

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ**  
**ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ім. В.М. ГЛУШКОВА**  
**ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ**

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ**  
**В ЕКОНОМІЦІ**

№ 2 (3), квітень-червень 2015 р.

**Міжнародний науковий журнал**

Заснований у липні 2014 р.  
Виходить 4 рази на рік

**КИЇВ 2015**

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор – **С.О. Довгий**, д-р фіз.-мат. наук, чл.-кор. НАНУ  
Заступник головного редактора – **О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук,  
чл.-кор. НАНУ

### Члени редколегії:

**В.П. Вишневський**, д-р екон. наук,  
акад. НАНУ  
**В.М. Геєць**, д-р екон. наук, акад. НАНУ  
**Л.Ф. Гуляницький**, д-р техн. наук  
**Ю.І. Калюх**, д-р техн. наук  
**Ю.Г. Кривонос**, д-р фіз.-мат. наук,  
акад. НАНУ  
**С.І. Левицький**, д-р екон. наук  
**Р.М. Лепа**, д-р екон. наук  
**В.О. Романов**, д-р техн. наук

**В.А. Пепеляєв**, д-р фіз.-мат. наук  
**В.О. Петрухін**, д-р техн. наук  
**С.К. Полумієнко**, д-р фіз.-мат. наук  
**О.Г. Рогожин**, д-р екон. наук  
**І.В. Сергієнко**, д-р фіз.-мат. наук,  
акад. НАНУ  
**М.І. Скрипниченко**, д-р екон. наук  
**Д.В. Стефанишин**, д-р техн. наук  
**П.І. Стецюк**, д-р фіз.-мат. наук  
**В.О. Устименко**, д-р фіз.-мат. наук

### МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

**О.М. Ведута**, д-р екон. наук, проф., Росія  
**М. Вохозка**, проф., Чеська Республіка  
**Р. Еспехо**, проф., Великобританія  
**А. Крайка**, проф., Польща  
**А. Леонард**, проф., Канада  
**П. Миколайчак**, проф., Польща  
**С.О. Нурмінський**, д-р фіз.-мат. наук,  
проф., Росія

**В.М. Полтерович**, д-р екон. наук,  
проф., акад. РАН, Росія  
**В.І. Суслов**, д-р екон. наук, проф.,  
чл.-кор. РАН, Росія  
**Ю.С. Харін**, д-р фіз.-мат. наук, проф.,  
чл.-кор. НАНБ, Білорусь  
**Г. Ширз**, проф., Великобританія

---

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (протокол № 4 від 12.05.2015 р.)

*Журнал публікує оригінальні та оглядові статті, матеріали проблемного та дискусійного характеру, науково-практичні матеріали з питань математичного моделювання в різних сферах господарювання, інформаційного забезпечення процесу моделювання і прогнозування, розвитку кібернетичної складової і застосування сучасних програмно-апаратних засобів для математичного моделювання.*

### ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЖУРНАЛУ

- Інформаційні технології в економіці
- Математичні та інформаційні моделі в економіці
- Аналіз, оцінка та прогнозування в економіці
- Дискусійні повідомлення

---

#### АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,  
Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України  
Телефони: (044) 245-87-97  
(044) 524-22-62  
E-mail: economconsult@gmail.com

Свідоцтво про реєстрацію  
КВ № 20259-10659 Р від 14.07.2014

Електронна версія журналу в Інтернеті  
[www.mmejournal.in.ua](http://www.mmejournal.in.ua) українською,  
російською та англійською мовами

## ЗМІСТ

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

<b>Ведута О.М.</b> Внутрішньосистемне коригування глобальної економічної моделі .....	5
<b>Бурков С.М., Полумієнко С.К., Савін С.З.</b> Математичне моделювання регіональної мережі Інтернет-економіки...	15
<b>Кряжич О.О.</b> Алгоритмічний базис ситуаційного управління техногенною безпекою.....	28

### МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

<b>Гуляницький Л.Ф., Павленко Г.І.</b> Динамічна задача пошуку найкоротшого шляху з додатковими умовами для задачі побудови маршруту авіаперельотів.....	39
<b>Коваленко О.В.</b> Моделювання міграції тритію в навколишньому середовищі.....	51
<b>Мельникова М.В., Тарасевич О.В., Нестеров Г.Г.</b> Моделювання взаємовідносин між міськими ККП та партнерами (з урахуванням наявної господарської компетенції).....	65

### АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

<b>Качинський А.Б.</b> Індикатор могутності як інтегральний показник безпеки держави.....	75
<b>Дробязко А.О., Любіч О.О.</b> Застосування методів кластеризації до прогнозування фінансової стійкості банків.....	92
<b>Стефанишин Д.В.</b> Обґрунтування економічно оптимального значення розрахункової витрати води малої ймовірності перевищення на водопропускних спорудах з врахуванням ризику.....	104

### ДИСКУСІЙНІ ПОВІДОМЛЕННЯ

<b>Кременовська І.В., Святогор О.А.</b> Визначення реальної вартості «зеленої» електроенергії.....	112
<b>РЕФЕРАТИ</b> .....	119
<b>ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ</b> .....	125

## CONTENTS

### INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

**Veduta E.**

The intrasystemic correction of the global economic model..... 5

**Burkov S., Polumiienko S., Savin S.**

Mathematical modeling of the regional network of the Internet economy ... 15

**Kryazhych O.O.**

The algorithmic basis of situational management of technogenic safety..... 28

### MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

**Hulianytskyi L., Pavlenko A.**

Dynamic problem of finding the shortest path with additional conditions for the problem of constructing flight route airplanes ..... 39

**Kovalenko O.V.**

Modeling the migration of tritium in the environment..... 51

**Melnikova M., Tarasevich O., Nesterov G.**

Modeling the relationship between urban MCE and partners (taking into account existing economic competence) ..... 65

### ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY

**Kachinskiy A.**

The indicator of might as an integral indicator of the security of the state.... 75

**Drobjazko A., Lubich O.**

The application of clustering techniques to predict the financial stability of banks..... 92

**Stefanyshyn D.**

The rationale for cost-optimal values of the design water flow rate low probability of exceedance for culvert structures risk-based..... 104

### DISCUSSION

**Kremenovska I., Svyatogor O.**

Determining the real cost of "green" electricity..... 112

**ABSTRACTS**..... 119

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**..... 125

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 330.101 + 330.532

**E.N. VEDUTA**

### **THE INTRASYSTEMIC CORRECTION OF THE GLOBAL ECONOMIC MODEL**

**Abstract.** The article investigates the strategy and mechanism of the functioning of the modern global economic model. It was proved that the system which was launched during the First World War represents the cyclical economic development by phases of "inflation - deflation and serves to concentrate and centralize global capital. It enhances the development of the global crisis to a global catastrophe. Out of the crisis is the elimination of its first reason - the disproportionality of economic development generated by manual operation, reinforcing the chaos in economic and political processes. Optimization of management decisions requires the introduction of modern IT in the process of calculating productive chains, providing the output of the final products ordered by final consumers (households, the state, exporters). The future belongs to those who will have time to introduce the economic cybersystem based on dynamic input-output model, iteratively matching end consumers and abilities of manufacturers.

**Keywords:** inflation, deflation, disproportionality, fictitious and real capital, economic cybersystem, dynamic input-output model.

### **Introduction**

The book written by Thomas Piketty "Capital in the XXI Century", published in April 2014 in English (the 1<sup>st</sup> publication in French was in 2013) is at the top of the list of the best sellers at Amazon.com. She was recognized as the most striking phenomenon for the last 50 years and a watershed in the history of economical thought [1]. The main conclusion of Piketty that all the economic and political imbalances we face today are the direct consequences of the principles of the Market economy model, which causes the concentration of the capital, belongs to the author of the "Capital" – K. Marx. It is considered that the main discovery of Piketty is the result of the computations that he received from the standard economical model, based on the long statistical arrays for ten developed countries starting from the 18<sup>th</sup> century. They showed the significant advancing growth rates of larger capital over smaller and also the growth rates of redistribution of the national income in favor of 1% of the population - the recipients of the wealth concentration. According to Piketty these processes destroy the main myth of the reasonableness and the justice of the market system, which has a built defect within itself, leading to the wealth concentration.

Not considering the problem of capital concentration on a national level (the USA, Europe, China or Russia), Piketty brings it to the global level. He thinks that the globalization with the export of poverty to the periphery of the world economy and increased production due to lower salaries temporarily put off the military scenario of the crisis solution and aggravate it in perspective. As a result the in-country conflicts generated by the growth of social inequality in society are supplemented by international conflicts. It returns the world to the beginning of the 20<sup>th</sup> century with the repetition of world wars, if not will be found in-system solution combining the wealth and freedom of the individual. In this sense the book of Piketty returns to the discussions of the early twentieth century to solve the problem of poverty.

However, if we follow the author of the book "Capital" – Karl Marx, the reasons for the global economic crisis, as well as of any other economic crisis, are rooted primarily in the disproportionality of public reproduction growth.

It arises in the spontaneously organized economy as a result of the absence of coordination of the connections between the producers over time and space in the direction dictated by the final consumers. The break of the chain productive interconnections gives impetus to the "swelling" of credit relationships between producers and consumers. On the one hand, they are "warm up" the growth of the production but on the other hand they contributing to the unwinding of the various forms of fictitious capital for the financial speculations, further reinforce the disproportionality of the economy. The crisis as a forced balancing of fictitious capital and real capital is going to be unavoidable.

The main goal of this work is to show the basics of the intersystem correction of the actual global economic model which could eliminate the main cause of the crisis – disproportionality of the economic growth.

## **1. Crisis and capital concentration**

In the course of the economical crisis, followed by a depreciation of shares and other forms of fictitious capital, the process of concentration and centralization of real capital is accelerating which means the absorption of the small capitalists by the large ones. The competition is increasingly forced to give way to the monopolies that are fighting for domination over the global market. The acute form of periodical process is replaced by more protracted, chronic form which affects different countries at different times. Thus, during the infancy period of the world trade the 5-years cycle (1815 - 1847) took place. Then it was replaced by the 10-years cycle (1847 - 1867). "I wonder if we are in a period of preparation to the new world crash of the unheard-of power? The colossal growth of the means of communication - ocean liners, railways, electric telegraphs, the Suez Canal - created a truly global market for the first time. Besides England, which had previously monopolized industry, a number of competitive industrial countries acted ahead; the investments of the excess capital in all the European countries received the fields more extensive and diverse in all the cardinal directions, so that the capital was distributed much more widely, and local speculation were overcome more easily. All this means that most of the old seats of crisis or the causes for the crisis were eliminated or weakened greatly. At the same time the competition in the domestic market retreats in the face of the cartels and trusts, while in the foreign market it is limited by the customs duties, which all the big industrial countries, except England, use to protect themselves. And all these duties

are nothing but the weapons for general industrial war, which will solve the question of dominance in the global market. So each of the elements opposing the reiteration of the old type crisis holds the germ of much more grandiose future crisis". – Friedrich Engels[2].

The conclusion about the inevitability of the protracted and, at the same time, more large-scale disruptions caused by crisis development of civilization, confirms the whole story of the 20<sup>th</sup> century, characterized by the dominance of transnational corporations (TNCs), owned by the world (supranational) financial oligarchy.

In the conditions of the expanding cyclical disproportionate economic development the essential tools for the centralization of all the global capital and the establishment of the total financial dictatorship are:

- the general chronic inflation that redistributes the income and property in favor of the transnational corporations and reinforces the social inequality;

- the international monetary systems based on the unsecured reserve currencies of the "selected" countries, where the TNCs are situated, and these currencies are exchanged under the guise of the foreign investments for the real values of so-called "developing" countries whose currencies are not "selected";

- the institutional reforms financed by the "selected" currencies having their aim to increase the chaos in the state (intergovernmental) management, leading to the increase of bureaucracy, corruption and illegal actions and then developing into open military operations;

- the monetary and institutional ideology, based on the assumptions of superiority of law over economy and the possibility of overcoming the crisis only by the monetary methods, which in reality means the service of the further intensification of the crisis.

The First World War, organized by TNCs, gave a stimulus to the replacement of the gold coin standard system by the banknote and paper money circulation. Since the beginning of the 20<sup>th</sup> century this allowed the states to pursue the economic policy according to the phases of the cycle "inflation - deflation" in order to centralize the global capital and build the global financial power pyramid. The cyclicity "inflation - deflation" is served by the theorists similar to "Keynes – Friedman" and the parties similar to "Labourites – Conservatives".

During the wartime the government of the belligerent states financed the military expenditures by the issue of paper money which cannot be changed into gold and the government securities that served as a pledge for the issue of bank notes. The availability of a huge short-term debt forced the government to refinance their loans by issuing new treasury bonds to replace those whose term had expired. The monetary circulation was expanding not only because of rising budget deficits, but also due to the growth of monopoly prices. From the first moment the wage-labor workers were at a disadvantage in the process, since they demanded a wage increase right after the increase of prices. Since its growth always lagged behind the price increase, in the conditions of inflation, the ratio between the share of wages and the share of profits in the national income is changing in favor of profits. The artificial overstating of prices, reducing the real consumption of the non-monopolists, inevitably leads to the crisis of overproduction, in which TNCs are buying up the assets for a song.

The swift inflation caused by an acute increase of the military expenditures and the monopoly prices for military production ordered by government, was justified by the presence of an external enemy and the need for the economic recovery of the state after war. However, having regard to the possibility of a

marked aggravation of the social situation in the TNCs home countries, the government was interested in deflation (or slow inflation) that could lead to the financial stabilization and the adjustment of the foreign trade. The international monetary systems based on the key reserve currencies of the Western countries were created. Today such currencies are the US Dollar, Euro, Pound Sterling and Yen.

