 следует учитывать, что 80 % загрузки страницы ориентировано на загрузку компонентов: скриптов, фотографий, файлов CSS, flash. Спецификация HTTP/1.1 советует, чтобы браузеры параллельно загружали не более двух компонентов веб-страницы с одного хоста. При уменьшении количества этих компонентов (использование Image Map, CSS-спрайтов, Inline-картинок) уменьшится количество HTTP-запросов к серверу и, как результат, увеличится скорость загрузки страницы.

Применение спрайтов в вёрстке страниц сайтов позволяет:

- сократить количество обращений к серверу;
- загрузить несколько изображений сразу, включая те, которые понадобятся в будущем;
- уменьшить размер объединённого изображения, по сравнению с совокупностью исходных картинок, в случае, если у изображений сходная палитра.

Для автоматизированной сборки спрайтов используются специальные инструменты, например, SmartSprites.

Image Map позволяют привязывать ссылки к разным областям одного изображения. Реализуется в двух различных вариантах - серверном и клиентском. В случае применения серверного варианта браузер посылает запрос на сервер для получения адреса выбранной ссылки и ждет ответа с требуемой информацией. Такой подход требует дополнительного времени на ожидание результата и отдельных файлов для каждой карты-изображения.

В клиентском варианте карта располагается в том же HTML-документе, что и ссылка на изображение.

Преимущества карт-изображений:

- карты позволяют задать любую форму области ссылки. Учитывая, что изображения по своей природе прямоугольны, сделать графическую ссылку сложной формы, например, для указания географического района, без карт-изображений не представляется возможным. Как правило, в географической тематике карты-изображения и применяются наиболее часто;
- с одним файлом удобней работать: не приходится заботиться о состыковке отдельных фрагментов, и рисунок легко можно поместить в нужное место.

В ходе выполнения Этапа 5 помещение CSS-файлов в начале страницы позволит получить постепенный рендеринг, то есть страница будет загружаться постепенно - сначала заголовок, потом логотип наверху, навигация и так далее, а это, в свою очередь, служит отличным индикатором загрузки страницы для пользователя и улучшает общее впечатление от сайта. Помещение JavaScript в конец страницы, что позволит браузеру загрузить страницу с контентом в первую очередь, перед загрузкой JavaScript-файлов.

В ходе выполнения Этапа 6 включение сжатия помогает уменьшить время загрузки HTTP-ответа, уменьшая его объем. Рекомендуется также сжимать скрипты и CSS. На данный момент gzip является наиболее популярным и эффективным алгоритмом сжатия. В среднем сжатие gzip уменьшает размер HTTP-ответа на 70 %.

Выполнение Этапа 7 предполагает использование правильного разрешения изображений, параметров шрифта и правильной навигационной системы [1]:

- адаптация размера контента для области просмотра. На сайтах для мобильных устройств пользователи предпочитают видеть вертикальную прокрутку, а не горизонтальную. Указав область просмотра, необходимо убедиться, что содержание не выходит за ее пределы;

- использование шрифтов легко читаемого размера. Сайт, на котором посетителям приходится увеличивать масштаб для того, чтобы прочитать текст на экране смартфона, не может считаться оптимизированным. PageSpeed Insights проверяет, подойдет ли размер шрифта на сайте для пользователей мобильных устройств;

- увеличение размера активных элементов на странице. Область касания при сенсорном управлении значительно больше курсора мыши, и не всегда удается нажать нужную кнопку или ссылку, если не произошло адаптации под мобильную версию сайта;

- исключение использования Flash [3], виджетов или контента, который нельзя воспроизвести на мобильных устройствах.

В ходе выполнения Этапа 8 файлы с веб-сайта - изображения, файлы CSS и JavaScript - загружаются с сервера всего один раз, и браузер сохраняет их на компьютере пользователя.

В ходе выполнения Этапа 9 для повышения быстродействия результаты DNS-запросов кэшируются [2]. Это кэширование может происходить как на специальном сервере Интернет-провайдера, так и на компьютере пользователя. Информация DNS сохраняется в системном кэше (в Windows за это отвечает служба «DNS Client Service»). Большинство браузеров имеет свой кэш, не зависящий от системного. Пока браузер хранит DNS-запись в своем кэше, он не обращается к операционной системе для DNS-преобразования. Когда клиентский кэш очищается (как системный, так и у браузера), количество DNS-запросов возрастает до количества уникальных имен хостов на странице. Множество имен хостов включает в себя собственно адрес самой страницы, картинок, скриптов, CSS, объектов Flash и так далее. Уменьшение количества уникальных имен хостов уменьшает количество DNS-запросов.

Уменьшение количества уникальных имен хостов потенциально уменьшает количество параллельных загрузок компонентов страницы. Снижение количества DNS-запросов уменьшает время загрузки страницы, но уменьшение количества параллельных загрузок может это время увеличить. Рекомендуется распределять загружаемые компоненты между двумя-четырьмя (но не более) уникальными хостами. Такое распределение является компромиссом между уменьшением количества DNS-запросов и сохранением приемлемой параллельности при загрузке компонентов страницы.

В ходе выполнения Этапа 10 применяются методы оптимизации изображений, которые способствуют повышению производительности веб-ресурса:

- отсутствие масштабирования при загрузке, то есть предоставление изображений изначально в подходящем размере, так как если картинка больше необходимого размера, то при помощи CSS она все равно будет уменьшена до подходящего размера, но ресурсы, затрачиваемые на ее загрузку, останутся прежними;

- сжатие изображений. По информации HTTP Archive [4], вес изображений составляет 62 % от общего веса каждой страницы веб-сайта. Поэтому лучший способ оптимизации - сжатие изображений без потерь. При таком методе сжатия изображение уменьшается по весу, но при этом не теряет в качестве. Используя этот метод оптимизации, можно уменьшить использование ресурсов на 30 %;

- использование верного формата изображений. Необходимо правильно выбирать форматы изображений, чтобы изображения отображались без погрешностей и имели опти-

мальный размер при загрузке. Выбор неверного формата изображения может существенно увеличить размер файла;

- оптимизация графических объектов CSS: горизонтально расположенные изображения занимают меньший объем памяти [5], чем вертикальные, комбинирование похожих цветов в графическом объекте снизит нагрузку на сервер, избежание больших пробелов между рисунками в графическом объекте (размер файла не изменится и снизится нагрузка на сервер).

Favicon небольшого размера, желательно не более 1Кб, кэшируется.

Примерами наиболее распространенных форматов изображений на сайтах являются:

- SVG - наиболее часто используется для простых изображений, таких как логотипы, элементы дизайна и так далее. Неприменим для фотографий. Имеет малый вес, отлично масштабируется, обеспечивая чёткость изображения на любом разрешении экрана, поддерживает анимацию. Им можно управлять через CSS и размещать в HTML, сокращая количество запросов;

- JPEG - подходит для детализированных изображений с большим количеством цветов (фотографий, картинок). Поддерживается всеми устройствами и браузерами [6]. Большой недостаток - отсутствие прозрачности вследствие чего - невозможность комбинирования изображений;

- PNG - используется для высококачественных изображений с эффектом прозрачности. Часто применяется для создания анимированных кнопок, иконок, CSS-спрайтов.

## 5. Выводы

Индустрия ускорения сайтов - довольно молодая отрасль веб-разработки и активно развивается. Важность скорости сайтов для Интернет-бизнеса уже очевидна, она становится одним из факторов конкуренции. Именно поэтому стоит заниматься увеличением скорости сайта.

Тема скорости сайта обширна и затрагивает многие аспекты разработки и поддержки веб-приложения: от серверного кода до контента. Важно помнить о пользователях, учитывать разнообразные условия использования сайта. Ускорение сайта - процесс, который с разной интенсивностью происходит на всём жизненном цикле проекта.

На основании анализа аналогов разработан метод создания сайтов с учетом требований, выполнение которых необходимо для быстрой загрузки. Описаны рекомендации по оптимизации сайта и шаги, которым необходимо уделить особое внимание. Преимуществами данного метода является наличие этапов, связанных с применением технологии уменьшения количества HTTP-запросов; с учётом в ходе проектирования требований к мобильной версии сайта; с использованием особенностей оптимизации изображений. Стоит также отметить сокращение времени, затраченного на создание сайта, как следствие применения метода с четко прописанными этапами и отсутствия необходимости исправлять ошибки.

Помимо сказанного выше, применение предложенного метода способствует увеличению скорости загрузки, что окажет ключевое влияние на доступность сайта пользователю, особенно в психологическом аспекте. Это повысит активность пользователей на сайте и конверсию.

**Список литературы:** 1. *Как сделать сайт дружественным для мобильных устройств*. URL: [www.cossa.ru/155/95723/](http://www.cossa.ru/155/95723/) - 05.01.2018. Загл. с экрана. 2. *Способы ускорения загрузки вашего сайта*. URL: <https://webo.in/articles/habrahabr/15-yahoo-best-practices/> - 04.12.2017. Загл. с экрана. 3. *10 ошибок мобильной версии сайта, которые убивают желание купить*. URL: <https://habrahabr.ru/company/perezvoni/blog/299632/> - 05.01.2018. Загл. с экрана. 4. *Оптимизация изображений для web*. URL: <http://timeweb.com/ru/community/articles/optimizaciya-izobrazheniy-dlya-web-1> - 04.01.2018. Загл. с экрана. 5. *Рекомендации по повышению скорости работы вашего веб-сайта*. URL: <http://timeweb.com/ru/community/articles/optimizaciya-izobrazheniy-dlya-web-1> - 04.01.2018. Загл. с экрана. 6. *Форматы изображений - HTML Academy*. URL: <https://htmlacademy.ru/blog/113-image-formats> - 05.01.2018. Загл. с экрана.

*Надійшла до редколегії 21.01.2019*

**Вовк Александр Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры МСТ ХНУРЭ. Научные интересы: математическая статистика, технологии печатных процессов. Адрес: 61166, Украина, г. Харьков, пр. Науки, 14, ХНУРЭ, кафедра МСТ.

**Кузнецова Виктория Сергеевна**, студентка кафедры МСТ ХНУРЭ. Научные интересы: 3D моделирование, веб-разработка. Адрес: 61166, Украина, Харьков, пр. Науки, 14, ХНУРЭ, кафедра МСТ. Тел. +380633732920.

*С.В. ДЯДЮН*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПІВ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ**

Розглянуті основні етапи проектування систем подачі та розподілу води (СПРВ), запропонована багаторівнева схема проектування керованої по поточкорозподілу СПРВ, запропоновано і сформульовано принцип вдосконалення проектування СПРВ за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі. Описані імітаційні моделі технологічних процесів функціонування СПРВ спільно з регулюючими ємностями, проведено порівняльний аналіз якості та ефективності функціонування СПРВ при наявності різних видів регулюючих ємностей і без них.

### **1. Вступ**

Сучасний етап розвитку систем подачі і розподілу води (СПРВ), як і трубопровідних систем в цілому, характеризується безперервним зростанням їх масштабів, ускладненням структури, посиленням внутрішніх і зовнішніх зв'язків, підвищенням ролі системних факторів. В умовах розвитку СПРВ в просторі і в часі традиційні методи проектування СПРВ, засновані на їх гідравлічних і техніко-економічних розрахунках в режимі максимального водоспоживання, малоефективні. У цих умовах системний підхід до вирішення задач оптимального проектування і розвитку СПРВ, що передбачає комплексну оцінку розглянутих рішень з точки зору економічності, надійності, керованості планованого варіанту системи і інших критеріїв, що впливають, стає все більш необхідним.

Зокрема, значне підвищення якості та ефективності функціонування СПРВ може бути досягнуто за рахунок вдосконалення принципів їх проектування та реконструкції. Одним з основних таких принципів є принцип проектування СПРВ з урахуванням їх керованості. Крім того, проєктовані водопровідні мережі повинні мати ієрархічну структуру, окремі рівні якої розв'язувалися б через регулювальні пристрої.

Ці та інші принципи проектування СПРВ роблять необхідними розробку і застосування людино-машинних методів аналізу і синтезу поточкорозподілу, що засновані на інтерактивних процедурах спілкування людини і комп'ютера і лежать в основі створення САПР систем водопостачання. У той же час гранично гострою стала потреба в систематичному застосуванні сучасних методів імітаційного моделювання та кількісного обґрунтування оптимальних рішень шляхом створення практично ефективних людино-машинних систем автоматизованого проектування СПРВ. Вирішення цієї проблеми - обов'язкова умова подальшого вдосконалення всього процесу проектування, а також підвищення економічних показників і оперативності проектних рішень.

### **2. Аналіз сучасних теоретичних і практичних особливостей проектування та реконструкції систем подачі і розподілу води**

При проектуванні СПРВ необхідно визначити кількість і місце розташування окремих підсистем, структуру СПРВ, а також параметри і змінні кожної з підсистем таким чином, щоб забезпечити подачу води всім споживачам в потрібних кількостях і під заданими тисками. Проектування повинно здійснюватися з урахуванням стохастичного характеру процесів споживання води, динаміки розвитку системи, надійності і великої ймовірності виникнення позаштатних ситуацій (аварійне відключення, стихійне лихо тощо).

Все це призводить до необхідності проектування СПРВ, що мають властивість керованості за поточкорозподілом, тобто в мережі повинні бути закладені різні активні і пасивні регулятори, резервні джерела води і лінії зв'язку, що забезпечують запас пропускної здатності мережі [1]. Очевидно, кращим буде той варіант, вартість якого менше.

Крім того, проектування СПРВ має враховувати наявність функціонуючих мереж. Тому проектуванню водопровідних мереж повинні передувати етапи обстеження цих мереж і

комп'ютерної обробки отриманих результатів з метою аналізу стану поточкорозподілення в діючій частині мережі.

Проектовані водопровідні мережі також повинні мати ієрархічну структуру, окремі рівні якої розв'язувалися б через регулювальні пристрої.

Таким чином, проектування СПРВ зводиться до вибору з множини можливих допустимих варіантів мережі оптимального варіанту за критерієм вартості, що задовольняє ряду перелічених і часто суперечливих вимог, частина з яких слабо піддається формальному опису. Математична постановка такої задачі і, тим більше, її рішення, загалом, досить складні. Це пов'язано з тим, що на початковому етапі проектування немає інформації для вибору оптимального варіанту, оскільки відсутні конкретні дані не тільки про можливу структуру мережі, але і про розташування деяких її підсистем, невідомі характеристики багатьох підсистем і особливості роботи мережі для спеціальних режимів тощо. У зв'язку з цим під проектуванням СПРВ мається на увазі вибір раціонального, близького до оптимального варіанту проекрованої мережі.