To carry out the deflation process the governments reduced the deficit financed by tax increase, decrease of social costs and the wage freeze, which caused the rise of the social stratification. During that period, the Central Bank sold government securities to the commercial banks on the open market, raised interest rates, rate of mandatory reserves and limited credits, which reduced the investment resources of banks and companies. As a result the economic growth is decreases, unemployment is increasing, the solvency of the population and enterprises is reducing. The interest rates are growing and attracting the foreign capital, which improves the balance of payments.

However, the "sailed up" foreign capital is mostly speculative, promoting the import of inflation and the burden of losses from the disproportionality of the world economy on the capital-importing countries. This was the reason for the fact that the reserve (key) currency of the capital-exporting countries is a profitable product for itself, which costs virtually nothing. The intervention of the currency which has no commodity support means the fictitious capital that "are paid" for the institutional reforms in countries that are importing such capitals. The essence of the recommended reforms comes down, as a rule, to the launch of the chaos in the government management in order to "capture" the property of the capital exporting country and to destroy its competitive industrial production totally, and at the same time to decline the quality of life, to deepen the social inequality, to increase the bureaucracy and corruption.

From the IMF point of view the critical point for the change of the cyclic development phases "inflation - deflation" is the state of the balance of payments. When it is negative, and it is impossible to improve it within the framework of the current economic policy, the IMF demands the change of such policy in order to go to the next phase of the cycle. After the deflationary phase comes the inflationary phase of development that can bring humanity to a new and, perhaps, to the last global war.

## **2. The cycles and the disproportionality of the world economy**

The permanent crisis development of the world economy in 20<sup>th</sup> – 21<sup>th</sup> centuries by the phases of the cycle "inflation - deflation" leads to the increasing economic chaos, acute stratification of rich and poor countries, local wars and global catastrophe. It is doubtful whether such a course of events is more preferable than a deflationary development. However, the continuation of deflation against the background of the destruction of the global strategic stability will be accompanied by a decrease of the opportunities to influence the process in the dependent states from the side of TNCs, their international economic organizations and the Western countries, but such situation cannot continue for the arbitrarily long time [3].

In accordance with the cycle phases "inflation - deflation" we can single out the following periodization of the history of the 20<sup>th</sup> century:

– 1914-1920 – destruction of the gold coin standard and launching of the rapid inflation in the countries - participants of the First World War;



– 1920-1933 – creation of the gold bullion and the gold coin standard and the transition to this standard of the participants of the First World War through the deflation finished with the acute phase of the global economic crisis in 1929-1933;

– 1933-1950 – launch of the moderate inflation in the United States, Britain, France and rapid inflation in the USSR, Germany, other European countries, that finished after World War II by the creation of the bipolar world with two types of international monetary relations - the Bretton -Woods system based on the gold and the US dollar, and the Council of Mutual Economic Assistance of the countries that had chosen a planned model of the USSR;

– 1950-1975 – Cold War, accompanied by the increasing inflation in the Soviet Union and reforms destined to dismantle its system, by the launch of global inflation through the US dollars, by the creation of the world's loan market (Euromarket), Fordist regime of accumulation in Western Europe (the identical rate of growth of the real wages and labour productivity), that finished with the structural economic crisis after the first oil shock;

– 1975-1991 гг. – the rapid development of the Euromarket due to the crisis of solvency in the developing countries, the transition to the market determination of the exchange rates and the coordinated policy of the Western countries of fictitious capital for the launching after the second oil shock, speculative financial instruments and the integration of their financial markets to the Euromarket intended to "capture" the capital of collapsed Soviet Union and its former allies;

– 1991-2008 – integration of the developing countries into the pyramid of Euromarket by means of the financial crises and the currency devaluations, the outflow of the speculative capital back to the "homeland" in the United States, which led to the mortgage crisis through the boom of mortgage and consumer lending, and then, after a rapid reduction in price of oil to the fall in the shares of the commodity companies in the developing countries;

– 2008 – up to the present, when we face the recession, characterized by the negative dynamics of growth of the world GDP, the unprecedented increase in unemployment, money emission of the reserved (key) currencies of the US, UK, EU and Japan jointly implementing the programs of the quantitative alleviation (hidden inflation) and by tightening up the IMF demands for the implementation of the austerity programs in the countries of the economic periphery.

Today, the volume of global stock market has exceeded 10 times the total annual product, the US national debt exceeded the national GDP, while in the developed countries of Europe it came close to 90% of GDP [1]. The continuation of politics of world inflation, conducted by the leading countries, launched during the First World War and the tightening austerity demand to the other countries (Ireland and Greece have also been included into this list) means the prolongation of the redistribution of the common "pie" in favour of the global financial oligarchy. Taking into account that the "pie" began to decline, and the growth of unemployment and population continues, the existing global model of the economy increases the risks of wars and revolutions.

Two World wars and the Cold War, which ended the collapse of the Soviet Union, led to a the unipolar world headed by United States whose currency is the basis of the current international monetary. The further conducting of the strategy "inflation-deflation" has different consequences for countries (exporters and importers of capital). The crisis gives benefits to the world capital which captures "under the guise" assets and, on the other hand, to the leaders of the dependent countries, who enrich themselves by the new influx of speculative capital for

institutional reforms, reinforcing the chaos in the country. Different scenarios could be possibly performed. But finally all of them are fatal to everyone. If during the period of financial stabilization the capital exporting states may temporarily improve their positions by shifting the load of instability on the capital importing states, the subsequent transition to inflation will cause greater instability and threats of military actions in these countries too. The world community has to get out of this cycle. Otherwise, the world will plunge into chaos. The only way for our civilization is to eliminate the main cause of the crisis - the economy disproportionality [3].

Almost all modern western researchers do not pay attention to the root cause of the crisis - the disproportionality of the economy. That is why, associating its origin with the cyclic recurrence of economic development, they are trying to find an answer to the question "What to do?" in the application of the same monetary methods, which redistribute income and property, and in the institutional reforms related to the reorganization of tax and customs systems, financial markets, international financial institutions and others. According to Piketty, there are three periods from a position of the so-called middle class formation in the history of the XX century - from the First World War till 1950, then till 1970, and then till 2010. He saw a prosperous period of 1950 - 1970 associated with the appearance of the middle class and the correction of the basic market model that was also caused by the existence of the Soviet Union. Therefore, his proposal has been reduced to the introduction of a global tax on wealth in order to increase the purchasing power of the majority of citizens, which practically impossible to do because of the differentiation of the legal and tax regimes in various countries. Moreover, if the problem of the economy disproportionality will not be eliminating, its "swelling" and the concentration of capital will continue.

Historical experience shows that to prevent the approaching catastrophe the significant strengthening of the government role in the economy is required. Than heavy crisis, the role of the state in the economy needs to be stronger.

### **3. The way out of the crisis is integration of the cybersystem based on a dynamic interbranch balance model into the global economic model**

At the moment there is no country in the world that has any plan as an algorithm of actions for recovery from the global crisis. Some attempts to solve the problem of proportionality of the economic development were made by the USSR. The Soviet experience shows that due to the management of the economy, based on strategic planning, the winning country in the Second World War became the leading power in the bipolar world, reached the greatest achievements in science, education and culture. However, to return to the old Soviet State Planning Committee (Gosplan), that operated in a manual mode, is impossible. To return to the Gosplan, that supported prevailing production in the manual mode by the balance calculations, we have to return to the Soviet Union and all its interbranch relationships. This problem cannot be solved only by the monetary methods of economic regulation. Thus, today, the activity of the Central Bank of Russia which, according to experts, overrates the interest rate, is the subjected to the great criticism. The scientific community of Russia, admitting the necessity for introduction of the strategic planning of the economy, limits itself with the enumeration of the same monetary "anti-crisis" measures with the proposals for the inflation launch in order to support the military-industrial complex. Such proposals are fully fit into the global crisis

economy development with the cycle phases "inflation - deflation", and in this connection we have already a real threat of a large-scale military solution to the crisis.

In the world where TNCs are dominating, the chaos becomes stronger on the territories of all countries. Thus, the increase of sanctions from the Western countries forces Russia to take the course to the policy of import substitution. For its realization in practice it is necessary to calculate the production chains that can ensure the manufacture of the final product substituting import. It requires a transition from the chaos of manual control, reinforcing bureaucracy and corruption, to the automated management system of the economy (economic cybersystem) which can optimize managerial decisions to ensure the proportional development of a mixed economy in the right direction. This transition considers the state as a single corporation, based on the mixed economy and realizing a new global economic project - implementation of the cybersystem into the public administration to support the proportionality of the economy development in the direction of cultural, scientific and technological progress of society.

The management of the economy system is characterized by the hierarchy in time (periods) and in space (executors). In the management of production the following types of management can be distinguished: 1) co-ordination – to answer the question: what should each link do to achieve the goal; 2) stimulation, responding to the question of how to influence each link to achieve this goal. The subject of management science (Economic Cybernetics) is the managing information processes. Management as a stimulation should be subordinated to coordination. Otherwise, the development management of the object turns into manipulation of human behavior [4]. The responsible leaders often speak about the negative consequences of such attitude such as the duplication of researches, impossibility of introducing the new technologies and complicated equipment due to the absence of required infrastructure, as well as the difficulties of supplying the continuity of production chains for import substitution, and, due to the lack of human resource.

The complicity in coordinating the planned calculations makes the introduction of the cybersystem based on the dynamic interbranch balance model (IBM) developed by the Soviet scientists-cybernetic N.I. Veduta, particular necessary [5]. The structure of the IBM scheme, that answers the purposes of management, is an economic table that systematically correlates the balance of costs and income of producers and consumers. The final consumers dictate to the manufacturers the structure of the order. The task of the manufacturers is to produce the final product, ordered by the final consumers, in the maximum possible quantity with the help of the introduction of efficient technologies. To produce the final product and to introduce the new technologies, the material resources are required, and such material resources, in their turn, must be produced, and so on – this means that the production interrelations chain in the economy, which has its aim to produce the maximum quantity of the final product in a structure ordered by the final consumers, should be calculated. This is the economic planning. If the production capacity is not enough, we have to correct the structure of the order. The iterative calculations of what we want and what we can have to be continued as long as we reach the point of equilibrium or balance of production linkages in the economy. It determines the efficiency of allocation of public productive investment between producers. At the same time the leadership of the country will be able to correct the aims of development in «online» mode,

depending on the specification of production capacity and the dynamics of structure of the final demand, taking into account the requirements of national and global security.

The existing corporate planning models include the system of material, labor and financial balances. The correct solution is found by the iterative calculations till the balanced plan for all types of resources is determined. But this plan will not be optimal. Carrying out the iterative calculations requires a lot of time, which does not allow the control system to respond flexibly to changes in the final demand and in the production capacity in order to supply the coordinated work of all parts of the system in its interests in real-time. Imitating the management process and significantly improving the efficiency of the control system, the cybersystem objectively takes a dominant position in relation to all existing models of corporate planning and accounting.

It is believed that a corporation needs planning, but the planning within the frames of government means the return to the Soviet past. But this is absolutely not true. The absence of the plan on the territory is profitable to the owners of corporations: the governments use inflation, that reduces the real incomes of citizens in favor of the interests of corporations. To increase the quality of life is required to implement the plan, which proportions can be adjusted with regard to the feedback - information on the equilibrium price of the consumer market (we didn't have such information in the USSR). In fact, such a plan becomes a model of the crisis-free competition, because in this situation the state creates conditions for the realization of the following principles:

- proportionality of the economic development in the direction of the dictates of final consumers;
- interest of the producers in developing and implementing new effective technologies;
- significant increase in the flexibility of response of the economic system to the final demand and supply of new technologies.

The coordination by the government (interstate alliance) of actions of TNCs, which are carried out on its economic territory, based on the cybersystem in a mode of sliding planning will support the balanced development of the national (global) economy in the direction that will increase quality of life. In this way, the conditions for the monopolistic producers, absorbing each other in the interests of profit, and for the launch of the fictitious capital with its concentration and the further global catastrophe for everyone, are eliminated. The integration of the cybersystem into the global economic model becomes vital for everyone. Since the TNCs from the economic periphery are primarily interested in it, its implementation in these countries will mean a transition to the multipolar world.

By improving significantly the effectiveness of management decisions the cybersystem, like any other machine, does not have any limits to its improvement. Of course, we can manage spontaneously in the interests of TNCs. In this case there's no necessity in the plan of economic development of the territories. The chaos and the corresponding ideologists are needed - that what we can see now in the major part of the post-Soviet states.

It should be reminded that the importance of science of management is growing in the progressively developing society. By the 50th there was a sharp increase in the number of managers in all countries. Starting from 1961 the United States could keep this rapid growth by the introduction of the automated management systems (AMS). At this time, the Soviet Union only started to develop

them. During the 60th the country was striving to create the AMS rapidly in order to overtake and surpass the United States. But if in the United States the automation of management was applied only at the level of firms, in the USSR the task to create the national automated management system (OGAS) was set for the first time. Its creation could significantly improve the quality of economic management of the country and secure a win of the USSR in the Cold War.

Unfortunately, the project OGAS headed by the academicians of technical and natural sciences, was doomed to failure. Academicians V.M. Glushkov and N.P. Fedorenko formulated the problem of the government as the creation of the uniform system of optimal planning and management on the basis of unified governmental network of computer centres in our country. But, unfortunately, it did not happen because of the unwillingness of the Soviet leadership to admit the primacy of economics, that was able to organize the development of the national production in order to improve people's lives, on their conjunctural interests. The country needed a strong concentration of forces on the creation of the dynamic interbranch balance model, which was to become the core of OGAS.