Якщо для одного з режимів досліджуваній варіант СПРВ не задовольняє вимогам її функціонування, роблять корекцію, що дозволяє зміною деяких параметрів (а іноді і за рахунок вжиття спеціальних заходів - резервування додаткових ємностей або активних джерел, що перекидають воду з інших районів) ввести поточкорозподіл в заданий для цього режиму діапазон [1,2].

Початковим етапом проектування складної водопровідної мережі є розбиття її на рівні ієрархії на основі системного підходу з урахуванням розв'язки цих рівнів через різні елементи розв'язки. При цьому виходи вищого рівня будуть входами для нижніх рівнів. Потім, з огляду на можливість розв'язки мережі, системний підхід застосовується при проектуванні кожного окремого рівня, починаючи з нижнього.

Реконструкція СПРВ також зводиться до задачі проектування при частково заданій структурі і сталості ряду параметрів, яка вирішується на базі математичної моделі поточкорозподілу в сталому режимі [1].

У практиці проектування СПРВ типовою є система водопостачання, яка містить з'єднані водоводами активні джерела живлення мережі водою, послідовно встановлені зональні запасно-регулюючі ємності, зональні керовані насосні станції (ЗКНС) і кільцеві водопровідні мережі [3-8,13].

Однак в такій системі водопостачання кожне з її активних джерел жорстко зв'язане зі своєю зоною. Це унеможлиблює перерозподіл навантаження як між окремими джерелами живлення мережі водою, так і між окремими розрахунковими вузлами всередині системи. Тому, в разі відхилень дійсних витрат води від їх розрахункових значень, така СПРВ не в змозі задовольнити потребу в воді абонентів, включених в систему, тобто стає в цьому плані ненадійною.

Одним з можливих шляхів поліпшення водопостачання споживачів може стати підвищення ефективності використання внутрішніх ресурсів системи водопостачання за рахунок перерозподілу наявних в ній запасів води відповідно до умов, що змінилися, водоспоживання окремими групами абонентів.

Більш досконалою є система водопостачання [9], що містить з'єднані водоводами активні джерела живлення мережі водою, послідовно встановлені зональні запасно-регулюючі ємності, ЗКНС, з'єднані напірним трубопроводом з кільцевими водопровідними мережами, а також низьконапірний трубопровід, що зв'язує активні джерела. Зональні запасно-регулюючі ємності і ЗКНС розміщені між низьконапірним трубопроводом і кільцевими водопровідними мережами.

У такій СПРВ низьконапірний трубопровід об'єднує всі активні джерела живлення мережі водою, що забезпечує їх взаємне резервування і підвищує в деяких межах якість постачання водою абонентів системи. У той же час, низьконапірний трубопровід в даній системі водопостачання не усуває жорсткий гідравлічний зв'язок між точкою підключення до нього зональної запасно-регулюючої ємності, ЗКНС і підключеною до цієї станції кільцевою водопровідною мережею. Саме по цьому ланцюгу споруд і водоводів системи здійснюється транспортування води в зону, що живиться нею, яка об'єднує певну групу споживачів води. Наприклад, при збільшенні споживання води в одній із зон для забезпечення її зрослої потреби може використовуватися вода, запасена в низьконапірному трубопроводі і зональних запасно-регулюючих ємностях, пов'язаних з іншими активними джерелами живлення мережі. Однак транспор-

тування зростаючого потоку води для зони, що відчуває її недолік, буде відбуватися по вказаному вище ланцюгу споруд і водоводів, що належать цій зоні.

В іншому випадку, при зменшенні відбору води споживачами, які приєднані до кільцевої водопровідної мережі однієї з зон, невитрачена вода буде запасатися, перш за все, в зональній запасно-регульованій ємності цієї зони, а потім вже в зональних запасно-регульованих ємностях інших зон системи водопостачання. Однак у будь-якому випадку, вода, запасена в запасно-регулюючій ємності, що належить будь-якій з зон, які об'єднують кільцеві водопровідні мережі, не може бути використана для погашення дефіциту води, що утворився в сусідніх зонах. В силу цього, розглянута система водопостачання, створивши умови для взаєморегулювання між активними джерелами живлення мережі, не може забезпечити взаєморегулювання в інших її підсистемах, що знижує якість забезпечення водою абонентів, включених в систему водопостачання

### **3. Визначення проблематики, мети і задач дослідження**

Класичні способи проектування СПРВ в достатній мірі досліджені і тією чи іншою мірою реалізуються в практиці проектування реальних СПРВ [3-8]. Основна відмінність, або навіть разрыв між теорією і практикою проектування СПРВ, полягає в недостатній мірі розробки та впровадження САПР систем водопостачання, що використовують методи структурної та параметричної оптимізації СПРВ, методи імітаційного моделювання потокорозподілу в проєктованих водопровідних мережах для різних режимів в нормальних умовах їх функціонування і позаштатних ситуаціях. Облік керованості при проектуванні СПРВ дозволяє підвищити надійність і ефективність їх функціонування, тривалість експлуатації мереж.

Сучасні СПРВ, зокрема, як і весь клас трубопровідних систем енергетики в цілому, характеризуються великою топологічною складністю, тобто містять велику кількість взаємопов'язаних ділянок. Проектування таких СПРВ, які найбільш щільно відбивають майбутні потреби і дозволяють легко перебудовувати їх структуру та параметри при оперативному управлінні і аварійних ситуаціях, має бути багаторівневим. Причому окремі рівні водопровідних мереж повинні бути розв'язані між собою. Ці вимоги реалізовані в даний час для енергосистем і газових мереж, причому елементами розв'язки для перших є трансформатори, а для других - регульовальні пристрої (газорегулюючі станції, газорегулюючі пункти тощо.).

Енергосистема розділена на рівні в залежності від напруги в мережі, а система газопостачання - від тиску. При проектуванні СПРВ водопровідна мережа також розбивається на рівні, які представляють собою систему магістральних каналів і водоводів (1-й рівень), низьконапірний міський водопровід (2-й рівень), міську магістральну мережу, розчленовану на зони (3-й рівень), квартальні мережі (4-й рівень), будинкові мережі (5-й рівень). Однак, як правило, ці рівні зв'язуються між собою жорсткими зв'язками: дуже рідко в сучасних СПРВ проводиться розв'язка рівнів.

З метою забезпечення вимог надійності водопровідні мережі проєктуються кільцевими і розбиваються на рівні, що проєктуються окремо. Однак в процесі практичної реалізації міська водопровідна мережа втрачає свою багаторівневність, тому що рівні зазвичай не розв'язані між собою елементами розв'язки, що призводить до значного ускладнення задач проектування і управління.

Відсутність розв'язки між рівнями призводить до сильної залежності між ними, великим похибкам між розрахунками окремих рівнів, якщо вони проводилися в припущенні їх незалежності, і, що найголовніше, до різкого ускладнення проблеми оперативного управління СПРВ.

Таким чином, багаторівневність водопровідних мереж чітко проглядається лише на етапі проектування. В процесі практичної реалізації розглядати такі мережі як ієрархічні з точки зору управління не можна, тому що рівні сильно пов'язані між собою, а СПРВ міста являє собою єдину нерозривну систему, управляти якою складно. Завдання проектування та управління стають простішими, якщо із загальної мережі вдається виділити будь-який окремий рівень. Це може бути досягнуто шляхом розв'язки існуючих рівнів через різні регульовані елементи. Ними є такі пасивно-активні регулюючі ємності водопровідних мереж, як резервуари, водонапірні колони, водонапірні башти. Ієрархічна структура СПРВ при використанні різних елементів розв'язки може бути зображена у вигляді, схематично представленому на рис. 1.

За своїм функціональним призначенням, крім функції регуляторів системи, регулюючі ємності виконують роль активних і пасивних елементів. Резервуари, що розташовуються на досить високих відмітках, є напірними (активними) ємностями, аналогічними за своїм



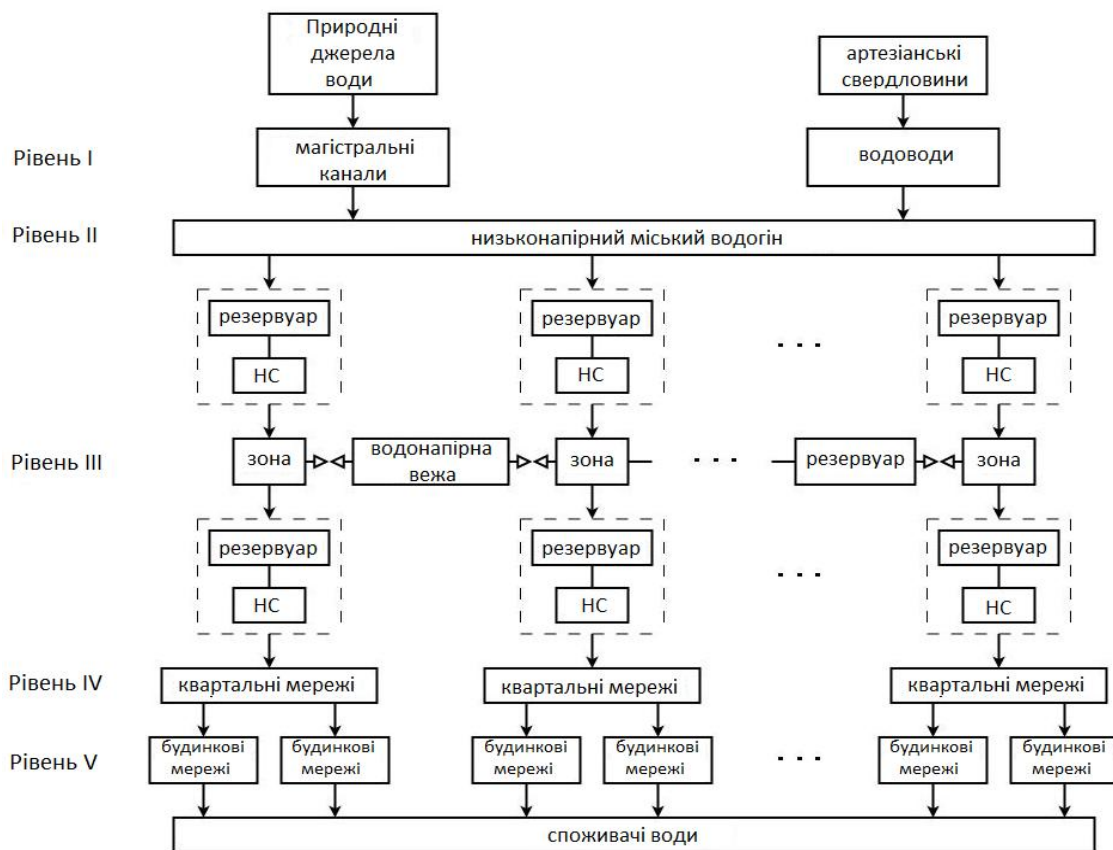


Рис. 1. Ієрархічна структура СПРВ

призначенням водонапірним вежам. З них вода самопливом надходить в розподільну мережу. Напірні ємності доцільно влаштовувати всюди, де це дозволяє рельєф місцевості.

Іншим типом резервуарів є безнапірні (пасивні) резервуари, з яких вода може надходити в систему тільки шляхом її перекачування насосами.

При проектуванні міської водопровідної мережі, яка керована за поточкорозподілом і має ієрархічну структуру з розв'язкою рівнів, місця розташування резервуарів на мережі необхідно вибирати таким чином, щоб вони служили не тільки регулюючими ємностями, а й точками, що пов'язують окремі рівні.

Ця задача тісно переплітається з проблемою зонування водопровідних мереж. Розбиття проектованої СПРВ на зони доцільно здійснювати в тих випадках, коли характер планування об'єктів, що постачаються водою, і рельєф місцевості, на якій вони розташовані, викликає необхідність відбору води споживачами на різних висотних відмітках.

Пропоновані нижче принципи вдосконалення проектування СПРВ передбачають обов'язкове розбиття структури мережі на зони. Зонування має низку переваг: дозволяє знизити надлишкові вільні напори в мережі, зменшити витрати електроенергії на підйом води, знизити сумарну потужність НС, а отже, зменшити експлуатаційні витрати.

Сказане вище визначає мету даного дослідження як удосконалення методів проектування СПРВ за рахунок використання внутрішніх ресурсів системи та побудови імітаційних моделей функціонування СПРВ спільно з різними видами регулюючих ємностей для оцінки ефективності запропонованих методів.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити наступні задачі:

- удосконалення проектування СПРВ за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі;
- імітаційне моделювання функціонування СПРВ з регулюючими ємностями в дискретний момент часу  $t$  і на інтервалі  $[0, T]$ ;
- порівняльний аналіз якості і ефективності функціонування СПРВ за наявності різних видів регулюючих ємностей і без них.

#### 4. Вдосконалення проектування систем подачі і розподілу води за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі

Якість і ефективність функціонування систем водопостачання можна підвищити за рахунок вдосконалення принципів проектування СПРВ. Розглянемо один з них - принцип вдосконалення проектування СПРВ шляхом використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі.

Для підвищення якості забезпечення водою споживачів СПРВ спробуємо знайти внутрішні ресурси системи [10,14]. Вдосконалюємо [10,14] описану вище систему водопостачання, додатково забезпечивши її міжзональними запасно-регулюючими ємностями, і при цьому входи і виходи запасно-регулюючих ємностей включимо в напірні трубопроводи суміжних зональних керованих НС. Засіб для створення напору на виході міжзональної запасно-регулюючої ємності виконано у вигляді керованої НС. Це не виключає випадку, коли, виходячи з конкретних умов і рельєфу місцевості, згаданий засіб для створення напору може бути виконано у вигляді стовбура водонапірної вежі, на якому розміщена запасно-регулююча ємність.

Введення в вихідну (розглянуту вище) систему водопостачання додаткових міжзональних запасно-регулюючих ємностей і їх включення в систему згідно із зазначеною схемою дозволяє:

- залучити для регулювання нерівномірності водоспоживання запаси води тих зон, у яких є надлишки води, а також запаси води міжзональних запасно-регулюючих ємностей;
- створити додаткові резервні запаси води в міжзональних запасно-регулюючих ємностях шляхом накопичення в них надлишку води з зон зі зниженим водоспоживанням.

Це забезпечує досягнення мети вдосконалення проектування СПРВ, тому що покращує задоволення потреб у воді абонентів системи.

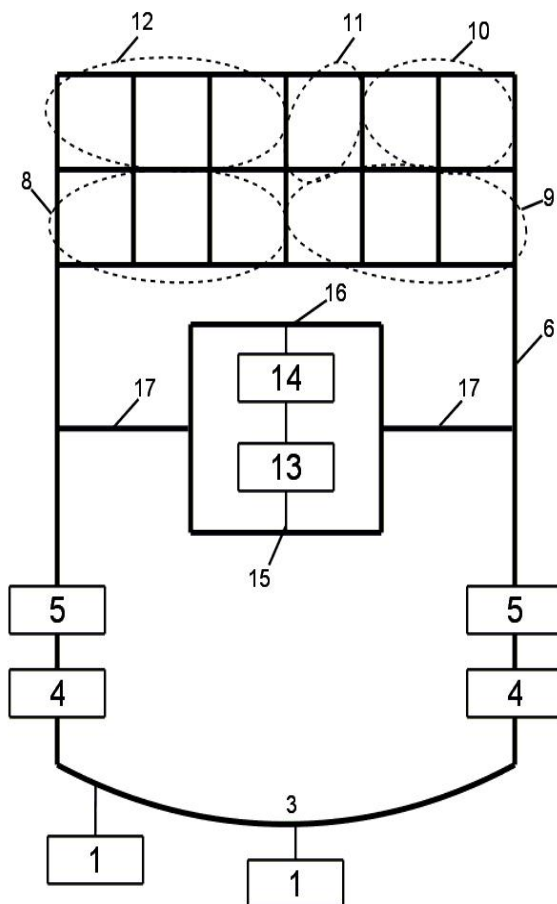


Рис. 2. Система водопостачання

На рис. 2 наведено схему запропонованої системи водопостачання. Розглянемо докладніше принцип її роботи.

Система водопостачання містить активні джерела 1 живлення мережі водою, водоводи 2, що з'єднують джерела 1 з низьконапірним трубопроводом 3, до якого підключені зональні запасно-регулюючі ємності 4 (ЗРЕ) зі своїми зональними керованими НС 5 (ЗКНС). Органні за допомогою напірних трубопроводів 6 з'єднані з кільцевими водопровідними мережами 7, які з'єднані в гідравлічні відокремлені зони 8-12 (умовні кордони зон на рисунку показані пунктиром).

Між суміжними зональними запасно-регулюючими ємностями 4 розміщені міжзональні запасно-регулюючі ємності (МЗРЕ) 13, кожна з яких має свій засіб 14 для створення напору на її виході. Входи 15 і виходи 16 міжзональних запасно-регулюючих ємностей 13 включені за допомогою трубопроводів 17 в напірні трубопроводи 6 ЗКНС 5, які належать суміжним зональним запасно-регулюючим ємностям 4. Засіб 14 для створення напору на виході 16 міжзональної запасно-регулюючої ємності 13 може бути виконано у вигляді керованої НС, як це показано на рис.2.

В іншому випадку, виходячи з конкретних умов і рельєфу місцевості, засіб 14 для створення напору може бути виконано у вигляді стовбура водонапірної вежі, на якому розміщена запасно-регулююча ємність 13,

або використано природне підняття рельєфу місцевості.

Система водопостачання працює наступним чином.

Активні джерела 1 живлення мережі водою подають її по водоводах 2 в низьконапірний трубопровід 3, який розподіляє воду між зональними запасно-регулюючими ємностями 4.

У нормальних умовах водоспоживання кожна з зональних запасно-регулюючих ємностей 4 накопичує воду для покриття розрахункової нерівномірності водоспоживання в одній із зон 8-12, а саме - в зоні, яка пов'язана зі своєю зональною запасно-регулюючою ємністю 4 через свою ЗКНС 5 і трубопровід 6.

У разі, якщо водоспоживання в кільцевих водопровідних мережах 7 однієї з зон, наприклад, зони 8, зростає настільки, що запасу води в зональній запасно-регулюючій ємності 4 цієї зони 8 виявиться недостатньо для задоволення потреб її абонентів, дефіцит води в зоні 8 може бути поповнений з міжзональної запасно-регулюючої ємності 13 через її керовану НС 14 і трубопровід 17.

В іншому випадку, коли водоспоживання, наприклад, в зоні 8 впаде настільки, що стане менше прогнозованого при розрахунку, тиск на виході ЗКНС 5 (ЗКНС-2), яка живить зону 8, перевищить величину тиску на виході міжзональної запасно-регулюючої ємності 13. Тоді надлишок води з зональної запасно-регулюючої ємності 4 (ЗРС-1) зони 8 через трубопровід 17 подаватиме воду на вхід 15 міжзональної запасно-регулюючої ємності 13.

У режимі максимального водоспоживання в зоні 8 тиск на виході її ЗКНС 5 (ЗКНС-1) почне падати. Коли цей тиск досягне рівня тиску на вході 15 міжзональної запасно-регулюючої ємності 13, запасена в ній вода буде подаватися в зону 8, компенсуючи дефіцит води, що утворився в зоні 8.

Нарешті, якщо припустити одночасне збільшення водоспоживання в зоні 8 і зменшення водоспоживання в зоні 9 (причому в обох випадках ці зміни водоспоживання виходять за межі можливостей задовольнити потребу в воді тільки від своїх зональних запасно-регулюючих ємностей 4), то абоненти зони з підвищенням водоспоживання, тобто зони 8, отримають додаткову воду не тільки від міжзональної запасно-регулюючої ємності 13, але й від зональної запасно-регулюючої ємності 4 (ЗРС-2) зони 9 по трубопроводах 17 і 6.

Аналогічно здійснюється робота системи водопостачання при змінах водоспоживання будь-якої з її зон (рис. 2).

Таким чином, в запропонованій системі водопостачання забезпечується взаєморезервування між зонами споживання води, коли компенсація пікових витрат води в одній частині зон відбувається за рахунок зменшення водоспоживання в цей же час в інших частинах зон, або за рахунок запасів води в міжзональній запасно-регулюючій ємності. Завдяки цьому досягається підвищення якості задоволення водою абонентів водопровідних мереж системи водопостачання.

### **5. Імітаційне моделювання технологічних процесів функціонування систем подачі і розподілу води з регулюючими ємностями**

Для оцінки ефективності запропонованих [10,14] принципів вдосконалення проектування СПРВ за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі використовуватимемо метод імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання технологічних процесів функціонування СПРВ спільно з регулюючими ємностями є єдиною прийнятним методом дослідження, оскільки алгоритмічне завдання функцій і складність критеріїв якості і ефективності об'єкта робить неможливим пошук аналітичних рішень.

Розробка імітаційних моделей функціонування СПРВ з регулюючими ємностями дозволяє згенерувати і глибше проаналізувати процеси поточкорозподілу в таких системах, програти на моделі ті чи інші прийнятні проектні рішення, оцінити їх ефективність і вибрати оптимальні.

Для оцінки ефективності запропонованих в [10,14] принципів вдосконалення СПРВ була використана наступна імітаційна модель технологічних процесів функціонування СПРВ спільно з регулюючими ємностями на будь-якому інтервалі часу.

У її основі лежить рішення задачі аналізу сталого поточкорозподілу у водопровідній мережі спільно з НС і регулюючими ємностями, яке визначається в результаті вирішення

системи рівнянь [2,11,12] відповідної математичної моделі при завданні комбінації значень витрат і тиску як граничної умови на входах і виходах СПРВ.

Для опису процесу споживання води  $j$ -им споживачем СПРВ в часі використовуватимемо дискретну функцію часу, що є сумою часток двох синусоїд вигляду

$$q_j^{(H)}(t) = Mq_j^{(H)} + A_j \sin(\omega_j t + \varphi_j), j \in N, \quad (1)$$

які відрізняються різними значеннями математичного очікування  $Mq_j^{(H)}$  споживаної витрати води на часовому інтервалі

$$Mq_j^{(H)} = \begin{cases} j_j q_{oi}, & 0 \leq t < t_1 \\ q_{oi}, & t_1 \leq t \leq T, \end{cases} \quad (2)$$

де  $0 < j_j < 1$ .

Дослідження проводилися на базі реальної СПРВ, граф якої представлений на рис. 3 і адекватна модель якої була отримана раніше. На цю СПРВ працюють дві НС: ЗКНС-1 і ЗКНС-2. Рельєф місцевості абсолютно рівний. Виберемо інтервал часу доба в годинному розрізі і вважатимемо, що вузлові витрати для кожної години доби постійні і визначаються відповідно до (1). Відомі також число і типи насосів, параметри характеристик агрегатів НС, а також параметри магістральних трубопроводів.

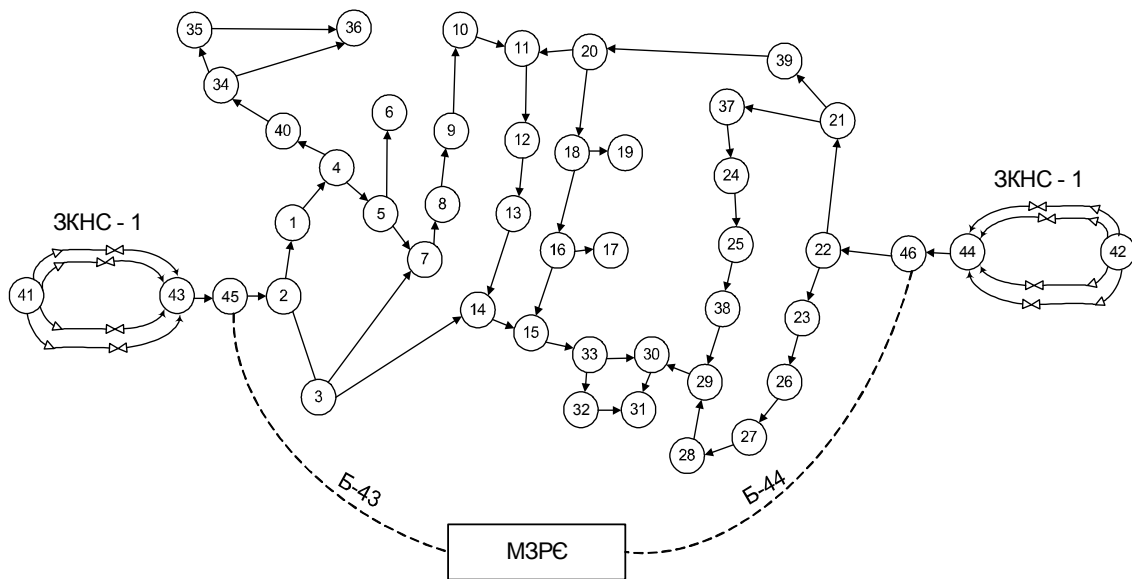


Рис. 3. Схема реальної системи подачі і розподілу води з міжзональною регулюючою ємністю

Розмістимо між цими станціями, згідно з пропозицією, міжзональну регулюючу ємність у вигляді водонапірної вежі і з'єднаємо її із ЗКНС-1 і ЗКНС-2 водоводами Б-44 і Б-43 діаметром 500 мм і довжиною 1400 м кожен так, як це показано на рис. 3.

Введення в систему водопостачання міжзональної регулюючої ємності дозволяє зменшити діапазони зміни режимних параметрів функціонування НС. У табл. 1 приведені результати розрахунку режимів роботи системи водопостачання міжзональною регулюючою ємністю у вигляді водонапірної вежі і без неї при різних рівнях водоспоживання в мережі.

Так, наприклад, в режимі мінімального водоспоживання тиски на виходах НС ЗКНС-1 і ЗКНС-2 знижуються з 78,36 м і 75,39 м при роботі мережі без регулюючої ємності (початковий рівень якої приймався рівним 50 м) відповідно до 58,98 м і 55,76 м при роботі з ємністю. При цьому ємність отримує воду, тобто працює як споживач, оскільки тиски на виходах НС, а точніше, в точках з'єднання напірних водоводів станцій з водоводами, що пов'язують їх з регулюючою ємністю, перевищують тиск на вході ємності. Тиск в дикту-

Таблиця 1

Результати розрахунку режимів функціонування систем подачі і розподілу води при різних рівнях водоспоживання в мережі

Мережа без регулюючої ємності						
а	б	в	г	д	е	ж
1	78,36	0,6436	75,39	0,5534		70,29
2	74,20	0,7296	70,38	0,6270		63,83
3	66,82	0,8573	61,57	0,7387		52,49
4	61,16	0,9420	54,87	0,8136		43,85
5	51,61	1,0088	43,57	0,9262		29,29
6	48,15	1,1111	39,48	0,9637		24,01
7	32,88	1,2800	21,47	1,1140		0,79
Мережа з регулюючою ємністю (тиск у вузлі з ємністю 50 м)						
1	58,98	0,9726	55,76	0,8041	0,5796	50,79
2	56,84	1,0016	53,30	0,8301	0,4751	46,55
3	54,18	1,0364	50,60	0,8578	0,2982	40,45
4	52,92	1,0524	50,01	0,8638	0,1606	36,82
5	51,04	1,0760	48,30	0,8807	-0,0383	30,62
6	50,52	1,0823	47,46	0,8890	-0,1035	28,41
7	49,30	1,0972	43,57	0,9263	-0,3705	19,31

а) № режиму; б) тиск на виході ЗУНС-1, м; в) витрата на виході ЗУНС-1, м<sup>3</sup>/с; г) тиск на виході ЗУНС-2, м; д) витрата на виході ЗУНС-2, м<sup>3</sup>/с; е) витрата ємності, м<sup>3</sup>/с; ж) тиск в диктуючій точці, м.

ючій точці (вузол № 6 на рис. 3) зменшується з 70,29 м до 50,79 м, тобто істотно знижується надлишковий тиск в мережі.

У режимі максимального водоспоживання тиски на виходах НС збільшується з 32,88 м і 21,47 м і при роботі мережі без регулюючої ємності відповідно до 49,3 м і 43,57 м при роботі з ємністю. При цьому регулююча ємність подає воду в мережу, тобто працює як активний елемент, оскільки тиски на виходах НС нижче за тиск на вході регулюючої ємності. Тиск в диктуючій точці збільшується з 0,79 м до 19,31 м, тобто за рахунок зменшення недопостачань води споживачам підвищується якість функціонування водопровідної мережі.