The failure also befell the famous philosopher and cybernetics St. Beer, who was trying to develop and implement the project "Cybersyn" in Chile with its president Salvador Allende with the aim of overcoming the bureaucracy. The setting of the goal defined the realization of the project through the institutional measures and this determined its failure.

Another negative experience is the introduction of IT for the automatization of present circulation of documents, but not for the management of the object. Today we can see such situation at all levels of management, not only in the post-Soviet space, but also in other countries. The ideological leaders of these processes are the largest international audit and law firms such as «PricewaterhouseCoopers», «Ernst&Young», «McKinsey&Company», providing services in the field of management consulting. The recommended corporate management models provide the centralization of global capital. The modern IT ideologues do not realize or consciously ignore the primacy of problems of automated management system of the object, replacing it by the problem of automation of documents circulation, which causes the chaos in management.

As the corporation becomes larger, it becomes more difficult to solve the problem of coordination needs for products with the possibilities of its production, the more necessary becomes the introduction of IT. During the Soviet period the GOSPLAN did not have such a model to respond flexibly to the changes in final demand (including the equilibrium price in the consumer market, which had been switched off in the Soviet Union for the political reasons), as well as to the appearance of new technologies. That is why there was stagnation, but not a breakdown. By the way, today the US Treasury is trying to make the fuel and energy balance with the help of iteration methods when it allocates the financial support to the Energy industry (fuel and energy complex). Future will belong to those who will be successful in implementation of economic cyber systems.

## **Conclusion**

The realization of the proposed economic project is not directed at the subordination of small business to the governmental management, but at its stable development. It should be independent in making its decisions of development. The government coordinates the activity of the monopoly industries in the direction

of improving the lives of people in its territory, including the development of small businesses. The only thing that is required from the government when it makes investment decisions is the information from business about its plans for the future. Small business needs a stable growth of the economy, not the increasing chaos in the country. Otherwise it will be absorbed by the monopolists.

As soon as the society recognizes the importance of a new economic project, the loss will be less. We can remember the experience of the First World War, when the revolutionary change of elites lasted until the introduction of the mobilization model of the "war communism". The model can also be different – either scientific or military. In case of the military mobilization the losses of the country will increase even more.

## LITERATURE

1. Krutakov L. Capital repair/How the success of the book "Capital in the XXI century" by Thomas Piketty can be explained. «Kommersant Vlast' (Коммерсантъ Власть)» journal №8 dd 02.03.2005.
2. K. Marx. Capital. Volume 3. Moscow: The State Publishing House of political literature, 1950.
3. Veduta E.N. The strategy and the economic policy of the state. Moscow: Academic Project (Academicheski Proekt), 2003.
4. Veduta N.I. Economic Cybernetics. Minsk: «Science and technics (Nauka i tekhnika)» publishing house, 1971.
5. Veduta N.I. Socially efficient economics. Moscow: Publishing house of the scientific and educational literature of Plekhanov Russian University of Economics, 1999.

*Стаття надійшла до редакції 25.03.2015*

УДК 51:519.8 + 612.53/59:612.57

**С.М. БУРКОВ, С.К. ПОЛУМИЕНКО, С.З. САВИН**

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ИНТЕРНЕТ-ЭКОНОМИКИ**

***Аннотация.** Рассматриваются проблемы устойчивого развития отдаленных регионов в условиях развития информационного общества на примере Интернет-экономики. Изложены принципы математического моделирования региональных инфокоммуникационных сетей экономико-социального назначения. Рассмотрены проблемы применения теоретико-множественного подхода при построении базовых сетей Интернет-экономики для задач электронной коммерции, оказания удаленных услуг населению на основе новых информационных технологий, современных средств вычислительной техники, глобальной информационной среды.*

***Ключевые слова:** развитие, модель, теоретико-множественный подход.*

### **Введение**

Создание систем и сетей социально-экономического назначения является составным и все более необходимым элементом информатизации удаленного региона [13, 14, 17]. Организация межведомственного взаимодействия в рамках Интернет-экономики [8, 10, 20] неминуемо потребует построения специализированной интеграционной региональной инфраструктуры [4, 9, 10]. По сути дела, эта же инфраструктура необходима и для предоставления интегрированных услуг через центральные финансово-экономические порталы или порталы региональных и местных органов власти и бизнес-структур.

В настоящей работе приводятся результаты построения и примеры применения математических моделей для расчета характеристик потоков данных, поступающих в каналы связи и на узлы базовой сети [17] Интернет-экономики (ИЭ). Модели используют результаты формирования структуры базовой региональной сети на каждом этапе и позволяют получить количественные оценки характеристик и показателей качества работы сети для анализа различных вариантов ее структуры [1, 2, 13, 15]. Для удобства практического применения модели объединены в единый комплекс, обеспечивающий согласование отдельных моделей по входным и выходным параметрам, размерности и последовательности применения [1, 5, 18, 19].

Определим основные задачи, решаемые с помощью математических моделей, входящих в комплекс, состав математических моделей и связи между ними.

### **1. Задачи комплекса математических моделей**

Для формирования структуры сети на каждом этапе требуется вычисление определенных выше характеристик, в зависимости от исходных данных для этапа.

Для расчетов характеристик разработаны математические модели, которые объединены в единую систему (комплекс), обеспечивающий согласование результатов расчетов по различным моделям, возможность комплексного автоматизированного расчета характеристик сети на каждом этапе.

Основными задачами комплекса математических моделей является вычисление характеристик сети (каналов связи и узлов), необходимых для принятия решений при формировании структуры базовой сети. Комплекс математических моделей должен обеспечить расчет следующих характеристик каналов связи и узлов базовой сети:

– для каналов связи (I): суммарные интенсивности потоков данных, передаваемых по каждому каналу связи; суммарные интенсивности потоков данных между пользователями каждого типа, передаваемые по каждому каналу связи; суммарные интенсивности транзитных потоков данных, передаваемых по каждому каналу связи; интенсивности потоков данных от каждого узла сети, передаваемых по каждому каналу связи; интенсивности потоков данных между узлами сети, передаваемых по каждому каналу связи;

– для базовых узлов сети Интернет-экономики (II): суммарная интенсивность потоков данных между узлами сети; суммарная интенсивность потоков данных между узлами сети, передаваемых различными типами пользователей; суммарная интенсивность потоков данных, поступающих на каждый узел; суммарные интенсивности потоков данных между пользователями каждого типа, поступающие на каждый узел; суммарная интенсивность транзитных потоков данных, проходящих через узел; интенсивности потоков данных, поступающих на каждый узел от всех узлов сети; интенсивности транзитных потоков данных, поступающих на каждый узел от всех узлов сети; интенсивности потоков данных, передаваемых между узлами сети и поступающих на каждый узел сети.

Кроме того, необходимо вычисление величины затрат на формирование и эксплуатацию сети как функций от перечисленных выше характеристик. Вычисление названных характеристик необходимо для решения задач формирования структуры базовой сети, определенных в [1, 9]. При этом характеристики вычисляются для заданного набора параметров сети и для заданного варианта структуры сети. Для описания и построения моделей ИЭ в [1, 2] был принят ряд определений: канала связи; потока данных между узлами  $i$  и  $j$ ; маршрута передачи данных между узлами; потока, поступающего в канал связи; транзитного потока, передаваемого по каналу связи; потока, поступающего на узел; транзитного потока, поступающего на узел связи.

Введенные определения транзитных каналов и узлов сети и вычисляемые значения суммарных интенсивностей транзитных потоков через узлы и каналы связи позволяют более полно оценить качество сети, поскольку транзитные потоки вносят избыточность в нагрузку узлов и каналов связи.

Заметим, что поскольку рассматривается процесс поэтапного формирования сети, то введенные в определениях обозначения можно относить к конкретному этапу. В этом случае они индексируются нижним индексом, равным номеру этапа.



## 2. Применение комплекса при решении задач формирования базовой сети

Комплекс обеспечивает решение частных задач на этапах формирования базовой сети до тех пор, пока не будет решена общая задача. При решении частной задачи в любой из возможных постановок комплекс математических моделей ИЭ должен обеспечить последовательное вычисление характеристик базовой сети, перечисленных ранее. При решении частной задачи формирования структуры сети на этапе номер  $r$  необходимо определить параметры потоков данных между узлами и на узлах. Для этого воспользуемся введенными в [1] определениями параметров сети, которые будут использоваться как исходные данные для моделей.

В качестве исходных данных для проведения вычислений нами использованы:

– вектор узлов, которые вошли в состав базовой сети на этапе  $(r-1)$ :

$\mathbf{X}_{1(r-1)} = (x_{1(r-1)1}, x_{1(r-1)2}, \dots, x_{1(r-1)N})$ , определенный формулой (3.3.16) из [1, С.111], - эти узлы, как правило, остаются в составе базовой сети;

– вектор узлов, которые могут войти в состав базовой сети на этапе  $r$ :

$\mathbf{X}_{0r} = (x_{0r1}, x_{0r2}, \dots, x_{0rN})$ , определенный формулой (3.3.2) по [11, С.111] (здесь  $x_{0rk} \geq x_{1(r-1)k}$ ,  $(k = 1, 2, \dots, N)$ );

– матрица распределения пользователей по узлам сети на начало этапа  $r$ :

$\mathbf{M}_{0r} = \left\| m_{0rij} \right\|$ , по формуле (3.3.4) из [1, С.111], где  $m_{0rij}$  - общее число пользователей типа  $j$  на узле номер  $i$  базовой сети на начало этапа  $r$ ,  $(i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M)$ ;

– множество, задающее возможные каналы связи между узлами базовой сети, на этапе номер  $r$ :  $\mathbf{H}_{0r} = \{h_{0rkij}\}$  по [1], где  $h_{0rkij} = 0$ , если между узлами  $i$  и  $j$  на момент начала этапа номер  $r$  нет канала связи от провайдера номер  $k$ , и  $h_{0rkij} = 1$ , если между узлами  $i$  и  $j$  на момент начала этапа номер  $r$  есть канал связи от провайдера номер  $k$ ,  $(k = 1, 2, \dots, K; i, j = 1, 2, \dots, N)$ ;

– матрица интенсивностей информационных потоков между пользователями различных типов базовой сети на этапе  $r$ :  $\mathbf{\Lambda}_{0r} = \left\| \lambda_{0rij} \right\|$ , формула (3.3.8) из [1, С.111]), где  $\lambda_{0rij}$  - интенсивность потока данных передаваемых от пользователя типа  $i$  к пользователю типа  $j$  на этапе  $r$   $(i, j = 1, 2, \dots, M)$ .

Задачу формирования структуры базовой сети ИЭ на этапе рассмотрим как задачу на графе [7]. При этом исходным графом для каждого этапа будет граф, вершинами которого являются узлы, вошедшие в базовую сеть на предыдущем этапе, и узлы, которые могут войти в состав базовой сети на данном этапе. Общее число таких узлов на этапе номер  $r$  равно, как отмечалось выше,  $N_r$ . Считаем, что все вершины исходного графа занумерованы и номер вершины равен номеру регионального узла. Ребрами

исходного графа будут каналы связи, которые были использованы на предыдущем этапе, а также те, что соединяют новые узлы (вершины), которые могут войти в состав базовой сети на этапе номер  $r$ . Для формирования исходного графа используются векторы  $\mathbf{X}_{1(r-1)}$ ,  $\mathbf{X}_{0r}$  и множество  $\mathbf{H}_{0r}$ .

Каждой вершине графа номер  $i$  (узел сети номер  $i$ ) ставится в соответствие ее вес, определяемый с помощью вектора  $(m_{0r1ij}, m_{0r2ij}, m_{0r3ij}, \dots, m_{0rMij})$ , который является строкой номер  $i$  матрицы  $\mathbf{M}_{0r}$ , определенной по формуле (3.3.4) в [1, С.112]:

$$v_{ri} = \sum_{j=1}^M y_j m_{0rij}, \quad (1)$$

где  $y_j$  - весовой коэффициент, определяющий приоритет пользователя типа  $j$  на узле номер  $i$ .

Вес каждого ребра равен стоимости канала связи, если канал необходимо создавать, или величине арендной платы, если канал уже создан. Множество весов ребер задается множеством  $\mathbf{U}_{0r}$ , определенным в [1].

Структура сети на этапе  $r$  формируется следующим образом. Решается одна из частных задач, приведенных в [1, 9]. При этом должны выполняться ограничения для каждой постановки задачи. Каждая частная задача решается путем построения полного или частичного покрывающего дерева на графе, определенном выше. Здесь древовидная структура базовой сети выбрана по следующим соображениям: как обеспечивающая сильносвязанный граф (полносвязанную сетевую структуру) в соответствии с ограничениями для каждого варианта частной задачи; так как существует большое количество достаточно эффективных алгоритмов построения деревьев на графах; описание древовидной структуры матрицами достаточно просто и дает возможность вычислять характеристики базовой сети путем построения необходимых алгоритмов.

Построение покрывающего дерева может проводиться с использованием известных алгоритмов [6, 8]. Задача упрощается, если принять во внимание необходимость сохранения в составе дерева узлов, включенных на предыдущих этапах. Покрывающее дерево задается множеством вершин (узлов) и множеством каналов связи (ребер).

Естественно, что вариантов структуры на этапе может быть несколько, поэтому для каждого варианта проводится расчет параметров и характеристик базовой сети, построенной по этому варианту. Среди нескольких вариантов отбирается наилучший в зависимости от того, какая частная задача используется на этапе.