Таким чином, наявність міжзональної регулюючої ємності в системі водопостачання сприяє якіснішому забезпеченню водою споживачів під тиском на рівні нормативного, зниженню надлишкового тиску в мережі і, як наслідок, зменшенню ймовірності виникнення аварійних ситуацій на мережі.

### **6. Порівняльний аналіз якості і ефективності функціонування систем подачі і розподілу води за наявності різних видів регулюючих ємностей та без них**

Підвищення якості і ефективності функціонування СПРВ може бути досягнуте за рахунок поліпшення проектування як її елементів, так і СПРВ в цілому.

Розглянемо роботу СПРВ за наявності міжзональної регулюючої ємності, встановленої між НС, і без неї на інтервалі часу доба в годинному розрізі (рис.3). Для цього скористаємося наявною імітаційною моделлю процесів подачі і розподілу води. Розглянемо такі різновиди міжзональної регулюючої ємності як водонапірна вежа, водонапірна колона і резервуар, встановлений на певній висоті.

Промодельємо роботу СПРВ з регулюючою ємністю і без неї шляхом рішення задачі аналізу сталого потокорозподілу в даній системі. При цьому в обох випадках вважатимемо режим водоспоживання в мережі незмінним впродовж кожної години доби, а управляючі дії на насосних станціях - фіксованими протягом доби. На насосній станції ЗКНС-1 включені в паралельну роботу 4 насосні агрегати, на ЗКНС-2 - 2.

В процесі імітаційного моделювання виконувався підрахунок значень критеріїв якості і ефективності в кожен дану годину доби і в цілому на інтервалі часу доба.

У результатах розрахунків якість функціонування СПРВ з регулюючою ємністю і без неї в дискретні моменти часу 0, 1, 2 ..., 23 визначалася:

- ймовірністю незадоволення потреби споживачів у воді у момент часу

$$Y_0(k) = \frac{n'(k)}{n}, \quad (3)$$

де  $n'$  - число незабезпечених водою споживачів;

- непрямою оцінкою величини дефіциту води СПРВ у момент часу

$$Y_1(k) = \begin{cases} \sum_{i \in N} [h_i^+ - h_i(k)] \text{ якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, \text{ якщо } h_i(k) \geq h_i^+; \end{cases} \quad (4)$$

- глибиною виникнення дефіциту води в СПРВ у момент часу

$$Y''_1(k) = \begin{cases} \max_{i \in N} [h_i^+ - h_i(k)] \text{ якщо } h_i(k) < h_i^+ \\ 0, \text{ якщо } h_i(k) \geq h_i^+ \end{cases}; \quad (5)$$

- відносною величиною дефіциту води в СПРВ у момент часу

$$Y_1^*(k) = \begin{cases} 1 - \sum_{i \in N} \frac{h_i(k)}{h_i^+}, \text{ якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, \text{ якщо } h_i(k) \geq h_i^+ \end{cases}. \quad (6)$$

Ефективність функціонування СПРВ в моменти часу 1, 2 ..., 23 визначалася:

- сумою енерговитрат на насосних станціях СПРВ у момент часу  $k$

$$Y_2(k) = \sum_{i \in L} N_i(k) = \sum_{i \in L} \sum_{j \in K_i} N_{ij}(k), \quad (7)$$

де  $K_i$  - множина агрегатів  $i-i$  НС;

- сумою приведених енерговитрат на НС СПРВ у момент часу  $k$

$$Y_2^*(k) = \sum_{i \in L} q_i^{(a)}(k) h_i^{(a)}(k); \quad (8)$$

- сумою вільних надлишкових напорів у СПРВ у момент часу  $k$

$$Y_2^{**}(k) = \sum_{i \in N} [h_i(k) - h_i^+]; \quad (9)$$

- величиною максимального відхилення тиску у вузлах СПРВ у момент часу  $k$  від його мінімально допустимого значення

$$Y^*_2(k) = \max_{i \in N} [h_i(k) - h_i^+]; \quad (10)$$

Показники  $Y_2^{**}(k), Y^*_2(k)$  визначалися тільки в тих випадках, коли  $Y_0(k), Y_1(k)$  дорівнювали нулю.

Порівняльний аналіз значень критеріїв якості і ефективності функціонування СПРВ проводився на інтервалі часу доба за наявності різних видів регулюючої ємності і без неї. При цьому були використані наступні показники, що характеризують якість і ефективність функціонування СПРВ в цілому і відносно  $i$ -го споживача на даному інтервалі часу  $[0, T]$ :

- непряма оцінка ймовірності виникнення дефіциту води в  $i$ -му вузлі водопровідної мережі на інтервалі часу  $[0, T]$

$$Y_{oi}(T) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^T \eta_{oi}(k); \quad (11)$$

- непряма оцінка середнього значення величини дефіциту води в  $i$ -му вузлі мережі на інтервалі часу  $[0, T]$

$$Y_{1i}(T) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^T \eta_{1i}(k); \quad (12)$$

- оцінка відносного значення величини дефіциту води в  $i$ -му вузлі мережі на інтервалі  $[0, T]$

$$Y_{ii}^*(T) = \frac{Y_{ii}(T)}{h_i^+}; \quad (13)$$

- глибина виникнення дефіциту води в  $i$ -му вузлі мережі на інтервалі  $[0, T]$

$$Y_{ii}^r(T) = \max_{k=0,1,\dots,23} [h_i^+ - h_i(k)]. \quad (14)$$

Тут

$$\eta_{oi}(k) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, & \text{якщо } h_i(k) \geq h_i^+, \end{cases} \quad (15)$$

$$\eta_{ii}(k) = \begin{cases} h_i^+ - h_i(k), & \text{якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, & \text{якщо } h_i(k) \geq h_i^+, i \in N, \end{cases} \quad (16)$$

де  $h_i(k), h_i^+$  - відповідно, поточне значення тиску у момент часу  $k$  і мінімальний допустимий тиск в  $i$ -му вузлі СПРВ;  $N$  - множина вузлів мережі із споживачами.

Як показник, що характеризує якість функціонування СПРВ на інтервалі часу  $[0, T]$ , використовувалася згортка критеріїв (11) вигляду:

$$Y_0(T) = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} Y_{oi}(T). \quad (17)$$

Вираз (17) визначає непряму оцінку середнього значення ймовірностей виникнення дефіциту води в СПРВ на інтервалі часу  $[0, T]$ .

Крім того, використовувалася згортка критеріїв (12) вигляду:

$$Y_1(T) = \sum_{i \in N} Y_{ii}(T). \quad (18)$$

Вираз (18) визначає непряму оцінку дефіциту води в СПРВ на інтервалі  $[0, T]$ .

Як показник, що характеризує ефективність функціонування СПРВ на інтервалі  $[0, T]$ , використовувався вираз

$$Y_2(T) = \frac{1}{T} \sum_{j \in L} \sum_{k=1}^T N_j(k), \quad (19)$$

де  $N_j(k)$  - значення витрат енергії  $j$ -ї НС у момент часу  $k$ ;  $L$  - множина НС.

Крім того, використовувався показник, що характеризує сумарні витрати потужності на НС СПРВ за період  $[0, T]$ :

$$Y_2'(T) = T * \sum_{j \in L} Y_2(T) \quad (20)$$

і показник, що характеризує суму приведених енерговитрат на НС СПРВ за час  $[0, T]$ :

$$Y_2^*(T) = \sum_{k=0}^T \sum_{i \in L} q_i^{(a)}(k) \eta_i^{(a)}(k), \quad (21)$$

де  $q_i^{(a)}(k), \eta_i^{(a)}(k)$  - відповідно, витрата і тиск на виході  $i$ -ї НС у момент часу  $k$ .

Середня і загальна подача води НС в мережу на інтервалі  $[0, T]$  визначалися у вигляді

$$Y_3(T) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^T \sum_{j \in L} q_j^{(a)}(k), \quad (22)$$

$$Y_3'(T) = T * Y_3(T), \quad (23)$$

де  $q_j^{(a)}(k)$  - подача води  $j$ -ї НС у момент часу  $k$ .

Результати порівняльного аналізу значень критеріїв якості і ефективності функціонування СПРВ на інтервалі часу доба за наявності різних видів регулюючої ємності і без неї наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз критеріїв ефективності і якості функціонування систем подачі і розподілу води на інтервалі часу доба при роботі системи з МЗРЕ і без неї

а	б	в	г	д	е	ж	и	к	л
СПРВ без МЗРЕ	104104,8	26007,6	1522,81	від 0,588 до 4,436	від 0,167 до 0,333	від 0,016 до 0,121	від 6,571 до 22,178	108,275	0,2604
СПРВ з МЗРЕ (колоною)	108493,2	26665,8	1670,75	від 0,297 до 0,859	від 0,042 до 0,125	від 0,008 до 0,023	від 7,127 до 13,233	20,46	0,0463
СПРВ з резервуаром (вежею)	113837,4	27436,0	1705,55	0	0	0	0	0	0
Інтервал [3,24] год.									
1) СПРВ без МЗРЕ	94856,9	24295,6	1489,98	від 0 до 0,308	від 0 до 0,083	від 0 до 0,008	від 0 до 3,89	0,319	0,00312
2) СПРВ з МЗРЕ (колоною)	92319,8	22967,9	1325,93	від 0,672 до 5,07	від 0,191 до 0,381	від 0,018 до 0,138	від 6,571 до 22,178	123,743	0,2976

В даній таблиці стовпці позначені: а - тип СПРВ; б - подача води в мережу за добу, м<sup>3</sup>; в - витрати електроенергії на обох НС за добу, кВт-год.; г - приведені енерговитрати  $\sum_{k=0}^{i \in L} Q_i(k) \psi_i(k)$ ; д -  $(Y_{li}(T))$  - оцінка середнього значення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі  $[0, T]$ ; е -  $(y_{oi}(t))$  - оцінка вірогідності виникнення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі  $[0, T]$ ; ж -  $Y_{li}^*(T)$  - оцінка відносного значення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі  $[0, T]$ ; з - глибина виникнення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі  $[0, T]$ ; и -  $(\chi_i(t))$  - оцінка дефіциту води у всіх вузлах СПРВ; к -  $Y_1(T)$  - оцінка середнього значення вірогідності виникнення дефіциту води у всіх вузлах СПРВ.

Результати, наведені у таблиці 2, свідчать про те, що наявність міжзональної регулюючої ємності в СПРВ дозволяє істотно підвищити якість її функціонування на інтервалі часу  $[0, T]$  при незначному збільшенні витрати води, що подається в мережу, і потужності, що витрачається. При цьому ймовірність виникнення дефіциту в СПРВ  $Y_0(T)$  на інтервалі  $[0, T]$  зменшується зі значення 0,26 при роботі без ємності до значення 0,046 при роботі СПРВ спільно з водонапірною вежею і до 0 при роботі з резервуаром.

Якщо ж не враховувати період «вирівнювання» рівня води у водонапірній вежі до величини мінімально допустимого тиску у вузлах мережі (тобто, якби початковий рівень води в башті був не 20 м, а 36,8 м при тому ж режимі водоспоживання), то підвищується не лише якість, але і ефективність функціонування СПРВ. Так для інтервалу часу  $[3, 23]$  подача води в мережу зменшується з 94856,9 м<sup>3</sup> при роботі СПРВ без башти до 92319,8 м<sup>3</sup> при роботі СПРВ з баштою; витрати електроенергії на НС знижуються з 24295,6 кВт до 22967,9 кВт; показник  $Y_0(t)$  зменшується з 0,2976 до 0,00312; показник  $Y_1(T)$  - з 123,74 до 0,319 (рядки 4-5 таблиці 2).

У таблиці 3 розглянуті результати порівняльного аналізу значень критеріїв якості і ефективності функціонування СПРВ, що живиться однією НС, на інтервалі часу доба при роботі з водонапірною вежею і без неї. Як видно з таблиці, без зональної ємності (вежі в прикладі) в аварійному режимі, тобто при виході з ладу і відключенні ЗУНС-2 і включенні ЗУНС-1 на повну потужність, ймовірність виникнення дефіциту в СПРВ на інтервалі часу доба дорівнює 0,259, а середнє значення дефіциту води в СПРВ на цьому інтервалі часу - 166,59. Введення ж зональної ємності у вигляді водонапірної вежі зводить обидва ці показники до величини, рівної нулю.



Таблиця 3

Порівняльний аналіз значень критеріїв якості і ефективності функціонування системи подачі і розподілу води, що живиться однією насосною станцією, на інтервалі часу доба при роботі з вежею і без неї

а	б	в	$Y_i(t)$	$Y_{oi}(T)$	$Y_i^*(T)$	$Y_i''(T)$	$Y_i(t)$	$Y_i(T)$
СПРВ без вежі	28,9180	27473,7	0-7,77	0-0,417	0-0,211	30,99	166,59	0,259
СПРВ з вежею	30,9677	28450,3	0	0	0	0	0	0

В даній таблиці стовпці позначені: а - тип СПРВ; б - подача води в мережу за добу, м<sup>3</sup>; в - сума енерговитрат на НС за добу, КВт-год.

Таким чином, проведені методом імітаційного моделювання дослідження показали, що введення в СПРВ міжзональної регулюючої ємності дозволяє істотно підвищити якість її роботи (при цьому дефіцит води у споживачів практично знижується до нуля), зменшуються витрати електроенергії і спільна подача води в мережу, знижуються надлишкові напори в мережі, внаслідок чого скорочуються непродуктивні витрати і витоки в мережі і зменшується ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Крім того, наявність регулюючої ємності в СПРВ дозволяє стабілізувати режими роботи НС, зменшивши діапазони зміни їх режимних параметрів і підвищивши коефіцієнт корисної дії їх роботи.

Таким чином, як в існуючих, так і в СПРВ, що реконструюються, та знов проєктованих СПРВ достатньо внутрішніх резервів для підвищення якості і ефективності їх функціонування.