Таким образом, для решения частной задачи на каждом этапе требуется вычислять параметры и характеристики для варианта структуры базовой сети.

После выбора параметров сети при решении частной задачи и расчета характеристик сети, параметры становятся реальными (реализованными на практике). При этом индексы параметров и характеристик меняются с 0 на 1,

полученные характеристики и параметры становятся исходными для следующего этапа построения сети. Общая схема решения частной задачи с применением комплекса математических моделей приведена на рис. 1.

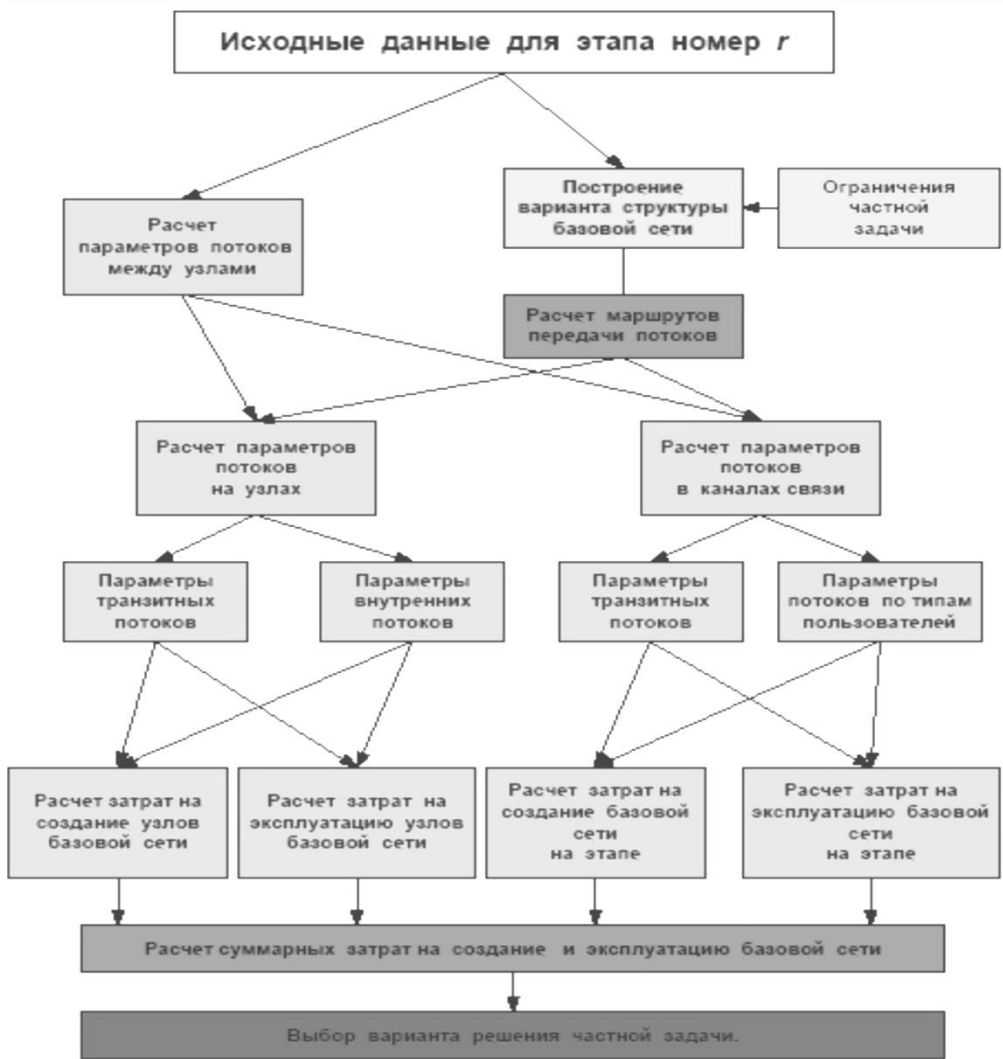


Рисунок 1 – Структура комплекса и схема взаимодействия моделей региональной сети e-экономики

### 3. Решение общей задачи формирования структуры базовой сети

Поскольку целью работы комплекса является поэтапное решение общей задачи, то необходимо установить последовательность действий при решении этой задачи.

Как отмечалось в [1, 6], решение общей задачи формирования структуры базовой сети проводится поэтапно и состоит из последовательности решений, получаемых на этапах. При этом общее решение считается достигнутым, если все узлы региона вошли в состав базовой сети.

В процессе решения базовой задачи решаются следующие вопросы определения результатов на каждом этапе: выбор частной задачи на каждом этапе, что определяет критерии качества решения частной задачи и применяемые ограничения; выбор конкретных значений системы ограничений для каждого этапа; определение объема ресурсов для каждого этапа с учетом возможности накопления неизрасходованных на предыдущих этапах ресурсов; формирование множества провайдеров для данного этапа; определение целесообразности пересмотра решений, полученных на предыдущих этапах.

Решение перечисленных вопросов необходимо перед каждым этапом и позволяет сформировать множество исходных данных для этапа. Поскольку критерии решения задачи на этапах могут меняться, то качество решения общей задачи может быть далеко не оптимальным. В связи с этим важно иметь возможность вычисления величины отклонения полученного результата от оптимального [8]. При этом под оптимальным решением для базовой сети будем понимать структуру сети [21], построенную без ограничений по выделяемым ресурсам (при неограниченных ресурсах). Такое решение может быть получено на любом этапе с учетом изменяющихся условий решения общей и частных задач [5]. Величина отклонения показывает целесообразность продолжения формирования структуры базовой сети с учетом новых условий (новые узлы, провайдеры, технологии), что обеспечивает постоянное развитие и совершенствование сети.

Приведем некоторые результаты построения математических моделей, необходимых для расчета характеристик базовой сети. При расчете параметров потоков между узлами, прежде чем приступить к решению задач формирования структуры сети (частые задачи на этапе), необходимо определить параметры потоков данных между узлами сети. Для этого воспользуемся исходными данными для этапа номер  $r$ . Исходя из определений (II), поток данных между узлами  $i$  и  $j$  на этапе  $r$  -  $P_r(i, j)$  есть суммарный поток данных всех типов пользователей на этих узлах. При этом считается, что узлы с номерами  $i$  и  $j$  входят в состав узлов, которые могут входить в состав базовой сети на этапе  $r$ , т.е.  $x_{0ri} = 1$  и  $x_{0rj} = 1$ ,  $(i, j = 1, 2, \dots, N)$ .

Интенсивность потока  $P_r(i, j)$  вычисляется по формуле:

$$\alpha_{rij} = \sum_{n=1}^M m_{0rin} \sum_{k=1}^M \lambda_{0rnk} m_{0rjk}, \quad (2)$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, N)$$

Справедливость формулы (2) следует из того, что в формуле суммируются интенсивности потоков данных от узла  $i$  к узлу  $j$  от пользователей всех типов, находящихся на узле  $i$ , к пользователям всех типов, находящимся на узле  $j$ .

Отметим, что если в формуле (2)  $i = j$ , то она принимает вид:

$$\alpha_{rii} = \sum_{n=1}^M m_{0rin} \sum_{k=1}^M \lambda_{0rnk} m_{0rik}, \quad (3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N).$$

В этом случае формула (3) позволяет вычислять суммарную интенсивность потоков данных между пользователями, которые подключены к узлу номер  $i$ .

Суммарная интенсивность потоков данных, передаваемых пользователями типа  $m$  узла  $i$  пользователям типа  $m$  узла  $j$  -  $\alpha_{rij}(m)$ , вычисляется по формуле:

$$\alpha_{rij}^*(m) = m_{0rim} \lambda_{0rmm} m_{0rjm}, \quad (4)$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, N; m = 1, 2, \dots, M).$$

Наконец, суммарная интенсивность потоков пользователей типа  $m$ , передаваемых от узла  $i$  к узлу  $j$ , вычисляется по формуле:

$$\alpha_{rij}(m) = m_{0rim} \sum_{k=1}^M \lambda_{0rmk} m_{0rjk}, \quad (5)$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, N).$$

Формулу (5) можно использовать для вычисления множества матриц суммарных интенсивностей потоков данных, передаваемых между узлами базовой сети пользователями типа  $m$ :  $\{\Gamma_{0rm}\} = \{\|\gamma_{0rmij}\|\}$ , где  $\gamma_{0rmij}$  - интенсивность суммарного потока данных, передаваемых по каналам связи базовой сети между узлами  $i$  и  $j$  пользователями типа  $m$ . В этом случае справедливо равенство:

$$\gamma_{0rmij} = \alpha_{rij}^*(m) + \alpha_{rji}^*(m), \quad (6)$$

$$(m = 1, 2, \dots, M; i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, N).$$

Отметим, что из (2) и (5) следует, что  $\alpha_{rij} = \sum_{m=1}^M \alpha_{rij}(m)$ , это соответствует действительности, поскольку суммарная интенсивность всех потоков от узла  $i$  к узлу  $j$  равна суммарной интенсивности потоков от пользователей всех типов на узле  $i$  к пользователям всех типов узла  $j$ .

Формула (2) может быть записана в матричной форме:

$$A_r = M_{0r} \Lambda_{0r} (M_{0r})^T, \quad (7)$$

где  $A_r = \|\alpha_{rij}\|$ ,  $(i, j = 1, 2, \dots, N)$  – матрица интенсивностей потоков между узлами на этапе номер  $r$ , символ  $T$  обозначает транспонирование матрицы.

Таким образом, получены формулы (создана математическая модель) для расчета параметров потоков между базовыми узлами. Результаты расчетов по модели являются исходными данными для проведения расчетов при решении частных задач формирования структуры базовой сети.

#### 4. Расчет параметров потоков данных при заданном варианте структуры базовой сети

Пусть при решении частной задачи на этапе  $r$  сформирован вариант структуры базовой сети. Номер этого варианта  $d$ . Этот вариант представляется в виде множества узлов и каналов связи, соединяющих эти узлы. Требуется вычислить характеристики сети, построенной по заданному варианту, которые определяются формулами из [1]. Для вычисления характеристик сети необходимо вычислить значения параметров потоков данных, передаваемых по сети. Отметим, что параметры потоков зависят от варианта структуры сети. Требуется определить величины следующих параметров.

Вектор суммарных интенсивностей потоков данных на узлах базовой сети для заданного варианта структуры сети:  $\gamma_{1r_d} = (\gamma_{1r_d1}, \gamma_{1r_d2}, \dots, \gamma_{1r_dN})$ , формула (3.3.22) из [1, С.84], где  $\gamma_{1r_di}$  – суммарная интенсивность потоков данных, проходящих через узел номер  $i$  базовой сети, при варианте структуры номер  $d$  на этапе  $r$ . При этом поток на узле будем разделять на две составляющих: транзитный поток, проходящий через узел на другие узлы, и внутренний поток, создаваемый пользователями, присоединенными к узлу (внутренний поток не передается на другие узлы).

Множество матриц суммарных интенсивностей потоков данных, передаваемых по каналам связи между узлами базовой сети пользователями типа  $m$ , для заданного варианта структуры на этапе  $r$ :  $\{\Gamma_{1r_d m}\} = \{\|\gamma_{1r_d mij}\|\}$ , где  $\gamma_{1r_d mij}$  – интенсивность суммарного потока данных, передаваемых по каналу связи базовой сети между узлами  $i$  и  $j$  пользователями типа  $m$ ,  $(m = 1, 2, \dots, M)$ .

Вектор, задающий величины затрат на создание узлов связи базовой сети при заданном варианте структуры, включенных в состав базовой сети на этапе номер  $r$ :  $f_{0r_d} = \{f_{0r_d1}(\gamma_{1r_d1}), f_{0r_d2}(\gamma_{1r_d2}), \dots, f_{0r_dN}(\gamma_{1r_dN})\}$ , где  $f_{0r_dj}(\gamma_{1r_dj})$  – величина затрат на создание узла связи номер  $j$  базовой сети на этапе номер  $r$  при интенсивности суммарного потока данных через этот узел

равной  $\gamma_{1r_d j}$ , ( $j = 1, 2, \dots, N$ ).

Вектор, задающий величины затрат на обслуживание узлов связи базовой сети региона на этапе номер  $g$ :  $\mathbf{f}_{1r_d} = \{f_{1r_d 1}(\gamma_{1r_d 1}), f_{1r_d 2}(\gamma_{1r_d 2}), \dots, f_{1r_d N}(\gamma_{1r_d N})\}$ , где  $f_{1r_d j}(\gamma_{1r_d j})$  - величина затрат на обслуживание узла связи номер  $j$  базовой сети при заданном варианте структуры на этапе номер  $g$  при интенсивности суммарного потока данных через этот узел равной  $\gamma_{1r_d j}$ , ( $j = 1, 2, \dots, N$ ).

В процессе решения частной задачи на этапе  $g$  выбирается оптимальный вариант структуры базовой сети и его параметры, вычисляются характеристики сети для этого варианта. Этот вариант становится окончательным решением для этапа  $g$ .

### 5. Вычисление суммарной интенсивности поступающих на узел потоков

Пусть при решении частной задачи построен вариант покрывающего дерева. Вариант имеет номер  $d$ . Этот вариант зададим с помощью матрицы смежности  $\mathbf{S}_{r_d} = \|\|s_{r_d ij}\|\|$ , где  $s_{r_d ij} = 1$ , если узел  $i$  связан ребром с узлом  $j$ , и  $s_{r_d ij} = 0$ , если узел  $i$  не связан ребром с узлом  $j$ , ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) [13].

Отметим, что не все вершины могут входить в состав покрывающего дерева, а только те, номерам которых соответствуют единичные компоненты вектора  $\mathbf{x}_{0r}$ . Ребра покрывающего дерева выбираются из ребер исходного графа для этапа.

Используя матрицу  $\mathbf{S}_{r_d}$ , можно построить для заданного варианта покрывающего дерева, полученного при решении частной задачи, множество маршрутных матриц  $\{\mathbf{Z}_{r_d n}\} = \{\|\|z_{r_d nij}\|\|\}$ , ( $n = 1, 2, \dots, N$ ). Каждая матрица  $\mathbf{Z}_{r_d n}$  определяет множество маршрутов от узла  $n$  до всех других узлов при заданной структуре сети (для заданного варианта покрывающего дерева). При этом  $\mathbf{Z}_{r_d n} = \mathbf{0}$ , если  $x_{1r_d n} = 0$ , ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), т.е. узел номер  $n$  не входит в состав варианта структуры базовой сети на этапе  $g$ .

Для случая, когда маршрутная матрица для узла номер  $n$   $\mathbf{Z}_{r_d n} \neq \mathbf{0}$ , ( $x_{1r_d n} = 1$ ) имеем:  $z_{r_d nij} = 1$ , если вершина номер  $j$  (узел номер  $j$ ) является, в соответствии с определением 7, транзитной для потока  $P_r(n, i)$ , т.е. при передаче данных от узла номер  $n$  к узлу номер  $i$ ;

$z_{r_d nij} = 0$ , если вершина номер  $j$  (узел номер  $j$ ) не является транзитной для потока  $P_r(n, i)$ .

По сути, каждая строка номер  $i$  матрицы  $\mathbf{Z}_{r_d n}$  есть маршрут от узла  $n$  до узла  $i$ , так что, в соответствии с определением маршрута  $\mathbf{RP}(P(i, j))$  для потока (определение 3), имеем:  $rp_k(P_r(n, i)) = z_{r_d nik}$ . Если узел  $i$

недостижим из узла  $n$  для данного варианта структуры базовой сети, то все элементы строки номер  $i$  матрицы  $Z_{r,n}$  равны 0.

Для построения матриц  $Z_{r,n}$ , ( $n=1,2,\dots,N$ ) можно использовать любой из известных алгоритмов поиска пути на графе [5, 11]. Это следует из того, что для древовидного графа маршрут, связывающий любые две вершины, всегда является единственным.

## **6. Анализ технико-экономических параметров базовой сети Интернет-экономики**

По результатам анализа технико-экономических параметров, влияющих на принимаемые решения при создании и развитии системы ИЭ, можно также выделить факторы, оказывающие определяющее влияние на решение задачи формирования базовой сети:

- как правило, необходимо привлекать ресурсы нескольких провайдеров, поскольку каналы связи одного провайдера не всегда могут соединять все заданные базовые узлы;

- в зависимости от географических особенностей региона требуется использовать различные типы каналов связи;

- коммуникационные центры и узлы необходимо размещать с учетом возможностей провайдеров и возможностей создания каналов связи, а также в соответствии с географическими особенностями региона;

- при эксплуатации сети возникает необходимость смены провайдеров;

- одновременно выделяемые ресурсы на создание базовой сети не дают возможность построить всю сеть полностью, поэтому формирование сети происходит поэтапно, с учетом объемов финансирования на каждом этапе;

- финансирование создания базовой сети на каждом этапе может быть целенаправленным и направляться на решение конкретных задач создания и развития сети, что может вызвать появление дополнительных ограничений и условий при решении задач формирования базовой сети на каждом этапе;

- при формировании структуры базовой сети необходимо учитывать возможности размещения базовых узлов, которые обеспечивают подключение к федеральным ресурсам (провайдерам, каналам связи);

- географические параметры региона меняются со временем (появляются и исчезают населенные пункты-пользователи сети, меняется количественный и качественный состав пользователей, подключаемых к базовым узлам региональной сети).

Эти факторы позволяют выделить специфические особенности формирования структуры региональной базовой сети электронной коммерции, которые заключаются в том, что:

- формирование должно проводиться поэтапно, с учетом выделенных ресурсов на каждом этапе и возможности внесения изменений в уже созданную ранее структуру;

- необходимо прогнозировать и планировать развитие базовой сети и согласовывать планы развития сети с планами развития региона;

- на каждом этапе должна создаваться связанная базовая сеть, обеспечивающая возможность обмена данными всем подключенным к ней пользователям региональной сети, через ресурсы (каналы связи и коммуникационные узлы) базовой сети;



– на каждом этапе должна решаться собственная задача формирования базовой сети, учитывающая специфические особенности данного этапа; базовая сеть должна иметь древовидную структуру, обеспечивающую возможность подключения новых базовых узлов при минимальных изменениях в сложившейся структуре;

– на каждом последующем этапе создания базовой сети число подключенных пользователей системы ИЭ не должно уменьшаться.

При этом и каждый этап создания базовой сети по-своему оригинален, и на каждом этапе (шаге) возможно несколько решений. Поэтому в распоряжении разработчиков и администраторов сети должны быть средства для анализа различных вариантов принимаемых решений, поиска решений, обеспечивающих выполнение заданных требований (ограничений). Специфика формирования структуры региональной базовой системы ИЭ определяет задачи, которые необходимо решить при формировании структуры:

- 1) формирование множества базовых узлов сети;
- 2) поэтапное формирование структуры базовой сети;
- 3) планирование развития базовой сети.

Здесь решение первой задачи предусматривает определение множества точек размещения базовых узлов на территории региона. При размещении базовых узлов предусматривается, что базовый узел обслуживает определенную зону, на которой размещены подключенные через него к системе ИЭ пользователи.

К точкам размещения предъявляются следующие требования: узел должен быть расположен таким образом, чтобы к нему можно было подключать пользователей (корпоративных и локальных сетей пользователей) региона, используя, в основном, средства создания «последней мили»; каждый узел должен быть расположен таким образом, чтобы к нему подходили каналы связи с другими узлами базовой сети и с каналами связи внешних телекоммуникационных систем; каждый узел должен по возможности локализовать трафик обмена между пользователями подключенных к нему корпоративных и локальных сетей; узел должен располагаться таким образом, чтобы обеспечить подключение к каналам связи региональных провайдеров связи.

Таким образом, задача формирования множества базовых узлов решается предварительно, перед началом создания базовой сети, и результатом ее решения должно быть множество точек размещения базовых узлов и требования к параметрам базовых узлов: область ответственности, используемые каналы связи, число обслуживаемых пользователей и объем обслуживаемого трафика. Необходимо отметить, что с развитием региона и системы ИЭ, а также с наблюдающимися в регионах процессами укрупнения и объединения провайдеров возможны изменения в составе и параметрах базовых узлов, что необходимо учитывать при построении базовой сети.

Решение второй задачи предусматривает получение структуры базовой сети с указанием конкретных каналов связи и провайдеров, соединяющих базовые узлы. В силу указанных особенностей формирование структуры базовой сети происходит поэтапно. При этом на каждом этапе, как отмечалось, возможна своя постановка задачи, учитывающая социальные и экономические требования руководства региона, изменения на рынке провайдерских услуг и потребности пользователей.

Решение третьей задачи должно обеспечить формирование требований к структуре базовой сети ИЭ на каждом этапе или после нескольких этапов. Наличие такой задачи обеспечивает постоянное совершенствование сети с учетом изменений в регионе, появлением новых информационных услуг, востребованных пользователями. Первая и третья задачи являются достаточно частными, в максимальной степени привязанными к особенностям региона, и их решение должно базироваться на конкретных данных об экономике региона.

В дальнейших работах основное внимание будет уделено решению задачи формирования структуры региональной базовой сети ИЭ.

## **Заключение**

Реализация проекта базовой региональной сети в области ИЭ и электронной коммерции способна кардинально повысить качество дистанционных услуг, предоставляемых гражданам, проживающих в удаленных регионах. При этом важно осознавать, что новый уровень Интернет-услуг может быть достигнут лишь тогда, когда не только государственные структуры осуществляют трансформирование и совершенствование своих операций и процессов путем интеграции ведомственных информационных систем, включая системы электронного управления движением товаров, финансовых документов и многие другие подсистемы ИЭ, но и региональные телекоммуникационные компании, и бизнес-персонал будут готовы успешно функционировать в сфере новых информационных технологий в экономике.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бурков С.М., Житникова Л.М., Посвалюк Н.Э., Савин С.З. Моделирование региональных инфокоммуникационных систем. Владивосток: Дальнаука, 2009. – 160 с.
2. Бурков С.М., Маркелов Г.Я., Пугачев И.Н. Задачи системного анализа и методология формирования интеллектуальной системы управления транспортным комплексом города // [Вестник Тихоокеанского государственного университета](#). 2013. № 4 (31). – С. 83–90.
3. Бурков С.М., Савин С.З. Развитие дальневосточного информационно-коммуникационного пространства до 2050 г. Хабаровск: ТОГУ, 2013. – 160 с.
4. Бурков С.М., Мазаник Н.Н., Мендель А.В., Терещенко В.Д., Цицулин Е.А., Шоберг К.А. Оптимизация размещения функциональных подсистем и информационных ресурсов в региональной информационной сети с распределенной архитектурой // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления». Хабаровск, 20–24 июня 2013 г. Хабаровск: изд-во ТОГУ, 2013. – С. 53–58.
5. Вагнер Г. Исследование операций. В 3-х т., Т. 1. М.: Мир, 1973. – 360 с.
6. Вишневицкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
7. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978. – 432 с.
8. Курицкий А.Б. Интернет-экономика: закономерности формирования и функционирования. СПб.: Изд-во С.-Петербург. гос. ун-та, 2000. – 232 с.
9. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Мир, 1981. – 323 с.
10. Максиянова Т.В. Место и роль интернет-экономики в экономической науке // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2013. № 1(45). – С. 162–168.

11. Нейман В.И. Структуры систем распределения информации. М.: Связь, 1975. – 264 с.
12. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2000. – 512 с.
13. Полумиенко С.К., Рыбаков Л.А., Савин С.З., Турков С.Л. Информационное моделирование стратегий устойчивого развития региона // Региональные проблемы. Т. 16, №2, 2013. – С. 99–101.
14. Полумиенко С.К., Савин С.З., Турков С.Л. Информационные модели и методы принятия решений в региональных эколого-экономических системах. Владивосток: Дальнаука, 2007. – 356 с.
15. Семенов Ю.А. Сети Интернет. Архитектура и протоколы. М.: Сирин. 1998. – 424 с.
16. Смагин С.И., Михайлов К.В., Кривошеев И.А., Савин С.З. О технологии создания интерактивных информационных систем // Информатика и системы управления. № 1(27), 2011. – С. 115–120.
17. Стогний А.А., Полумиенко С.К., Савин С.З., Турков С.Л. Некоторые эвристические методы моделирования сложных эколого-экономических систем // Проблемы создания виртуальных информационных моделей. Владивосток: Дальнаука, 2006. – С. 43–57.
18. Танненбаум Э., Ван Стен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003. – 877 с.
19. Фрэнк Г., Фриш И. Сети, связь и потоки. М.: Связь, 1978. – 448 с.
20. Mann C.L., Eckert S.E., Knight S.C. Global Electronic Commerce: A Policy Primer. Washington, DC: Institute for International Economics, 2000. – 62 p.
21. Modelling and Optimization of Complex System. Berlin: Shpringer-Verlag. 1979. – 293 p.

*Стаття надійшла до редакції 22.04.2015*

УДК 004.942

**О.О. КРЯЖИЧ**

## **АЛГОРИТМІЧНИЙ БАЗИС СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОГЕННОЮ БЕЗПЕКОЮ**

***Анотація.** В роботі наведений аналіз моделей ситуаційного управління та формування поглядів на організацію процесу ситуаційного управління. Обґрунтована необхідність формування алгоритмічного базису на основі процедур управління в ситуаційному менеджменті. Представлена інформаційна модель ситуаційного управління та наведено приклад реалізації алгоритмічного базису ситуаційного управління хімічним підприємством.*

***Ключові слова:** алгоритм, процедури, ситуаційне управління, базис, вплив.*

### **Вступ**

Алгоритм – точно визначене правило дій (програма), для якого задана вказівка того, як і за якою послідовністю це правило слід застосувати до вхідних даних завдання, щоб отримати рішення [1].

Проте вирішення складних практичних завдань потребує застосування деякої сукупності методів і програм, які дозволяють комплексно розглянути проблему і обрати найбільш ефективні алгоритми, підходи, методи для її вирішення. У цьому випадку розглядається не окремий алгоритм, а алгоритмічний базис.

Алгоритмічний базис – сукупність методів і схем розрахунку, алгоритмів, функціональних перетворень, правил вирішення, моделей обчислювальних процесів, стандартних функцій та функцій, що визначаються, виразів, ланцюжків операторів, макросів і т. ін., що складають основу вирішення прикладних завдань [2].

Актуальність даної теми полягає у постійному зростанні потреби здійснювати ситуаційне управління мережею швидкоплинних ситуацій життя країни. Для завдань ситуаційного управління такий базис повинен бути адаптивний, динамічний і в цілому – життєздатний.

Метою роботи є дослідження можливостей щодо побудови алгоритмічного базису ситуаційного управління.

Завдання роботи, що виходять з поставленої мети:

– проаналізувати підходи до формування алгоритмічного базису в контексті процедур ситуаційного управління;

– на основі аналізу поняття, принципів та підходів ситуаційного менеджменту представити інформаційну модель ситуаційного управління.