#### 4. Висновки

У порівнянні з початковою, запропонована система водопостачання характеризується наступними перевагами:

- можливістю використовувати для регулювання нерівномірності водоспоживання запаси води тих зон, в яких є надлишок води, а також запаси води міжзональних запасно-регулюючих ємностей;
- зниженням надлишкових сумарних напорів в кільцевих водопровідних мережах, що сприяє зменшенню витоку води;
- зменшенням діапазону зміни величини гідравлічного опору, що дозволяє стабілізувати режими роботи всіх насосних станцій системи і підвищити ККД їх роботи;
- підвищенням живучості системи за рахунок того, що вихід з ладу одного з ланцюжків, який включає низьконапірний трубопровід, зональну запасно-регулюючу ємність з керованою НС, з'єднаною водоводом з однією із зон, не викликає порушення функціонування системи водопостачання, тому що в цьому випадку відповідна зона системи буде забезпечуватися водою від найближчої міжзональної запасно-регулюючої ємності;
- зниженням вимог до пропускної здатності низьконапірного трубопроводу і кільцевих водопровідних мереж.

Введення міжзональних регулюючих ємностей в практику проєктування і реконструкції систем водопостачання дозволяє значно підвищити якість забезпечення водою споживачів за рахунок використання внутрішніх резервів системи. Результати імітаційного моделювання реальної СПРВ підтверджують доцільність використання міжзональних регулюючих ємностей в практиці проєктування і реконструкції СПРВ.

Зазначені переваги дозволяють використовувати на практиці запропоновані принципи здійснення проєктування СПРВ і в результаті цього забезпечити реальне підвищення якості та ефективності їх функціонування при експлуатації.

**Список літератури:** 1. *Евдокимов А.Г.* Оптимальные задачи на инженерных сетях. Харьков: Вища школа, 1976. - 153 с. 2. *Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д.* Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. Харьков: Вища школа, 1980. 144 с. 3. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1982. 440 с. 4. *Душкин С.С., Краев И.О.* Эксплуатация сетей водоснабжения и водоотведения. К.: ИСО, 1993. 164 с. 5. *Абрамович И.А.* Новая стратегия проектирования и реконструкции транспортирования сточных вод. Харьков: Основа, 1996. 316 с. 6. *Белан А.Е.* Технология водоснабжения. К: Наукова думка, 1985. 263 с. 7. *Николадзе Г.И., Сомов М.А.* Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1995. 688 с. 8. *Тугай А.Н.,*

Тугай Я.А. Джерела та водозаборні споруди. К.: Українсько-фінський інститут менеджменту і бізнесу, 1998. 116 с. 9. Бойко Э.Д., Евдокимов А.Г., Морозов С.В., Петросов В.А. Система водоснабжения. А.с. № 1118754 от 18.04.1983 г. 10. Евдокимов А.Г., Бойко Э.Д., Дядюн С.В., Глуховский И.И. Система водоснабжения. А.с. № 1654475 от 4.01.1989 г. 11. Евдокимов А.Г., Коринько И.В., Кузнецов В.Н., Самойленко Н.И. Рациональная эксплуатация и развитие систем водоснабжения и водоотведения. Т.2. Автоматизация процессов водоотведения. Харьков, ХНУРЕ, 1998. 342 с. 12. Дядюн С.В. Математическое моделирование установившегося потокораспределения в системах водоснабжения // Радиоэлектроника и информатика. Харьков: ХНУРЕ. 2000. № 13. С. 54-56. 13. Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. Иркутск: Из-во ИрГТУ, 2011. 322 с. 14. Дядюн С.В. Совершенствование принципов проектирования и реконструкции систем водоснабжения // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. ИСЭМ СО РАН, Иркутск, 2012. Вып. 61. «Проблемы исследования и обеспечения надежности либерализованных систем энергетики». С. 426-433.

Надійшла до редколегії 24.09.2019

**Дядюн Сергій Васильович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри моделювання систем і технологій Харківського національного університету ім.В.Н.Каразіна. Наукові інтереси: математичне моделювання, системний аналіз, оптимізація складних систем, оптимальне управління, автоматизоване управління великими системами енергетики. Адреса: Україна, м.Харків, пл. Свободи, 4. Тел. 0952031750, 0982321007.

---

УДК 378.5

DOI: 10.30837/0135-1710.2019.176.074

*В.І. ШЕХОВЦОВА*

## **ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ЛЮДСЬКИХ ЧИННИКІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ**

---

Проаналізовано існуючі підходи до підвищення якості експлуатації інформаційної системи. Пропонується удосконалення моделі підготовки фахівців з інформаційних технологій університетом на вимоги ІТ-компаній. Визначено сукупність професійно важливих якостей фахівця як складових проектної культури підприємства.

### **1. Постановка проблеми підвищення якості роботи інформаційних управляючих систем**

Якість, надійність та ефективність роботи сучасних інформаційних управляючих систем (ІУС) залежить від багатьох факторів, які можна поділити на дві складові. Перша - це сама ІУС, її функціональність, безпомилковість, гнучкість, зручність, дієздатність та інші показники, що закладаються розробником під час проектування і реалізації проекту. Друга - це експлуатаційні характеристики ІУС, які значною мірою залежать від умов використання та компетентності і операційної дисциплінованості користувачів.

Проблеми підвищення якості експлуатації ІУС на основі визначення, аналізу та управління елементами першої складової зараз прийнято розглядати як окремі задачі формування, аналізу та управління вимогами до ІУС [1-3]. Але проблеми підвищення якості експлуатації ІУС, які виникають внаслідок дії людських чинників на різних стадіях життєвого циклу ІУС, досліджені недостатньо повно. Крім того, в задачах управління якістю експлуатації ІУС, що базуються на елементах першої складової, існує достатньо значуща залежність результатів їх вирішення від вимог, які висуває замовник ІУС, виходячи із власного суб'єктивного бачення, досвіду та вподобань.

Слід зазначити, що проблеми підвищення якості експлуатації ІУС та інших систем шляхом усунення чи зменшення впливу людських чинників мають достатньо довгу історію. Але за цей час науковцями запропоновано лише незначну кількість підходів, моделей, методів та засобів вирішення цих проблем. Тому зменшення чи повне усунення впливу людського чинника на успішність розробки та експлуатації ІУС потребує ретельного аналізу і дослідження, яке слід вважати актуальним і в теоретичному, і в практичному аспектах.

## **2. Аналіз останніх досліджень впливу людських чинників на рівень якості інформаційних управляючих систем**

В сучасних дослідженнях вирішення проблеми підвищення якості експлуатації ІУС та інших систем шляхом усунення чи зменшення впливу людських чинників розглядається з різних точок зору. Одним з вітчизняних підходів до розв'язання цієї проблеми є аналіз системи «людина - техніка - середовище», який здійснюється в ергономіці інформаційних технологій. В цій системі людина виділяється як найбільш мінливий ланцюжок, діяльність якого залежить від особистих якостей (кваліфікації, досвіду, фізіологічних, психологічних та інших факторів), а також умов і режиму праці [4]. Зменшення помилкових дій користувачів ставиться в залежність від характеристики «usability» програмного продукту, що використовується.

Інші дослідники, зокрема Ченцов С.В., Краснов І.З., Сідарас А.А. в [5] при вирішенні питання зменшення впливу людського чинника на сталість інформаційної системи пропонують розраховувати коефіцієнт компетентності щодо кожного інсайдера та встановлювати відповідний рівень і обсяг доступу до певних видів роботи.

Закордонні дослідники визнають, що проблема управління помилками та забезпечення психологічної безпеки є одним зі шляхів підвищення якості та безпеки в проектах. Зокрема, визнається, що небезпечна поведінка людей у проектах часто витікає з багатогранних дій людини, які зазвичай можна відстежити до виникнення помилки. Для розв'язування цієї проблеми пропонується перейти від запобігання помилок до культури управління помилками [6].

Існує також напрям досліджень, за яким слід не зменшувати вплив людських чинників на проектні роботи, а навпаки, пристосовуватися до такого впливу шляхом апріорного планування альтернативних пакетів робіт проекту та наступного вибору найкращих можливих альтернатив під час планування проекту [7]. Але такий підхід до вирішення поставленої проблеми слід визнати можливим переважно для малих та окремих середніх ІТ-проектів. Зазначим, що майже усі ІТ-проекти, пов'язані з ІУС, є середніми або великими проектами.

В цілому ж визнається, що зменшення впливу людського чинника можливе внаслідок утворення на підприємстві чи у системі, яка експлуатується, так званого «клімату безпеки». Даним терміном у [8] позначають багаторівневу та багатомірну систему взаємодії соціальних агентів, серед яких є менеджери, супервізори та виконавчі робочі групи. У [8] також визнається, що психологічне здоров'я та якість психосоціального середовища є результатом діяльності клімату безпеки організації.

Результати проведеного аналізу дозволяють зробити висновок про те, що дослідження в галузі вирішення проблеми підвищення якості експлуатації ІУС та інших систем шляхом усунення чи зменшення впливу людських чинників спрямовані на дослідження і проектування систем різного типу, які роблять суб'єктивні впливи на ІУС малоймовірними внаслідок апріорно організованих комунікацій чи прямого контролю за діяльністю людини. Однак конкретні результати, що дозволяють успішно визначати вимоги до людини як учасника подібних комунікацій чи елементу подібних систем, практично відсутні.

## **3. Постановка задачі зменшення впливу людських чинників на експлуатацію інформаційної управляючої системи**

Як витікає з результатів аналізу сучасного стану проблеми підвищення якості експлуатації ІУС та інших систем шляхом усунення чи зменшення впливу людських чинників, головним шляхом її вирішення є створення спеціальних комунікативних систем, які є частиною загальної системи управління експлуатацією ІУС. Але подібні системи майже не беруться до уваги під час фахової підготовки в галузі комп'ютерних наук та інформаційних технологій. Так запропонована у [9] модель підготовки фахівця з інформаційних технологій університетом на вимоги ІТ-компанії не враховує такі компетенції, як здатність фахівця до комунікацій та здатність працювати в команді.

Тому метою даного дослідження є розробка підходу до зменшення впливу людських чинників на експлуатацію ІУС за рахунок формування відповідних компетенцій фахівця під час його навчання. Для досягнення даної мети пропонується вирішити такі задачі дослідження:

- удосконалення моделі підготовки фахівця з інформаційних технологій університетом на вимоги ІТ-компанії шляхом уточнення частини компетенцій студента, що відповідають за його комунікативні здібності та спроможність працювати в команді ІТ-компанії;

- дослідження змін у навчальному плані підготовки фахівців з інформаційних технологій, які необхідні для реалізації запропонованої удосконаленої моделі.

#### 4. Результати удосконалення моделі підготовки фахівця з інформаційних технологій університетом на вимоги ІТ-компанії

Складові керування людським чинником в управлінні експлуатацією ІУС базуються на компетентності, дисциплінованості та вмотивованості виконавців. Компетентність як спроможність виконувати професійні обов'язки базується на достатньому рівні освіти, знаннях і досвіді роботи у відповідній сфері, кмітливості та передбаченні кінцевого результату діяльності.

Для розвитку цих властивостей необхідно постійно підвищувати рівень знань, вмінь, опановувати нові прийоми роботи, технології і методи. Засобами досягнення цього є тренінги, спеціалізовані курси, обмін досвідом в професійному середовищі, відстеження новинок в технологіях, опанування та впровадження передових методів.

Дисциплінованість виконавців передбачає суворе дотримання як технологічних, так і ергономічних вимог, під час виконання професійної діяльності. Будь-яке відхилення має фіксуватися та мати відповідну адекватну реакцію.

Мотивація щодо надійної та ефективної діяльності формується, з одного боку, стимулюванням, з іншого - «покаранням». Одним з впливових методів формування націленості на успіх в роботі є створення командного принципу роботи. При такій формі всі члени команди несуть спільну відповідальність за успіх, що сприятиме взаємопідтримці в колективі, а також спільну відповідальність за помилки, відставання та інші невдачі. Бажання не підвести товаришів примушує всіх в команді працювати на загальний успіх. Обов'язковим моментом є заохочення всієї команди за успіх, що може виражатися як фінансово, матеріально, так і морально.

Тому стає необхідною підготовка таких фахівців з інформаційних технологій, для яких компетенції командної роботи та комунікацій під час виконання поточної діяльності є одними з найнеобхідніших. З цією метою пропонується визнати ці компетенції важливими складовими підготовки сучасних фахівців з інформаційних технологій.

Запропонована у [9] модель підготовки фахівця з інформаційних технологій визначає чотири основних об'єкта і два процеси. Об'єктами моделі є університет ( $U$ ), студент ( $S_U$ ), фахівець ( $S_P$ ) та працівник компанії ( $S_C$ ). Процесами моделі є навчальний ( $E_U$ ), засвоєння знань ( $E_S$ ) та кваліфікаційного тестування ( $E_T$ ). Університет ( $U$ ) здійснює реалізацію навчального процесу ( $E_U$ ) в можливостях своїх властивостей ( $P(U)$ ) і властивостей навчального процесу ( $P(E_U)$ ). Відповідно до навчального процесу  $E_U$ , студент  $S_U$  з урахуванням своїх властивостей  $P(S_U)$  трансформує одержувані знання  $K_U \rightarrow K_S$  (засвоєння знань і властивості), формуючись в профільного фахівця  $S_P$ . Фахівець  $S_P$  також характеризується своїми властивостями  $P(S_P)$ . У всіх описах властивості  $P(\cdot)$  визначають деякі індивідуальні характеристики, властиві конкретному об'єкту. Фактично йде формування властивостей фахівця  $P(S_P)$ , які ми називасмо «навички» і компетенції. Навички фахівця  $H(S_P)$  об'єднують знання, які пропонує університет, загальні вміння, якими володіє студент, і сформовані спеціальні навички на основі університетських знань. Ці навички повинні бути затребувані певною компанією  $C_i$ , яку вибирає зазвичай сам фахівець  $S_P$ , тобто маємо умову задоволення бажання  $D(S_P, C_i) = true$  [9].

«Затребувані навички»  $H_i$  відповідають вимогам компанії  $T(C_i) = T_i$ . Вимоги наявності певного рівня умінь визначається правилом  $H(S_P) \cap H(S_C) \neq \emptyset$  і критеріями  $|H(S_P) \cap H(S_C)| \rightarrow \max$ ,  $H(S_P) \rightarrow H(S_C) | H(S_P) \setminus H(S_C) | \rightarrow \max$ ,  $H(S_P) \rightarrow H(S_C)$ . Це означає, що сформовані навички фахівця повинні наближатися до вимог компанії [9].

Компанії формують вимоги  $T = \{T_i\}$ , де  $T_i$  - вимоги кожної компанії, фактично  $T_r = \bigcup_{i=1}^n T_i$ . Університет формує свій набір вимог  $T_{r0}$ , для якого створює набір навичок  $H_0$ . Але кожен студент формує свій набір навичок  $H(S_P)$ . Тому умови прийняття на роботу запишуться у вигляді [9]

$$\begin{cases} H(S_p) \cap H(S_c) = T_{ri} \\ D(S_p, C_i) = true \end{cases} \quad (1)$$

Таким чином, успішним навчальним процесом буде той, який найбільшою мірою забезпечить виконання умов (1) для кожного студента і будь-якої обраної компанії [9].

Для зменшення впливу людських чинників на діяльність компанії та на ІУС, які експлуатуються під час цієї діяльності, пропонується ввести формалізований опис командних та комунікативних навичок фахівця з інформаційних технологій, якого готує університет на вимоги компанії. Ці навички пропонується розглядати як підмножину навичок студента  $H_{C\&C}(S_p) \subset H(S_p)$ . Головною відмінністю цих навичок є те, що під час прийому на роботу студента відбувається їх перевірка не на відповідність навичкам окремого спеціаліста, а на відповідність подібним навичкам переважної більшості спеціалістів компанії.

Тоді стає можливим позначити клімат безпеки компанії як навички її персоналу, що забезпечують якісну роботу усіх бізнес-процесів та систем цієї компанії, зокрема й ІУС. Формалізовано цей клімат безпеки пропонується описати як  $SC = H_{C\&C}(\{S_c\})$ .

Запропоновані зміни дозволяють визначити умови прийняття на роботу (1) наступним чином:

$$\begin{cases} H(S_p) \cap H(S_c) = T_{ri} \\ H_{C\&C}(S_p) \cap H_{C\&C}(\{S_c\}) \neq \emptyset \\ D(S_p, C_i) = true \end{cases} \quad (2)$$

Запропонована вдосконалена модель визначає, що на роботу компанія прийме такого підготовленого університетом фахівця з інформаційних технологій, командні та комунікативні навички якого відповідають клімату безпеки цієї компанії. Як свідчать наведені вище результати аналізу, такий підхід відповідає сучасним науковим дослідженням в цій галузі і є найбільш поширеним у світі.

## 5. Результати дослідження змін у навчальному плані підготовки фахівців з інформаційних технологій

Розглянута вище удосконалена модель визначає необхідність формувати свідоме розуміння кожного фахівця доцільності та важливості його ролі в загальному успіху. Для цього треба мати достатній рівень проектної культури, тобто сукупність якостей, що відображують знання та спроможність їх творчого застосування в проектній діяльності, системне та проектне усвідомлення дійсності, володіння вміннями і навичками проектувальної діяльності, засвоєння системи морально-етичних та юридичних норм, цінностей, установок, що пов'язані з технічним, соціальним, комп'ютерним проектуванням [10]. Ієрархічна структура професійно важливих якостей фахівця представлена на рис. 1 [11].

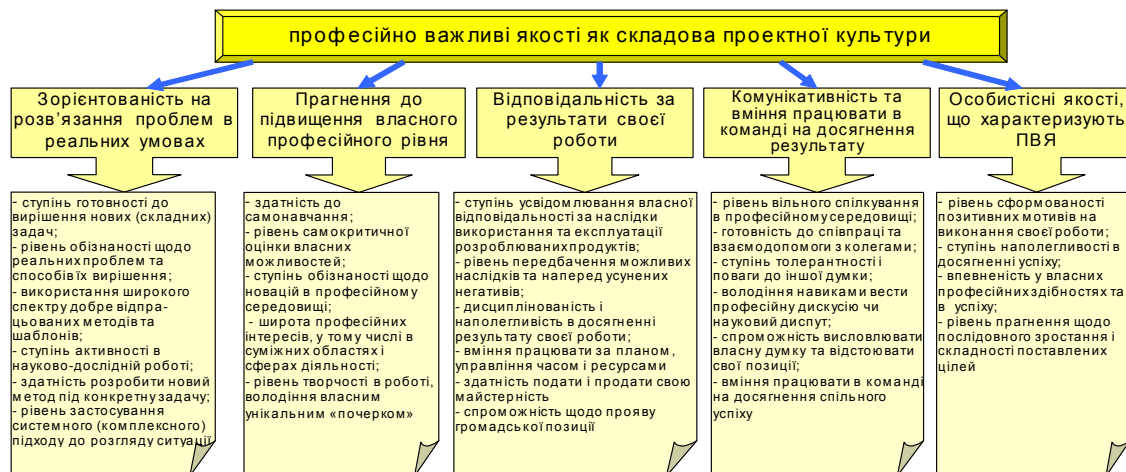


Рис. 1. Ієрархічна структура професійно важливих якостей фахівця

На жаль, у сучасному стандарті підготовки фахівців з комп'ютерних наук [12] здатність фахівця до роботи в команді є однією з п'ятнадцяти загальних компетенцій і майже не деталізована для можливого визначення конкретних знань та умінь, необхідних фахівцю з інформаційних технологій для ефективного перебування у кліматі безпеки компанії. Тому пропонується:

- в подальшому розглядати здатність роботи у команді не як загальну, а як професійну компетенцію фахівця з інформаційних технологій та, зокрема, бакалавра з комп'ютерних наук;
- розглянути можливість уточнення опису цієї компетенції з урахуванням запропонованого автором у [11] переліку показників, що характеризують набуття студентом цієї компетенції;
- ввести до навчального плану підготовки бакалаврів з комп'ютерних наук спеціальну навчальну дисципліну професійно-практичного характеру, яка дозволяла б студентам набути основних знань та умінь інтегруватися до існуючого в компанії клімату безпеки.

Як приклад такої дисципліни пропонується розглянути навчальну дисципліну «Основи побудови корпоративних команд та комунікацій», метою якої слід вважати надання студентам знань щодо принципів побудови сучасних команд виконавців, управління командами, організації ефективної та безпечної роботи команди, організації комунікацій між учасниками команди та між командою та іншими учасниками проектних робіт.

## 6. Висновки

Для підвищення надійності та ефективності роботи сучасних інформаційних управляючих систем необхідно наполегливо та системно займатись формуванням професійно важливих якостей фахівців, їх проектної культури та посилювати контроль і вимогливість щодо дотримання технологічної і виконавчої дисципліни на всіх етапах проектування і експлуатації ІУС.

**Список літератури:** 1. ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, NEQ). [Введ. 2016-10-31]. М.: Стандартинформ, 2016. 98 с. 2. Леффингуэлл, Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход [Текст] / Д. Леффингуэлл, Д. Уидриг. М.: Вильямс, 2002. 448 с. 3. Виггерс, К.И. Разработка требований к программному обеспечению [Текст] / К.И. Виггерс. - М.: Русская редакция, 2004. - 576 с. 4. Ашеро́в А.Т., Сажко Г.І. Ергономіка інформаційних технологій / А.Т. Ашеро́в, Г.І. Сажко // Навчальний посібник. Харків, УПА. 2005. 214 с. 5. Ченцов С.В. 1 Краснов И.З. 1 Сидарас А.А. Обеспечение устойчивости информационных систем с учётом человеческого фактора / С.В. Ченцов, И.З. Краснов, А.А. Сидарас // ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». Способ доступа: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41913> 6. Love P.E.D., Smith J., Ackermann F., Irani Z., Fang W., Luo H., Ding L. Houston, we have a problem! Understanding the tensions between quality and safety in construction // Production Planning & Control. The Management of Operations. 2019. Vol. 30. Iss. 6. P. 1354-1365. 7. Servranckx T., Vanhoucke M. Strategies for project scheduling with alternative subgraphs under uncertainty: similar and dissimilar sets of schedules // European Journal of Operation Research. 2019. Vol. 279. Iss. 1. P. 38-53. 8. Kandola R., Curcuruto M., Griffin M. Morgan J.I. The influence of organisational safety climate on group safety outcomes: The mediation role of supervisor safety communication and monitoring / / Advances in Intelligent Systems and Computing. AHFE International Conference on Safety Management and Human Factors, 2018; Orlando; United States; 21 July 2018 - 25 July 2018. 2019. Vol. 791. P. 35-46. 9. Семенец В.В., Левикін В.М., Саснко В.І. Дослідження і аналіз дидактичної політики університету при підготовці фахівців з інформаційних технологій // АСУ та прилади автоматики, 2018. № 175. С. 4-14. 10. Ашеро́в А.Т., Шеховцова В.І. Проектная культура будущих инженеров-педагогов компьютерного профиля: сущность понятия / А.Т. Ашеро́в, В.І. Шеховцова // Теорія і практика управління соціальними системами // Щоквартальний науково-практичний журнал. Харків: НТУ «ХП». 2007. №4. С. 70-79. 11. Ашеро́в А.Т., Полякова Ю.М., Шеховцова В.І. Професійно важливі якості фахівця як складова його проектної культури / А.Т. Ашеро́в, Ю.М. Полякова, В.І. Шеховцова // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Філософія, психологія, педагогіка. 2010. №2 (29). С. 127-131. 12. Стандарт вищої освіти підготовки бакалавра зі спеціальності 122 комп'ютерні науки. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/07/12/122-kompyuterni-nauki-bakalavr.pdf>.

*Надійшла до редколегії 01.10.2019*

**Шеховцова Вікторія Іванівна**, канд. пед. наук, доцент, доцент кафедри ІУС ХНУРЕ. Наукові інтереси: проектна культура ІТ-фахівців; проектування інформаційних систем; методи оптимізації в управлінні ІТ-проектами. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. 70-21-451.

*Н.І. КАЛИТА, С.В. ПОНОМАРЬОВА*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АДАПТАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ КОМАНДИ**

Проаналізовано особливості управління інтелектуальною командою. Розглянуто існуючі підходи до адаптації членів команди. Сформульовано актуальність та постановку задачі адаптації фахівців. Використано теорію корисності та функціонально-вартісний аналіз. Запропоновано критерій оптимальності плану адаптації інтелектуальної команди. Розроблено математичну модель оцінки ефективності адаптації членів команди з урахуванням обмежень на час, якість та вартість заходів, необхідних для проведення адаптації.

### **1. Вступ**

Для управління будь-яким проектом на період його здійснення створюється специфічна тимчасова організаційна структура, очолювана керівником проекту. Найчастіше вона називається проектною командою. Під командою розуміється колектив (об'єднання людей, що здійснюють спільну діяльність і мають спільні інтереси), здатний досягати мети автономно й узгоджено, при мінімальних керуючих впливах. Тобто на команду покладається певна робота, яка повинна бути виконана шляхом узгоджених і доцільних дій учасників команди при мінімальних тимчасових і управлінських витратах. Саме узгоджені дії кожного учасника команди приведуть до результату. Колектив професійної команди повинен бути злагодженим, зібраним. Тільки завдяки цим якостям команда зможе добитися основного результату - вирішення поставленого завдання.

Робота з інтелектуальними командами проекту має свою специфіку і складається з взаємопов'язаних підсистем: формування команди, її оцінка, адаптація та навчання команди. Інтелектуальною командою не можна назвати випадково об'єднану кількість людей. Команда характеризується взаємозв'язком, розподіленою відповідальністю, та загальним результатом. В інтелектуальних командах члени команди виконують різні функції, причому кожний фахівець, в загальному випадку, характеризується певною ефективністю реалізації тих чи інших функцій. Інтелектуальні команди можуть формуватися як на тривалий термін, так і на деякий час для вирішення конкретної задачі. Чим довше буде існувати команда, тим вище буде її рівень спрацьованості і професіоналізму, і тим краще і результативніше вона буде діяти.

Робота з людиною як ресурсом компанії починається на етапі адаптації. Від того, наскільки ефективно організований цей процес, залежить як результативність подальшої роботи і можливість реалізації здібностей самого співробітника, так і досягнення цілей всієї організації [1].

Вважається, що персонал є цінним ресурсом організації. Тому управління адаптацією нових співробітників в колективі - одна з найважливіших задач, яку доводиться вирішувати службі персоналу. Отже, необхідно розробити модель адаптації як інструмент управління співробітниками для збільшення продуктивності праці і ефективності діяльності організації в цілому.

Адаптація в контексті цієї роботи означає пристосування членів інтелектуальної команди, а саме, їх професіональних навичок, до вимог нового проекту.

У наш час у компаніях та організаціях професійна адаптація здійснюється через різноманітні заходи, які не підкріплені оцінкою їх ефективності та потрібними ресурсами. З розвитком інформаційних технологій та поширенням застосування інформаційних систем, у тому числі і в галузі управління персоналом, актуальною є розробка формальних методів та підходів для планування та вибору ефективних методів професійної адаптації членів інтелектуальних команд.

### **2. Постановка задачі**

Розглянемо задачу адаптації інтелектуальної команди в такій постановці. Для виконання нового проекту необхідна команда, компетентності членів якої відповідають вимогам. Рольовий склад команди і кількість виконавців кожної ролі визначається менеджером проекту. Одна роль може виконуватися декількома фахівцями. Але, в свою чергу, один і той самий фахівець може виконувати тільки одну роль.

Відомий склад команди  $X = \{x_i\}, i = \overline{1, n}$ , де кожен учасник  $x_i$  володіє як мінімум однією професійною навичкою (компетентністю) з множини компетентностей команди  $K = \{k_j(x_i)\}, j = \overline{1, m}$ . Для визначеності будемо вважати, що значення  $k_j$  відомі і задані у вигляді кількісних оцінок. Ці значення можуть бути отримані фахівцями з персоналу в ході проведення системної або позапланової атестації співробітників, тестів на професійні знання та навички тощо.

Рівень необхідних професійних навичок нового проекту заданий у вигляді  $K^* = \{k_j^*(x_i)\}, j = \overline{1, m}$ . Ці значення також задані у вигляді кількісних оцінок в результаті роботи бізнес-аналітиків і технічних експертів.

Для досягнення рівня необхідних навичок треба провести адаптацію тих співробітників, чий рівень компетентності менше необхідного, тобто

$$k_j(x_i) < k_j^*(x_i). \quad (1)$$

Адаптація передбачає збільшення рівня компетентності  $k_j(x_i)$  співробітника  $x_i$  до необхідного рівня компетентності проекту  $k_j^*(x_i)$  шляхом проведення заходів з підвищення кваліфікації в даній сфері. Такими заходами можуть бути:

- навчальні курси;
- хакатони;
- конференції;
- олімпіади;
- тренінги;
- наставництво.