Дана тематика дослідження виникла в процесі розвитку обчислювальної техніки з метою підвищення її продуктивності і тривалий час була центральною проблемою комп'ютерних наук. Великий внесок в дослідження цієї тематики зробили вітчизняні вчені Є.І. Брюхович [3] та Г.С. Теслер [2]. Для задач обчислювального моделювання деякі розробки алгоритмічного базису запропоновані О.Я. Анопрієнком [4]. Закордонні дослідники з цього питання більш застосовували трансдисциплінарний підхід при вирішенні конкретних прикладних задач. Це більш змістовно показано в деяких роботах

із ситуаційного менеджменту, зокрема в працях І. Ансоффа [5], а також російського дослідника Д.О. Поспелова [6].

## 1. Проблемні питання ситуаційного управління

Стратегічне управління має сенс у тому разі, коли воно реалізоване. Особи, що приймають рішення (ОПР), як правило, на стратегічному рівні обирають загальну концепцію управління, а на ситуаційному, на основі зовнішніх і внутрішніх чинників, що впливають на ситуацію, вирішують питання формування безпосередніх важелів впливу [7], що будуть застосовані на оперативному рівні управління.

Тобто, створюючи будь-яку систему, націлену на підтримку прийняття управлінських рішень, необхідно передбачити забезпечення зазначених рівнів управління з відповідним алгоритмічним базисом підтримки прийняття рішення на кожному рівні. З цього можна зробити висновок, що для систем підтримки прийняття рішень в поняття алгоритмічного базису буде входити не лише те, що зазначене у визначенні [2], а й певна модель управління, що найбільш підходить для цього рівня управління.

З огляду на практику менеджменту, в Європі та США були розроблені та використовуються чотири ситуаційні моделі управління: ситуаційна модель керівництва Фідлера, підхід Мітчела і Хауса «шлях-мета», теорія життєвого циклу Херсі і Бланшара, модель прийняття рішень керівником Врума-Йеттона.

За моделлю керівництва Фідлера вся увага націлена на поведінку ОПР. Факторами поведінки ОПР в процесі прийняття рішень є відносини між усіма учасниками процесу прийняття рішень, структура задачі, що вирішується, та посадові повноваження. Фідлер зазначав, що незважаючи на те, що кожній ситуації притаманний свій стиль керівництва, проте особистий стиль кожного керівника або ОПР залишається індивідуальним. Оскільки Фідлер виходив з припущення, що важко пристосувати свій стиль роботи під конкретну ситуацію, то треба для ситуаційного управління обирати керівника або групу ОПР, які за своїми знаннями та стилем роботи найбільш відповідають ситуації.

За підходом «шлях-мета» Т. Мітчела і Р. Хауса теж пропонується застосовувати ті стилі керівництва, що відповідають ситуації. В основі моделі лежить теорія очікувань, коли виконавців рішення конкретної задачі «підштовхують» до дії за допомогою впливу на шлях реалізації задачі. Головний прийом реалізації поставлених задач до вирішення ситуації – детальне пояснення кроків на шляху до поставленої мети, а також стимулювання виконавців до самостійного вирішення деяких питань.

П. Херсі та К. Бланшар запропонували ситуаційну теорію, яку вони назвали теорією життєвого циклу. Згідно з цією теорією, виконання будь-яких функцій і задач буде ефективним лише при «зрілості» виконавців, керівників, ОПР. Зрілість у даному випадку – здатність нести відповідальність за свої рішення і поведінку, досвід у вирішенні певних питань, освіта тощо. За Херсі та Бланшаром, розуміння зрілості не може бути постійною якістю особи або групи ОПР, а, скоріше, характеристикою конкретної ситуації. Тобто, в залежності від задачі, що виконується, окремі ОПР або групи проявляють різний рівень «зрілості», що і слід приймати до уваги при вирішенні питань ситуаційного управління.

Концентрацію уваги на самому процесі прийняття ситуаційних рішень пропонує модель В. Врума та Ф. Йеттона. Ця модель передбачає врахування участі у прийнятті рішень виконавців поставлених задач. Автори моделі запропонували для оцінки ситуації сім критеріїв, серед яких є оцінка ступеня структурованості проблеми та наявності достатньої інформації, а також рекомендували використання дерева рішень.

Якщо проаналізувати роботу ситуаційних центрів Німеччини, Британії або США, то можна побачити, що в основі їх роботи закладена та чи інша ситуаційна модель з акцентом на адаптивне управління, яке передбачає застосування гнучкого підходу до розв'язання питань в ситуації, що швидко змінюється. Практично це можна представити наступним чином:

– США: середній час розв'язання питання, що поступило у кризовий центр служби 911 складає 7 хв. при нормі швидкості передачі виклику оперативній бригаді 53 сек.;

– країни пострадянського простору: середній час вирішення питання, що отримано диспетчерським центром міліції чи служби з надзвичайних ситуацій складає понад 40 хв., передача виклику оперативній бригаді – від 2 хв.

Такі разючі відмінності обумовлені строго ієрархічною структурою, дублюванням функцій між рівнями управління, авторитарними методами прийняття рішень, слабким програмно-апаратним забезпеченням систем підтримки прийняття рішень з перекосом автоматизації в бік документообігу. Відповідно, і алгоритмічний базис таких систем є не адаптивним, нежиттєздатним за умов швидких змін ситуації та роботи в умовах ситуаційного управління.

Питання побудови алгоритмічного базису ситуаційного управління на основі моделей менеджменту розглядається вперше.

## **2. Процедури управління в ситуаційному менеджменті**

Ситуація має чітко відрізнити міру достовірності та невизначеності інформації, яка отримана із системи моніторингу об'єкта, що вказує на природу ситуаційного управління як управління за станом. З математичної точки зору, рішення тут є похідною від ситуації, що склалася. Зміна ситуації викликає вироблення наступного рішення з урахуванням тієї множини змінних, які характеризують події, що відбуваються.

Особливий погляд на ситуаційний підхід представив у своїй роботі Д.О. Поспелов [6]. Метою ситуаційного управління за Поспеловим є формування інформаційного контексту, на фоні якого протікають процеси організаційного управління. На цій основі концептуальна модель ситуаційного управління в системі управління будується двома системоутворюючими компонентами: ситуаційною моделлю об'єкта організаційного управління та «ситуаційного процесора» [6], під яким розуміється алгоритм виділення та порівняння ознак ситуації.

Ситуаційна модель функціональних процесів об'єкта управління представляється на основі методів проектування інформаційних систем організаційного управління. Це має особливе значення у зв'язку з тим, що виникнення кризової ситуації на об'єкті управління можна розглядати як наслідок того, що було скоєно низку порушень у функціонуванні системи управління. Аналіз загального масиву порушень, які призводять до якоїсь

критичної події, дає підстави стверджувати, що вони поєднуються ознаками належності до динамічної складової складних систем. Для підприємства така динамічна складова – регламент. Для міста чи регіону – коротко- та довгострокові плани розвитку, програми реалізації конкретних заходів. Для країни в цілому це може бути стратегічна програма. Але незалежно від рівня, на якому знаходиться об'єкт управління, кризова ситуація є наслідком недотримання окремих норм динамічної складової управління учасниками ситуації, які спричинили масове порушення правил, тобто, призвели до послідовного ланцюга надзвичайних подій.

Д.А. Поспелов представляє ситуаційне управління як логіко-лінгвістичну модель елементів складної системи конкретного об'єкта управління, де з персоналу системи управління відокремлюються ОПР, що використовують процес мислення для оцінки ситуації. При цьому Поспелов рекомендує застосування «лабіринтної» гіпотези мислення у вигляді прямого перебору варіантів ситуації, або «модельну» гіпотезу з перебором комбінацій ознак. Ситуації визначаються шляхом їх порівняння з основною метою функціонування складної системи, яка визначається як кінцева ситуація, що є результатом управління об'єктом. Рішення у цьому випадку буде виступати як процедура проходження алгоритму, що повинний привести об'єкт управління до докризового стану.

Виходячи із зазначеного, проблема обирання ефективного алгоритму утримує в собі дослідження множин щодо ознак, властивостей та критеріїв. При цьому формування алгоритмічного базису під вирішення конкретної задачі залежить від різноманітності алгоритмів, що представлені у системі підтримки прийняття рішень, масовості набору алгоритмів для виконання різноманітних задач та можливості їх адаптації до умов використання. Як зазначається у [2], останні три таксони є основою класифікації алгоритмічного базису як фактору процесу обчислень. В тій же роботі надане зауваження відносно одночасного аналізу інших базисів створення високотехнологічної інформаційної технології, зокрема організаційного базису, тобто тих моделей ситуаційного управління, на каркас яких встановлюється програмне забезпечення для прийняття рішень і які були розглянуті вище.

### 3. Інформаційна модель ситуаційного управління

Ситуаційне управління передбачає обмеженість набору кінцевих однокрокових процедур управління, з яких складається перелік можливих рішень, бо він залежить від ознак ситуації. Це викликає задачу порівняння ознак поточної та ідеальної ситуації для визначення множини даних, що характеризують лише поточну ситуацію. Це дає можливість отримати інформаційну згортку, яка узагальнює конкретну ситуацію. Тобто, коли об'єкт починає функціонувати за призначенням, його інформаційну модель доповнюють дані про реальне завдання або функцію ( $f$ ), технологію ( $Y_n$ ), ресурси ( $X_n$ ) і поле рішень персоналу ( $Z_n$ ), що використовуються. Будь-яка сфера управління може бути описана рядом параметрів у конкретній точці свого функціонування [8]. Тоді сукупність даних інформаційної моделі об'єкта відповідно до ситуації можна представити у символічній матричній формі (рис. 1), де об'єкт характеризується так:

– ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) – «ідеальний» стан об'єкта управління;

–  $(X_l, Y_l, Z_l)$  – потреби для реалізації конкретного завдання ситуаційного управління;

–  $(X_n, Y_n, Z_n)$  – поточні значення стану системи, на яку націлений ситуаційний вплив.

На рис. 1. використані наступні позначення:  $R$  – критерії ряду, за якими визначається складність моделі;  $x, y, z$  – параметри, за якими досліджуються моделі, що створені відповідно до ситуації на об'єкті.

Багатозначність складових та напрямів аналізу ситуації дає можливість розглядати багаторядний алгоритм на ідеях селективного відбору за принципами самоорганізації моделей. Тоді модель оптимальної складності для деякого об'єкта ситуаційного управління за рисунком 1 може бути представлена наступним чином [9]:

$$w_n = b_0 + by_1 + by_n = b_0 + b_1(bz_0 + bz_1 + bz_n) = b_0 + b_1(bx_0 + b_n(bx_0 + bx_1 + bx_n)), \quad (1)$$

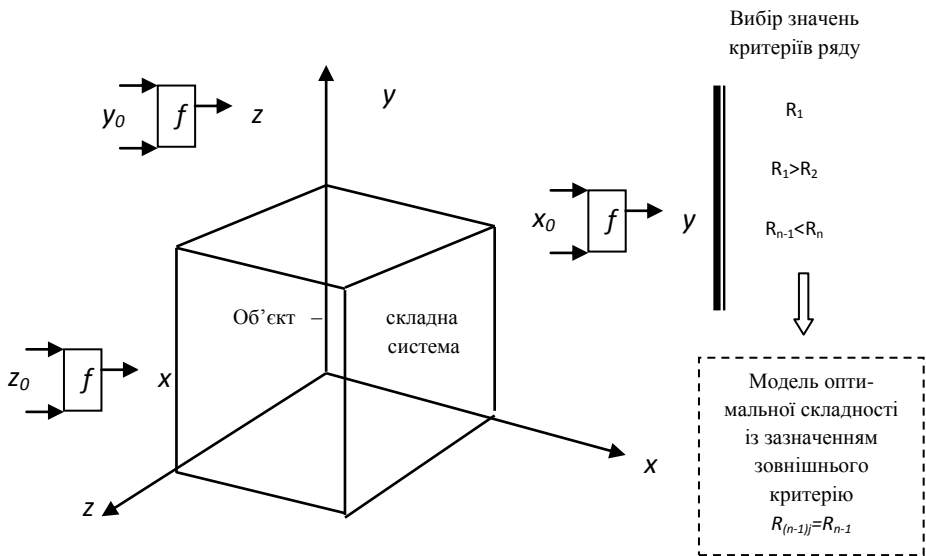


Рисунок 1 – Комплекс даних про об'єкт з багаторядним алгоритмом

Модель (1) можна записати у матричній формі (рис. 2), коли кожний рівень ієрархії управління має свій рівень агрегації інформації в згортку. Системною вимогою для ступеня деталізації та агрегації інформації та її комплексного представлення для кожного рівня є вимога відображати інформаційну згортку системно: по відношенню до системи в цілому, відносно конкретного об'єкта управління, окремого персоналу, що реалізує завдання ситуаційного управління.

Ступінь агрегації інформаційної згортки – за ознаками повноважень ОПР, а ступінь деталізації може бути обмеженим за ознаками обраних проектних обмежень. Кожна позиція матричної символічної форми змінюється від «0» до «1», що символізує стан відповідності даного розділу інформації певним вимогам істини або хибності.