Кожен  $l$ -й захід при  $l = \overline{1, g}$ , де  $g$  - кількість можливих засобів адаптації, потребує певних витрат  $c_l$  на його проведення та певного проміжку часу  $t_{lj}$ , який в залежності від умов проекту може бути обмежений  $t_{lj} \leq t_{lj}^*$ . Час  $t_{lj}^*$  може бути різним для кожної  $j$ -ї компетентності, якщо умови проекту передбачають, що ця компетентність може бути використана не на початковому етапі проекту, а пізніше, тому адаптація може продовжуватись, незважаючи на старт проекту.

Необхідно скласти такий план адаптації, при якому кожен співробітник з недостатнім рівнем компетентності  $k_j(x_i)$  буде підготовлений до необхідного рівня  $k_j^*(x_i)$  за необхідний час  $t_{lj} \leq t_{lj}^*$  і при мінімальних витратах.

### 3. Розробка математичної моделі плану адаптації

Для синтезу моделі оцінювання ефективності адаптації команди проекту будемо використовувати:

- 1) теорію корисності для формування оцінок ефективності адаптації [2];
- 2) функціонально-вартісний аналіз для формування критерію оптимальності плану адаптації [3].

Позначимо через  $P_j(x_i)$  початковий рівень ефективності кожного члена команди  $x_i$ , а через  $P_j^*(x_i)$  - кінцевий її рівень. Оцінки  $P_j(x_i)$  та  $P_j^*(x_i)$  визначимо за допомогою адитивної функції корисності (привабливості), яка враховує присутність і рівень володіння потрібними компетентностями.

Для кожного з членів команди  $x_i$  окрема його компетентність має пріоритет перед іншими, якщо умовами задачі передбачено обмеження кількості компетентностей, за якими можна адаптуватись одному фахівцю, або підвищення рівня компетентностей не може відбуватися одночасно, а має відбуватися послідовно. Для цих випадків введемо вагові коефіцієнти  $a_j$ , які задовольняють умовам



$$\sum_{j=1}^m a_j = 1, \quad (2)$$

причому

$$0 \leq a_j \leq 1. \quad (3)$$

Тоді привабливість  $i$ -го члену інтелектуальної команди до проведення заходів з адаптації визначається як

$$P_j(x_i) = \sum_{j=1}^m a_j k_j(x_i), \quad (4)$$

а після його адаптації

$$P_j^*(x_i) = \sum_{j=1}^m a_j P_j^*(x_i). \quad (5)$$

Функція корисності вигляду (4) потребує, щоб значення всіх частинних критеріїв були нормалізовані, тобто приведені до безрозмірного виду, однаковому інтервалу зміни та направленню домінування частинних критеріїв. Тому в загальному випадку значення вказаних частинних критеріїв в наведеної моделі пронормовані за формулою виду:

$$P_l^H(k_j) = \left( \frac{k_j(x_i) - k_j^{HG}(x_i)}{k_j^{HK}(x_i) - k_j^{HG}(x_i)} \right)^{\alpha_i}, \quad (6)$$

де  $k_j^{HG}(x_i)$ ,  $k_j^{HK}(x_i)$  - відповідно, найгірше і найкраще значення компетентності;  $\alpha_i$  - параметр нелінійності, який реалізує при  $\alpha_i = 1$  лінійну залежність, при  $\alpha_i < 1$  - опуклу вгору залежність, при  $\alpha_i > 1$  - опуклу вниз залежність [4].

Якщо хоч одна з компетентностей  $k_j(x_i)$  члена команди  $x_i$  менша за рівнем володіння, ніж потрібно  $k_j(x_i) < k_j^*(x_i)$ , тоді цей фахівець буде задіяний в адаптації.

Для досягнення необхідного рівня компетентності  $k_j^*(x_i)$  членом команди  $x_i$  необхідно провести відповідні заходи, які, в свою чергу, потребують залучення коштів  $c_l(k_j)$ . Для приведення значень витрат до єдиного інтервалу вимірювання перейдемо до нормованих значень:

$$c_l^H(k_j) = \left( \frac{c_l(k_j)}{c_{l\max} - c_{l\min}} \right). \quad (7)$$

Заходи можуть бути обмежені у часі  $t_{ij} \leq t_{ij}^*$ , а також можуть бути обмежені показником рейтингу  $Pr_l(k_j) > Pr_l^*(k_j)$ , де  $Pr_l^*(k_j)$  - мінімальний рейтинг для заходу;  $t_{ij}^*$  - максимальний час, до якого даний захід має закінчитися.

Якість адаптації кожного члена команди  $x_i$  будемо оцінювати як:

$$E(x_i) = \sum_{j=1}^m P_j^*(x_i) - P_j(x_i). \quad (8)$$

Оскільки ефективність адаптації оцінюється як вартісними, так і функціональними критеріями, для приведення багатокритеріальної задачі оптимізації в однокритеріальну сформуємо узагальнений критерій ефективності плану адаптації кожного члена інтелектуальної команди на основі функціонально-вартісного аналізу:

$$\frac{\sum_{i=1}^n E(x_i)}{\sum_{l=1}^g c_l^H(k_j)} \rightarrow \max \quad (9)$$

Для регулювання об'єму витрат на проведення заходів з адаптації членів команди введемо булеву змінну

$$y_l = \begin{cases} 0, & \text{якщо } l\text{-ий захід не обирається;} \\ 1, & \text{якщо } l\text{-ий захід було обрано,} \end{cases} \quad (10)$$

яка показує, який захід буде обрано для вдосконалення компетенції  $k_j(x_i)$  фахівця  $x_i$ .

Тоді кінцевий рівень ефективності кожного члена команди  $x_i$  можна представити як:

$$P_j^*(x_i) = P_j(x_i) + \sum_{l=1}^g y_l P_l^H(k_j) \quad (11)$$

Математична модель оцінювання ефективності адаптації цілої команди буде мати вигляд:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^g y_l P_l^H(k_j)}{\sum_{l=1}^g y_l c_l^H(k_j)} \rightarrow \max_{y_l} \quad (12)$$

при обмеженнях на час

$$\sum_{l=1}^g y_l t_{lj} \leq t_{lj}^* \quad (13)$$

на рейтинг якості проведених заходів

$$\sum_{l=1}^g y_l Pr_l(k_j) > Pr_l^*(k_j) \quad (14)$$

та на вартість обраних заходів адаптації

$$\sum_{l=1}^g y_l c_l(k_j) \leq c_l^*(k_j) \quad (15)$$

де  $c_l^*(k_j)$  - максимальний можливий за умовами проекту об'єм витрат на проведення адаптації.

Запропонована математична модель дозволяє визначити оптимальний план адаптації інтелектуальної команди з урахуванням компетентностей її членів. Отже, можна зробити висновок, що ефективність адаптації залежить від кількості та якості проведених заходів, завдяки яким можна покращити ту чи іншу компетентність фахівця при дотриманні обмежень на час та вартість, які, в свою чергу, залежать від умов проекту.

#### 4. Висновки

Потреба в професійній адаптації виникає, коли команда переходить до виконання нового проекту. Проект, в свою чергу, має перелік компетенцій та рівень їх володіння, які необхідні для його виконання. Коли в члена команди рівень компетентності недостатній, тоді потрібна професійна адаптація.

Якщо в результаті процесу адаптації організація в короткі терміни отримує мотивованих співробітників, працюючих не лише відповідно до своїх особистих цілей (наприклад, грошовий чинник), але і з організаційними завданнями, то механізм адаптації в цій організації правильно розроблений, впроваджений, керований і, отже, ефективний.

**Список літератури:** 1. *Особливості* вдосконалення системи адаптації персоналу / Г.Л. Чернява, Г.Г. Корнілаєва // Культура народів Причорномор'я. 2011. № 207. С. 142-144. 2. *Основи* теорії прийняття рішень. Навчальний посібник / О.І. Кушлик-Дивульська, Б.Р. Кушлик. К., 2014. 94 с. 3. *Математическая* модель формування інтелектуальних команд / Калита Н.И., Пономарева С.В. // Проблемы информационных технологий. 2016. № 2 (020). С. 119-125. 4. *Development and research methods of formation and functioning of intellectual team* / Ponomarova S.V., Kalyta N.I. // Міжнародна весняна школа з верифікації та штучного інтелекту: Зб. стендових доповідей. Х., 2018. С. 50-62.

*Надійшла до редколегії 03.10.2019*

**Калита Надія Іванівна**, к.т.н., доцент, професор кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки. Наукові інтереси: теорія прийняття рішень, методи управління інтелектуальними командами. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. 70-21-006. e-mail: nadiia.kalyta@nure.ua.

**Пономарьова Світлана Владиславівна**, асистент кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки. Наукові інтереси: сучасні інформаційні технології, моделі і методи управління інтелектуальними командами. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. 70-21-006. e-mail: nadiia.kalyta@nure.ua.

## РЕФЕРАТИ

---

УДК 004.22

**Інформаційна модель оцінювання процесів тепло- і масообміну** / А. Єрохін, Г. Зацеркляний, А. Бабій, О. Турута, О. Золотухін // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 4-9.

Розглянуто проблему вибору моделі і методу оцінювання теплопровідності, конвективного і радіаційного теплообміну. Обрано структурну схему взаємопов'язаного та взаємозалежного процесу тепломасопереносу. Реалізовано і апробовано інформаційну модель для оцінювання взаємопов'язаного процесу тепломасопереносу і реалізації його програми.

Л. 4. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 004.22

**Information model for heat and mass transfer processes evaluation** / A. Yerokhin, H. Zatserklyanyi, A. Babii, O. Turuta, O. Zolotukhin // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 176. P. 4-9.

The problem of choosing the model and method of estimation of thermal conductivity, convective and radiation heat exchange is considered. The structural scheme of the interconnected and interdependent process of heat and mass transfer is selected. An information model has been implemented and tested to evaluate the interconnected process of heat and mass transfer and its program implementation.

Fig. 4. Ref: 10 items.

---

УДК 004.942:616.5-612.79

**Математична модель визначення адаптаційних можливостей дитини з atopічним дерматитом** / О.В. Висоцька, В.А. Клименко, А.П. Порван, О.О. Трубіцин, О.Й. Довнар // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 9-16.

Представлена математична модель визначення адаптаційних можливостей дитини з atopічним дерматитом, яка відображає процеси, супутні захворюванню. Її використання дозволяє більш глибоко зрозуміти механізми виникнення atopічного дерматиту у дітей та підлітків і визначити шляхи спрямованого впливу синхронізації взаємообумовлених відносин морфофункціональних утворень цілісної системи їх взаємодії. Розробка моделі спрямована на створення методу дослідження даної патології, який дозволить виявити ті особливості формування і протікання захворювання, які складно виявити у прямих емпіричних дослідженнях, а також кількісно виразити і об'єктивізувати зміни функціонального стану хворих з різним ступенем тяжкості АД, виявити вплив різних чинників на інтенсивність відновних процесів організму.

Табл. 2. Л. 4. Бібліогр. 19 назв.

UDC 004.942:616.5-612.79

**Mathematical model of determination of adaptation possibilities of a child with atopie dermatate** / O. Vysotska, V. Klymenko, A. Porvan, A. Trubitsin, A. Dovnar // Management Information System and Devices. All-Ukr.Sci.Interdep.Mag. 2019. N. 176. P. 9-16.

The article presents a mathematical model for determining the adaptive capabilities of a child with atopie dermatitis, which reflects the processes that accompany the disease. The mathematical model allows to understand more deeply the mechanisms of atopie dermatitis in children and adolescents. The method of investigation of the pathology will allow to reveal those features of the disease that are difficult to detect in direct studies, and also numerically evaluate the index of changes in the functional state of patients with atopie dermatitis, to determine the influence of various factors on the patient's recovery.

Tab. 2. Fig. 4. Ref.: 19 items.

---

УДК 004.681.2.08

**Моделювання перетворювача топології Buck для системи управління нагрівачем у вакуумі** / О. І. Михальов, А. Ю. Зимогляд, А. І. Гуда // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 16-27.

Розроблено математичну модель та на її основі запропоновано та практично реалізовано перетворювач топології Buck системи управління нагрівачем термічного випаровування металу у вакуумі при створенні функціональних покриттів. Порівняння з даними, що отримані в реальному експерименті, підтвердило адекватність запропонованої моделі, а її подальше використання дало можливість створення високоякісних функціональних покриттів спеціального призначення.

Л. 12. Бібліогр. 9 назв.

UDC 004.681.2.08

**Buck topology converter simulation for the vacuum heater control system** / A. I. Mikhalyov, A. Y. Zimoglyad, A. I. Guda // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. N. 176. P. 16-27.

The mathematical model was developed and on its basis a Buck topology converter of the control system of the heater of thermal evaporation of the metal in a vacuum was created and practically realized during the creation of functional coatings. Comparison with the data obtained in the real experiment, confirmed the adequacy of the proposed model, and its subsequent use has made it possible to create high-quality functional coatings of special purpose.

Fig. 12. Ref.: 9 items.

---

УДК 519.171

**Модель еластичної масштабно-інваріантної неорієнтованої мережі** / В. Л. Шергін, Д. В. Лимаренко, М. Р. Політ // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 27-30.

Досліджуються моделі безмасштабних мереж. Нескінчено зростаючий граф є математичним базисом цих моделей. Розглядаються такі графи, що мають різні відносні темпи зростання кількості ребер і вершин. Відношення відносних темпів зростання кількості ребер і вершин графу є коефіцієнтом еластичності, який збігається з фрактальною розмірністю цього графа, якщо його розглядати як нескінченно зростаючу дискретну множину.

Представлена еластична модель неорієнтованої масштабно-інваріантної мережі. Показано, що розподіл ступенів вузлів мережі підпорядковується закону Юла-Саймона, як і в класичних моделях таких мереж, але скейлінг-фактор є іншим. Його нижня межа дорівнює двом, що дозволяє розповсюдити сферу застосування безмасштабних моделей на щільні мережі, які мають скейлінг фактор близький, або навіть менший, ніж два.

Л. 1. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 519.171

**An elastic model of non-oriented scale-free network** / V.L.Shergin, D.V.Lymarenko, M.R.Poliit // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. №. 176. P. 27-30.

Scale-free network models are analyzed. An infinitely growing graph is a mathematical background of those models. Graphs having different relative growth rates for numbers of edges and vertices are considered. The ratio of relative growth rates of edges and vertices number is an elasticity factor, which coincides with a fractal dimension of this graph treated as an infinitely growing discrete set.

An elastic model of non-oriented scale-free network is presented. As it was shown, the degrees number of nodes follows the Yule-Simon distribution, as in classical models of SF-networks, but with another scaling factor, which has the lower bound equals two. This approach expands the scope of scale-free models for dense networks having scaling factor close or even less than two.

Fig. 1. Ref.: 7 items.

---

УДК 655:006.063

**Особливості проведення добровільної і обов'язкової сертифікації поліграфічних підприємств** / О.В. Григор'єв, Ю.О. Щербакова // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 31-36.

Визначено місце сертифікації у системі управління якістю поліграфічного підприємства. Проведено дослідження особливостей процесу сертифікації в Україні. Визначені особливості та переваги добровільної та обов'язкової сертифікації, їх вплив на конкурентоспроможність та можливості реалізації друкованого продукту на міжнародному ринку.

Бібліогр.: 5 назв.

UDC 655:006.063

**Features of carrying out voluntary and obligatory certification of printing enterprises** / O. V. Grigoriev, Yu. O. Shcherbakova // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 176. P. 31-36.

The place of certification in the quality management system of the printing company has been determined. The features of the certification process in Ukraine have been investigated. The features and benefits of voluntary and mandatory certification, their impact on competitiveness and the ability to market a printed product in the international market are identified.

Ref: 5 items.

---

УДК 004.9:528

**Розробка методу формування ефективного плану підвищення кваліфікації** / В.М. Левикін, К.В. Зибіна // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 36-42.

Проведено аналіз та виявлено основні недоліки існуючих методів кадрового планування. Запропоновано вдосконалений метод формування ефективного плану підвищення кваліфікації. Перевагами запропонованого метода є скорочення часу на формування ефективного плану підвищення кваліфікації, виключення виникнення помилок при формуванні плану підвищення кваліфікації, врахування значної кількості додаткових факторів. Запропонований метод може застосовуватися в малих та середніх організаціях.

Табл. 2. Бібліогр.: 17 назв.

UDC 004.9:528

**Development of the method of forming an effective plan of certification training** / V. M. Levykin, K. V. Zybina // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 176. P. 36-42.

The analysis and main shortcomings of the existing methods of personnel planning have been carried out. An advanced method of forming an effective professional development plan is proposed. The advantages of the proposed method are the reduction of time to the formation of an effective training plan, elimination of errors when forming a training plan, taking into account a significant number of additional factors. The proposed method can be applied in small and medium sized organizations.

Tab. 2. Ref: 17 items.

УДК 519.6

**Інформаційна технологія оцінювання тепломасообмінного процесу** / А. Л. Єрохін, Г. А. Зацеркляний // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 43-48.

Розроблені математичні моделі основних варіантів взаємопов'язаного і взаємообумовленого тепломасообмінного процесу у складній системі. Описано структуру інформаційної технології аналізу та оцінювання тепломасообмінного процесу. Встановлено зв'язок між елементами розроблених математичних моделей та елементами опису структур даних інформаційної технології.

Бібліогр.: 4 назв.

UDC 519.6

**Information technology of estimation of heat and mass transfer process** / A. L. Erokhin, G. A. Zatserklyany // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 176. P. 43-48.

Mathematical models of the basic variants of the interconnected and interdependent heat and mass transfer process in a complex system have been developed. The structure of information technology of analysis and evaluation of heat and mass transfer process is described. The connection between the elements of the developed mathematical models and the elements of the description of information technology data structures.

Ref.: 4 items.

УДК 004.652.4:35.076.13

**Проектування розподіленої бази даних системи надання електронних адміністративних послуг** / Т. Г. Білова // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 49-54.

Сформульовано постановку задачі проектування розподіленої бази даних системи надання електронних адміністративних послуг. Запропоновано формальний опис постановки задачі проектування розподіленої бази даних як перетворення моделей послуг в глобальну схему з урахуванням гетерогенності системи. Розглянуто особливості методів обробки даних розподіленої бази даних. Розроблено лінійний адитивний критерій ефективності проектування і якості надання послуг.

Лл. 1. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 004.652.4:35.076.13

**Designing a Distributed Database for the electronic administrative services system** / T. Bilova // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 176. P. 49-54.

The formulation of the task of designing a distributed database of the system of electronic administrative services is formulated. A formal description of the task of designing a distributed database as a transformation of service models into a global scheme taking into account the heterogeneity of the system is offered. Features of data processing methods of distributed database are considered. A linear additive criterion of design efficiency and quality of service delivery is developed.

Fig. 2. Ref.: 9 items.

УДК 004.75

**Моделі шаблонів поведінки агентів мультиагентної системи оцінювання витрат на реалізацію бізнес-процесів** / І.А.Малькова// АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С.54-57.

Обґрунтовано вибір підходу до моделювання шаблонів поведінки агентів мультиагентної системи оцінювання витрат на реалізацію бізнес-процесу. Як формальний апарат моделювання рекомендований апарат теорії предикатів. Розроблено моделі основних шаблонів поведінки агентів мультиагентної системи. Для кожного шаблону визначено правило його використання.

Лл. 7. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.75

**Patterns models of agents behaviour in multi-agent system for estimating the costs of implementing business processes** / I.A. Malkova // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep.Mag. 2019. № 176. P. 54-57.

The choice of approach to modeling of behavior patterns of agents of multiagent system of estimating costs for business process realization is grounded. As a formal apparatus of modeling, the apparatus of predicate theory is recommended. Models of basic patterns of behavior of agents of a multiagent system are developed. Each template has a rule for using it.

Fig. 7. Ref.: 7 items.

---

УДК 004.75

**Методи збільшення швидкості завантаження сайтів** / О.В. Вовк. В.С Кузнецова// АСУ та прилади автоматики. 2019. №. 176. С. 58-61.

Розглянуті основні метрики оцінювання швидкості завантаження сайтів. З врахуванням їх особливостей розроблено метод підвищення швидкості завантаження сайту. Перевагами цього методу є використання технологій зменшення кількості HTTP-запитів, врахування особливостей мобільної версії сайту та процесів оптимізації зображень. Розглянуто практичні рекомендації з виконання основних етапів запропонованого методу.

Бібліогр. 6 назв.

UDC 004.75

**Methods to increase the speed of site downloads** / A.V. Vovk, V.S. Kuznetsova// Management Information System and Devices. All-Ukr.Sci.Interdep.Mag. 2019. №. 176. P. 58-61.

The basic metrics for estimating the speed of site loading are discussed. Taking into account their peculiarities, a method of increasing the loading speed of the site was developed. The advantages of this method are the use of technologies for reducing the number of HTTP requests, taking into account the features of the mobile version of the site and the processes of image optimization. Practical recommendations for the implementation of the main steps of the proposed method are considered.

Ref.: 6 items.

---

УДК 681.5.015:628.21

**Підвищення якості і ефективності функціонування систем водопостачання на основі удосконалення принципів їх проектування** / С.В. Дядюн// АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 62-74.

Проведено аналіз особливостей проектування і реконструкції сучасних систем подачі і розподілу води. Запропоновано удосконалити існуючі методи проектування таких систем за рахунок побудови та використання регулюючих ємностей та імітаційних моделей технологічних процесів функціонування цих систем. Проведено порівняльний аналіз якості та ефективності систем подачі і розподілу води з використанням отриманих результатів дослідження. Наведені переваги використання запропонованих рішень.

Табл. 3. Лл. 3. Бібліогр. 14 назв.

UDC 681.5.015:628.21

**Improvement of quality and efficiency of functioning of water supply systems on the basis of improvement of principles of their designing** / S.V. Dyadyun // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep.Mag. 2019. № 176. P. 62-74.

The features of design and reconstruction of modern water supply and distribution systems have been analyzed. It is proposed to improve the existing methods of designing such systems by constructing and using regulatory capacities and imitation models of technological processes of functioning of these systems. A comparative analysis of the quality and efficiency of water supply and distribution systems was conducted using the results of the study. The advantages of using the proposed solutions are given.

Tab. 3. Fig. 3. Ref.: 14 items.

---

УДК 681.5.015:628.21

Зменшення впливу людських чинників як засіб підвищення якості експлуатації інформаційних управляючих систем / В.І. Шеховцова // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С. 74-78.

Розглянуто основні існуючі підходи до підвищення якості експлуатації інформаційної системи. Як найперспективніший визначено підхід, який спрямовано на створення спеціальних комунікативних систем, які є частиною загальної системи управління експлуатацією ІУС. В рамках цього підходу проведено удосконалення моделі підготовки фахівців з інформаційних технологій університетом на вимоги ІТ-компаній. За результатами моделювання визначено сукупність професійно важливих якостей фахівця з експлуатації інформаційних систем.

Л. 1. Бібліогр. 12 назв.

UDC 378.5

Reducing the impact of human factors as a means of improving the quality of operation of information management systems / V.S. Shekhovtsova // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 176. P. 74-78.

The main existing approaches to improving the quality of operation of the information system are considered. The most promising approach is the creation of special communication systems, which are part of the overall management system of the IMS. As part of this approach, the model of training of information technology specialists by the university for the requirements of IT companies was improved. According to the results of modeling, a set of professionally important qualities of a specialist in the operation of information systems is determined.

Fig. 1. Ref.: 12 items.

---

УДК 519.812.5

**Математична модель адаптації інтелектуальної команди** / Н.І. Калита, С.В. Пономарьова // АСУ та прилади автоматики. 2019. № 176. С.79-83.

Робота присвячена розробленню математичної моделі оцінювання ефективності адаптації окремих членів команди та інтелектуальної команди в цілому. Для формалізації задачі було використано теорію корисності для формування оцінок ефективності адаптації та функціонально-вартісний аналіз для формування критерію оптимальності плану адаптації. Запропонована модель враховує обмеження на час і вартість, необхідні для проведення адаптації, та на якість заходів, які потрібні для адаптації членів інтелектуальної команди.

Бібліогр.: 4 назв.

UDC 519.812.5

**Mathematical model of adaptation of intellectual team** / N.I. Kalyta, S.V. Ponomarova // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2019. № 176. С.79-83.

The work is devoted to the development of a mathematical model for assessing the adaptation effectiveness of individual team members and the intellectual team as a whole. To formalize the problem, utility theory was used to form estimates of adaptation effectiveness, and functional-cost analysis was used to formulate the optimality criterion for the adaptation plan. The proposed model takes into account the time and cost constraints required for the adaptation and the quality of the measures required to adapt the intellectual team members.

Ref.: 4 items.

---



**ПРАВИЛА**  
**оформления рукописей для авторов научно-технического сборника**  
**"АСУ и приборы автоматики"**

Формат страницы — А4 (210x297мм), поля: сверху, справа, слева, снизу – 30 мм. Редактор: Pagemaker 6.0, 6,5 (можно, но нежелательно Word), гарнитура Times New Roman Суг, кегль – 11 пунктов, межстрочное расстояние — 110 %, табуляция — 5 мм.

Объем рукописи – до 10 с. (языки: русский, украинский, английский). Содержание должно отражать актуальность исследования, постановку задачи, цель, сущность, научные и практические результаты, сравнение с лучшими аналогами, выводы.

Структура рукописи: заголовок, аннотация, текст, литература, реферат на украинском и английском языках, сведения об авторах.

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ**

---

УДК 519.713

И.О. ФАМИЛИЯ

**НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ**

---

Аннотация (абзац 5-10 строк, кегль 10) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

Основной текст можно разделять на 2 и более подразделов с заголовками, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

**1. Название раздела**

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и отдельно нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись (текстовая строка, расположенная вне рисунка, кегль 10) под иллюстрацией, как показано на рис. 1.

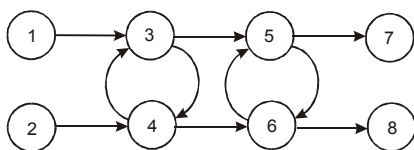


Рис. 1. Граф с контурами

Таблица 1

Ш ar i	1	2	3	4	5	6
$\Phi_1(1,3)$	1	2	2	4	6	1
$\Phi_1(1,4)$	1	2	2	4	4	8

кий символ – 10:

$$F_{i+j} = \sum_{i=1}^{b^k} F_j^i - \prod_{j=1}^{1+h^2} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X^{\Sigma n^k} \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом – без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от кегля, которые рекомендуется опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

Список литературы (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

**Список литературы:** 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника / Под ред. И.О. Фамилия.* Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи / / Название журнала. Название серии. 2000. Т. 00, № 00. С. 00-00 .

*Поступила в редколлегию 00.00.00*

**Фамилия, имя, отчество**, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Адрес, контактный телефон.

Рефераты на украинском и английском языках. Текст аннотации не должен дублировать реферат.

---

УДК 000.000.00

**Назва статті українською мовою / Ініціали. Прізвище // АСУ та прилади автоматики.** 2000. Вип. 00. С. 000-000.

Текст реферату.

Табл. 00. Іл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

UDC 000.000.00

**Title of paper / Initials. Surname // Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag.** 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

#### Представление материалов

Рукопись, реферат, сведения об авторах — в одном файле, *поименованном фамилией первого автора*. Твердая копия материалов – для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, акт экспертизы, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, просп. Науки, 14, ХНУРЭ, комната 254, тел. 70-21-451.

E-mail: [misd@nure.ua](mailto:misd@nure.ua).

Тематика статей, публикуемых в сборнике:

- Компьютерная инженерия
- Математическое моделирование
- Оптимизация и процессы управления
- Автоматизация проектирования и диагностика
- Информационные интеллектуальные системы
- Проектирование интегральных схем и микросистем
- Компьютерные технологии в образовании



Відповідальний випусковий В.М. Левикін  
Редактор О.Є. Неумивакіна  
Комп'ютерна верстка М.В. Євланов, О.Є. Неумивакіна  
Дизайн обкладинки номера за участі Є. Чех

Підп. до друку 21.02.2020. Формат 60x841/8. Умов. друк. арк. .  
Обл.-вид. арк. 10,5. Тираж 300 прим.  
Зам. № . Ціна договірна.

---

Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ).  
Україна, 61166, Харків, просп. Науки, 14.

---

Оригінал-макет підготовлено у редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ.  
Україна, 61166, Харків, просп. Науки, 14.

---

Збірник віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»  
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11  
Тел.: (057) 756-53-25  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
Серія ДК № 4399 від 27.08.2012 р.  
[www.madrid.in.ua](http://www.madrid.in.ua) e-mail: [info@madrid.in.ua](mailto:info@madrid.in.ua)