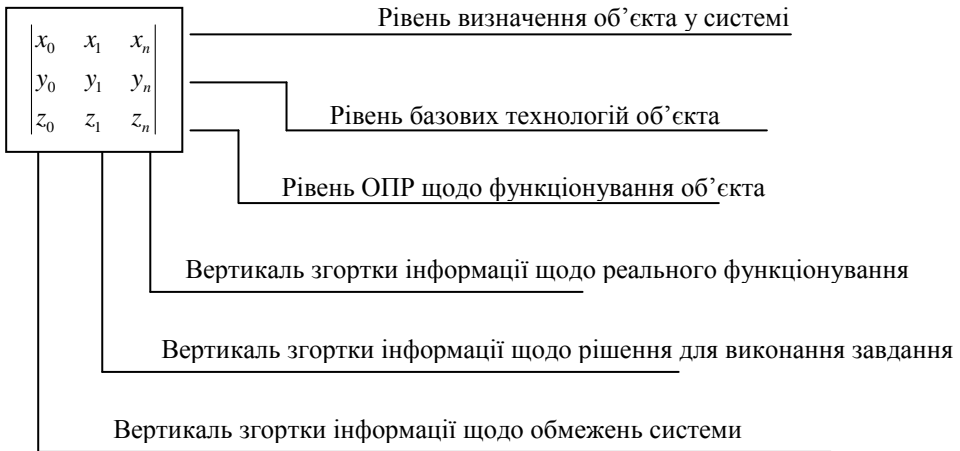


Рисунок 2 – Матрична форма представлення моделі

Очевидно, що за допомогою такої матриці можливо однозначно в символній формі візуалізувати ознаки різних ситуацій на об'єкті. Але, як відомо, ситуація відносно деякої події може виступати також як невизначена, але прийняті рішення в умовах повноти інформації можуть дозволити розв'язати ситуацію за умови «ні, але можливо». У цьому випадку, інформаційна модель ситуаційного управління деякого об'єкта може бути представлена за правилами тризначної логіки за функціями заперечення, кон'юнкції або диз'юнкції [10]. Для цього сукупність даних інформаційної моделі підприємства можна викласти у вигляді:

- функції забезпечення певним набором ресурсів для виконання задач ситуаційного управління  $f(x_0, x_1, x_n)$ ;
- функції, що характеризує об'єкт як носія певних технологій, націлених на задоволення потреб навколишнього середовища  $f(y_0, y_1, y_n)$ ;
- функції, що описує поле рішень ОПР  $f(z_0, z_1, z_n)$ .

Зазначені функції з позицій алгебри логіки можна записати, використовуючи функцію Вебба з визначенням повноти інформаційної моделі в досліджуваному класі подій за теоремою Поста-Яблонського.

Тоді функція ресурсів для виконання задач ситуаційного управління може бути представлена наступним чином:

$$f(x_0, x_1, x_n) = x_0 \vee x_1 \overline{x_1}, \quad (2)$$

а використовуючи послідовно співвідношення:

$$\begin{aligned} \overline{x_0} &= x_0 \downarrow x_0; \quad x_0 x_1 = x_0 \downarrow x_1 \text{ и } x_0 \vee x_1 = \overline{x_0 \downarrow x_1}, \\ \overline{x_0} &= x_0 \downarrow x_0; \quad x_0 x_1 = x_0 \downarrow x_1 \text{ и } x_0 \vee x_1 = \overline{x_0 \downarrow x_1}, \end{aligned}$$

отримуємо:

$$f(x_0, x_1, x_n) = x_0 \vee (\overline{x_1 \downarrow x_1}) = \overline{x_0 \downarrow (\overline{x_1 \downarrow x_n})} = \\ = \{x_0 \downarrow [(x_1 \downarrow x_1) \downarrow x_n]\} \downarrow \{x_0 \downarrow [(x_1 \downarrow x_1) \downarrow x_n]\} \quad (3)$$

Для того щоб система функцій  $f(x_0, x_1, x_n)$  була повною, необхідно і достатньо за теоремою Поста-Яблонського, щоб вона утримувала: функцію, яка не зберігає константу 0; яка не зберігає константу 1; яка не є самодвійста; яка не є лінійною; яка не є монотонною. На підставах критерію повноти можна стверджувати, що досліджувана система є повною. Для інших зазначених функцій записи будуть аналогічними.

Також ресурсну та інші функції, можна представити у вигляді наступної диз'юнкції:  $f(x_0, x_1, x_n) = x_0 x_1 x_n \vee x_0 x_n \vee x_0 x_1 x_n$ .

Згідно з матрицею інцидентності, багаторядний алгоритм самоорганізації моделей буде складатися з підмножини елементів різних ярусів:  $\{x_0, \overline{x_0}\}; \{x_0, x_1\}; \{x_0, x_n\}; \{x_1, x_n\}; \{x_n, \overline{x_n}\}$ .

Проведення розщеплення елементів та повторення підмножин між ярусами призводить до зростання потужності кінцевої множини:

- для ресурсної функції  $X_0 \cup X_1 \cup X_n$ ;
- для функції, що описує систему ситуаційного управління підприємства в цілому  $X_n \cup Y_n \cup Z_n$ .

Потужність кінцевої множини можна пояснити виникненнями синергетичного ефекту – підсилення дії окремих елементів впливу на деякий кризовий об'єкт з метою забезпечення реалізації задач ситуаційного управління. Мовою тризначної логіки це може бути виражене у вигляді запису:

$$f(x, y, z) \Rightarrow x \oplus y \oplus z = x \otimes y \otimes z. \quad (4)$$

Сукупність множин елементів або значення позицій матриці при дослідженні відповідності моделі ситуаційного управління відносно умов комплексності надання інформації за підсумками її обробки корегують за даними постійного моніторингу ситуації, що є стандартним завданням функціонування сучасних ситуаційних центрів.

#### 4. Приклад реалізації алгоритмічного базису ситуаційного управління хімічним підприємством

Основними антропогенними джерелами розростання екологічної кризи в Україні виступають великі промислові комплекси хімічної промисловості. В Україні функціонує 1810 об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 283 тис. тонн сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), у тому числі – 9,8 тис. тонн хлору, 178,4 тис. тонн аміаку. Всього у зонах можливого хімічного зараження від цих об'єктів мешкає близько 22 млн. чол. [11]. Цей факт викликає занепокоєння: адже на території пострадянських держав за останні роки відбулося більше 250 аварій з викидом СДОР, під час яких постраждали понад 800 і загинули 69 осіб. Причому 25% аварій відбулося через експлуатацію устаткування понад

нормативний строк, корозії устаткування й непрацездатність контрольної апаратури. Це викликає необхідність впровадження ситуаційного управління кожним конкретним об'єктом хімічної промисловості.

Ситуаційне управління для хімічного підприємства складає комплекс технологій, які мають свої особливості при застосуванні їх для попередження критичних ситуацій та для ліквідації наслідків аварій. Будь-яка аварійна ситуація на хімічному підприємстві має розвиток у вигляді процесів різної природи, більшість з яких підпадає під дію теорії самоорганізованої критичності.

Основою для формування алгоритмічного базису системи підтримки прийняття рішень для ситуаційного управління на підприємстві хімічної промисловості може виступити модель Врума-Йеттона (рис. 3).

Представлена на рис. 3 функціональна схема процесу побудована стосовно умов хімічного підприємства та особливостей дії систем оповіщення про відхилення параметрів технологічного процесу, моделі відношення шансів, з врахуванням нелінійності розвитку процесу аварії та особливостей взаємодії підприємства з факторами внутрішнього та зовнішнього середовищ.

Алгоритм розпочинається з прийому сигналу про відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних.

Зона I на рис. 3 – зона першого рівня захисту, коли при відхиленні показників відбувається корегування технологічного процесу для запобігання виникненню загрози. Одночасно відбувається передача інформації, яка необхідна для прийняття рішень у випадку залучення наступних рівнів захисту за умов негативного розвитку ситуації. З цієї інформації формується множина подій, яким визначають можливі оцінки  $\Omega$ .

Зона II – зона другого рівня захисту, де з метою недопущення розвитку аварії підключаються різноманітні системи захисту та контролю ситуації. Інформація для формування множини подій для визначення можливих оцінок також передається на рівень III, який вже буде суто рівнем ситуаційного управління.

Слід зазначити, що фактично ситуаційне управління відбувається вже з самого початку розвитку критичної ситуації. Так, поки розвиток подій стримують автоматичні і автоматизовані системи захисту, відбувається прийняття ситуаційного рішення відносно шансів несприятливого розвитку подій і залучення додаткових сил і засобів для локалізації та ліквідації аварії без втрат часу на прийняття рішення: ОПР визначають допустимі оцінки  $\bar{\Omega}$ ; розв'язують задачу вибору найкращої оцінки для кожного ОПР  $\alpha$ . Потім проводиться обробка оцінок та знаходження результуючої оцінки, що і є рішенням початкової задачі оцінювання. У випадку, якщо отриманий результат не задовольняє умовам деякої ситуації A, що може виникнути на хімічному об'єкті, то ОПР за допомогою зворотного зв'язку повторюють процедуру вибору. У підсумку аналізується можливість розвитку ситуації, коли подія A викличе появу події B, наприклад, вибух призведе до пожежі або пожежа викличе розповсюдження хмари токсичних речовин.

У математичному вигляді алгоритмічний базис для рішення описаної задачі може бути представлений алгоритмами спрацьовування систем автоматичних і автоматизованих систем захисту, методами моніторингу критичної ситуації та основною моделлю, в якій прийняті додаткові наступні визначення:  $\varphi$  – обробка оцінок;  $P$  – подія;  $p$  – ознака події;  $\omega$  – міра зв'язку;

$C$  – складна оцінка (множина оцінок);  $\alpha$  – оцінка;  $A$  – подія, виникнення якої може спричинити також і розвиток іншої події –  $B$ .

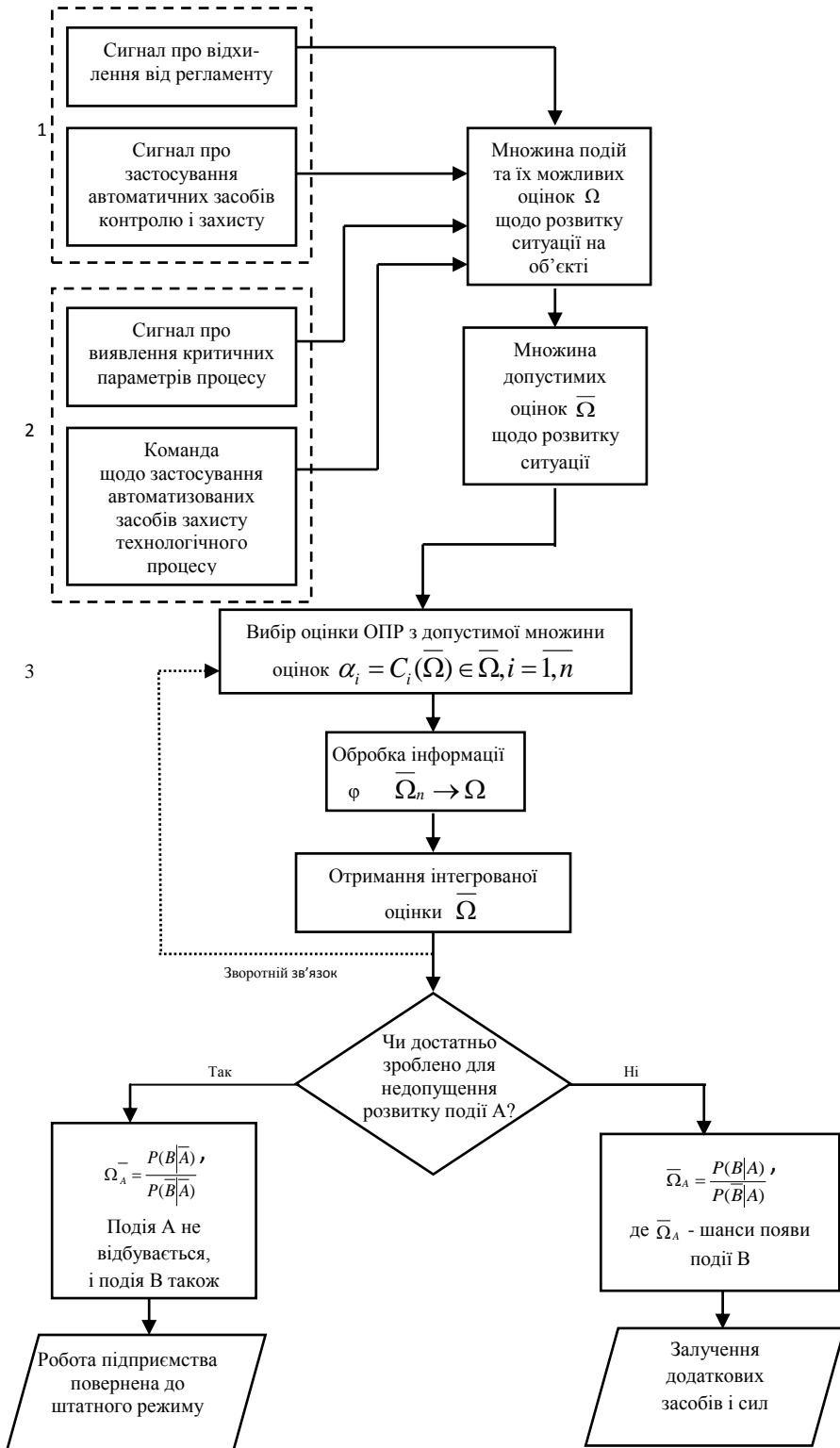


Рисунок 3 – Ситуаційне управління за моделлю Врума-Йеттона

Перший крок – можливі оцінки ОНР визначаються за допомогою задачі оцінювання. Наступним кроком є вибір кожним експертом найкращої оцінки з множини оцінок  $\alpha_i = C_i(\bar{\Omega}) \in \bar{\Omega}, i = \bar{1}, n$  та їх обробка  $\bar{\Omega}_n \rightarrow \Omega; \alpha = \varphi(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ .

У даному випадку (вихід показників технологічного процесу за межі норми) найкращою оцінкою вибору експертів є оцінка появи події  $A$  (пожежі), яка викличе подію  $B$  (вибух з викидом токсичних речовин).

Тому наступним кроком моделі буде визначення шансів появи несприятливої події  $A$  [12]:

$$\bar{\Omega}_A = \frac{P(B|A)}{P(\bar{B}|A)}, \quad (5)$$

де  $\bar{\Omega}_A$  – шанси появи події  $B$  у разі виникнення події  $A$ .

Події за ознаками можна оцінити, виходячи з моделі чотиризначної клітинної таблиці спряженості, та представити як:

$$p(B|A) = \frac{P_{11}}{P_{1.}}; \quad p(\bar{B}|A) = \frac{P_{12}}{P_{1.}},$$

$$\alpha_A = \frac{P_{11} / P_{1.}}{P_{12} / P_{1.}} = \frac{P_{11}}{P_{12}}. \quad (6)$$

Тобто, розвиток пожежі, з урахуванням її нелінійного розвитку, з великою ймовірністю викличе вибух з викидом токсичних речовин.

У випадку, коли подія  $A$  не відбувається, оцінка події  $B$  за аналогічним алгоритмом з визначенням міри зв'язку величин [12]:

$$\omega = \frac{\Omega_A}{\Omega_{\bar{A}}}, \quad (7)$$

за умови актуальності інформації у часі  $t_0 < t < t_k$ .

Сприятливий підсумок ситуаційної моделі – перехід критичної події до роботи в межах регламенту з отриманням інтегрованої оцінки розвитку події для розроблення рекомендацій із запобігання повторенню ситуації.

## Висновки

За підсумками роботи можна зробити наступні висновки:

1. Базуючись на практиці менеджменту Європі та США, були розроблені та використовуються чотири ситуаційні моделі управління: ситуаційна модель керівництва Фідлера, підхід Мітчела і Хауса «шлях-мета», теорія життєвого циклу Херсі і Бланшара, модель прийняття рішень керівником Врума-Йеттона.

2. Проблема обирання ефективного алгоритму утримує в собі дослідження множин щодо ознак, властивостей та критеріїв, а формування алгоритмічного базису під вирішення конкретної задачі залежить від

різноманітності алгоритмів, що представлені у системі підтримки прийняття рішень, масовості набору алгоритмів для виконання різноманітних задач та можливості їх адаптації до умов використання.

3. Представлена інформаційна модель ситуаційного управління для підприємства хімічної промисловості побудована стосовно умов хімічного підприємства та особливостей дії систем оповіщення про відхилення параметрів технологічного процесу, моделі відношення шансів, з врахуванням нелінійності розвитку процесу аварії та особливостей взаємодії підприємства з факторами внутрішнього та зовнішнього середовища. Подібна модель може бути використана для формування алгоритмічного базису ситуаційного управління підприємства хімічної промисловості за умов постійного моніторингу ситуації, що є стандартним завданням функціонування сучасних ситуаційних центрів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Энциклопедия кибернетики: в 2 т. / Под. ред. В.М. Глушкова и др. – К.: Главная редакция украинской советской энциклопедии, 1974. – 1228 с.
2. Теслер Г.С. Новая кибернетика. – К.: Логос, 2004. – 404 с.
3. Брюхович Е.И. Экономическая стратегия разработки вычислительных средств: место и роль счислений // УсиМ. – 1990. – №2. – С. 3–18.
4. Аноприенко А.Я. Эволюция алгоритмического базиса вычислительного моделирования и сложность реального мира // Научные труды Донецкого национального технического университета. Выпуск 52. Серия «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП-2002): Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 6–9.
5. Ансофф И. Стратегическое управление. – М., 1989. – 358 с.
6. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. – 288 с.
7. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М., Савенков О.І. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с.
8. Кряжич О.О. Забезпечення життєздатності інформаційних технологій управління техногенною безпекою при їх адаптації. // Математичне моделювання в економіці. – 2014. – №1. – С. 33–39.
9. Трофимчук О.М., Кряжич О.О. Алгоритмічний базис ситуаційного управління / Інформатика та системні науки (ІСН-2015) : матеріали VI Всеукр. наук.-практ. конф. за міжнародною участю (м. Полтава, 19–21 березня 2015 року) / за ред. О.О. Ємця. – Полтава: ПУЕТ, 2015. – С. 351–353.
10. Кряжич О.О., Коваленко О.В. Застосування трізначної логіки в алгоритмах управління радіаційно небезпечними об'єктами / Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): праці міжнар. наук.-практ. конф., 12–15 травня 2015 р., Київ-Черкаси / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка та [ін.]; наук. ред. В.Є. Снитюк. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – С. 357–358.
11. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>.
12. Качинський А.Б. Засади системного аналізу безпеки складних систем. – К.: ДП «НВЦ «Євроатлантикінформ», 2006. – 336 с.

*Стаття надійшла до редакції 29.04.2015*

# МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.8:519.85:656.7

Л.Ф. ГУЛЯНИЦЬКИЙ, А.І. ПАВЛЕНКО

## ДИНАМІЧНА ЗАДАЧА ПОШУКУ НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ З ДОДАТКОВИМИ УМОВАМИ ПРИ ПОБУДОВІ МАРШРУТУ АВІАПЕРЕЛЬОТІВ

***Анотація.** Розглянута задача пошуку оптимального маршруту мандрівника між заданими пунктами з додатковими умовами на мережі авіасполучень певного регіону. Пропонується і досліджується підхід до розв'язання задачі пошуку шляху між заданими вершинами на відомому графі, що подає схему можливих авіаперельотів, з урахуванням вартості перельоту у залежності від часу. При цьому шлях може формуватися з урахуванням обмежень за часом, вартістю, бажаними або забороненими проміжними пунктами. Для пошуку шляху мінімальної вартості розроблено і досліджено спеціальний алгоритм оптимізації мурашиними колоніями з динамічним поколінням мурах. Природний паралелізм його обчислювальної схеми дозволяє отримувати і уточнювати отриманий розв'язок із урахуванням змін в умовах перельотів. Подається математична модель задачі, а також опис загальних особливостей запропонованого алгоритму. Для оцінки практичної ефективності алгоритму проведено обчислювальні експерименти, а також порівняння з класичною схемою оптимізації мурашиними колоніями.*

***Ключові слова:** планування маршруту авіаперельотів, динамічна задача пошуку найкоротшого шляху, оптимізація мурашиними колоніями.*

### Вступ

Розвиток та популяризація інформаційних і комунікаційних технологій дозволяє збирати інформацію і планувати індивідуальні екскурсійні чи бізнесові маршрути самостійно. За таких умов транспортним перевізникам важливо мати розвинену систему планування маршрутів із урахуванням особистих вподобань користувачів і різних умов подорожі: часу подорожі, видів транспорту для пересування, географії подорожі, бажаних місць для відвідування тощо.

Існуючі сервіси пошуку подорожей (SkyScanner, Kayak, Aviasales, Momondo тощо) дозволяють обирати початковий і кінцевий пункти подорожі для заданого часового періоду і більше орієнтовані на пошук найкоротшого шляху (найдешевшого або найшвидшого) між двома пунктами.

У ряді випадків користувачу бажано поєднати відвідування кількох міст і оптимізувати свій маршрут за часом, вартістю і особистими вподобаннями. Пропонується розглянути задачу планування маршруту подорожі, де відомі початковий, кінцевий пункти і побажання мандрівника. Користувач може визначити бажані проміжні пункти для відвідування, заборонені пункти, часовий проміжок, тривалість, максимальна вартість подорожі тощо. Така задача є різновидом *динамічної задачі пошуку найкоротшого шляху*.

Задача пошуку найкоротшого шляху є класичною задачею комбінаторної оптимізації, яка полягає у мінімізації суми ваг ребер, що складають маршрут між двома заданими вершинами на зваженому орієнтованому графі. Широке застосування задачі у різних галузях людської діяльності сприяє її активному вивченню і дослідженню нових алгоритмів та підходів. У пошукових системах в режимі реального часу нові маршрути повинні бути визначені протягом адекватного часу після запиту користувача [1]. Традиційні методи пошуку оптимального найкоротшого шляху часто не можуть бути використані для застосування в реальному часі через свою обчислювальну складність.

Деякі з перших досліджень були опубліковані в 1958 році, в одному із яких Кук і Хелсі [2] запропонували алгоритм, заснований на динамічному програмуванні з дискретизацією часу. Альтернативними шляхами розв'язання різних варіацій задачі займалися Дрейфус [3], Халперн, Орден і Ром та інші. Складність задачі та її широке застосування в багатьох областях людської діяльності стимулює вивчення різних підходів і методів розв'язання. Велика увага приділяється наближеним методам пошуку, навіяним природою [4]. Вони включають в себе алгоритми оптимізації мурашиних колоній (ОМК), запропонованих Доріго [5, 6], які успішно застосовуються для розв'язування різних класів задач комбінаторної оптимізації, включаючи задачі комівояжера, маршрутизації, задачі про призначення, класифікації тощо.

У даному дослідженні пропонується шукати оптимальні маршрути подорожей, які здійснюються літаками. Розв'язком задачі вважатимемо послідовність авіарейсів, тобто послідовність аеропортів і час відправлення разом із тривалістю зупинок у проміжних пунктах. Варто зазначити, що, наприклад, туристичні маршрути зазвичай будуються з тривалими зупинками у проміжних пунктах. Разом з тим, користувачі прагнуть зменшувати матеріальні витрати на перельоти і іноді можуть нехтувати послідовністю проміжних пунктів, видом авіаліній, зручними стиковками і пересадками в аеропортах тощо. Окрім того, маршрут може бути покращений у вартості при включенні додаткових, не визначених користувачем проміжних пунктів. Інколи користувачеві необхідно виключити з маршруту деякі проміжні пункти, що можуть додаватись для покращення вартості (через візові обмеження, небажання відвідувати деякі міста тощо). Оскільки low-cost компанії часто пропонують авіарейси з великим коливанням вартості за короткий період часу, доцільним є не обмежувати подорож заданими початковою і кінцевою датою, а визначити період і діапазон тривалості подорожі.

Багато прикладних задач із різних сфер людської діяльності (комунікації, транспортних мереж тощо), в яких необхідно оперувати кількома зв'язками між вузлами, адекватно моделюються за допомогою мультиграфів, тобто графів, у яких між вершинами може існувати декілька дуг. У зв'язку зі



збільшенням зацікавленості до динамічного управління транспортними системами постає проблема пошуку найкоротших шляхів на графах великої розмірності (наприклад, дорожньої мережі), де ваги дуг динамічно змінюються з плином часу [7]. Оскільки між аеропортами може існувати кілька рейсів, схема авіаперельотів адекватно подається мультиграфом.

## 1. Детерміновані дискретні динамічні задачі пошуку найкоротшого шляху

Розглядаються основні відмінності між статичною і динамічною задачами пошуку найкоротшого шляху.

Статична задача пошуку найкоротшого шляху між заданими вершинами. Дано граф  $G = (V, A)$ , де  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  – множина  $n$  вершин;  $A$  – множина дуг,  $s$  – початкова, а  $d$  – кінцева вершина. Кожній дузі  $(i, j)$  відповідає вартість  $c_{ij}$ , яка може вимірюватись у матеріальних витратах, тривалості, відстані або будь-якій іншій мірі ресурсних витрат. Метою задачі пошуку є знаходження оптимального шляху (найкоротшого, найдешевшого, найшвидшого в залежності від вимірюваних ресурсів) між однією початковою вершиною і однією цільовою (задача one-to-one), між однією початковою і усіма іншими вершинами (задача one-to-all), між усіма вершинами і однією цільовою (all-to-one). Такі задачі частіше розв'язують методами динамічного програмування [8, 9] або алгоритмом Дейкстри [10] для графів з невід'ємними вартостями дуг.

Динамічна задача пошуку найкоротшого шляху у нашому випадку виглядає так. Дано граф  $G = (V, A)$  з  $\|V\|$  вершинами і  $\|A\|$  дугами, початкова  $s$  і кінцева вершини  $d$ . Кожна дуга  $(i, j)$  характеризується часовою затримкою  $d_{ij}$ , тобто необхідним часом для переміщення з пункту  $i$  в пункт  $j$ ,  $(i, j) \in A$ . Така затримка залежить від часу відправлення з пункту  $i$ . Функція  $d_{ij}(t)$  повертає тривалість переміщення з пункту  $i$  в час  $t$  в пункт  $j$ . Отже, прибуття в пункт  $j$  відбувається в час  $t + d_{ij}(t)$ . В різних варіантах задачі функція затримки може бути неперервною або дискретною, стохастичною або детермінованою. Задача пошуку найкоротшого шляху зі стохастичними затримками може моделювати задачу пошуку найшвидшого шляху у місті з інтенсивним рухом і заторами, тобто коли для деяких проміжків маршруту неможливо точно оцінити час проїзду.

Додатково кожна дуга  $(i, j) \in A$  характеризується вартістю  $c_{ij}$ , тобто відмінним від часу ресурсом – відстанню або ціною проїзду. Для деяких варіантів задачі також вводиться вартість простою у проміжних пунктах  $w_i(t)$ , яка характеризує вартість зупинки за одиницю часу у пункті  $i$  з часу  $t$  по  $t+1$ . Наприклад, очікування в пункті  $i$  з часу  $t_1$  по  $t_q$  дорівнює  $\sum_{z=1}^q w_i(t_z)$ . Метою динамічної задачі пошуку найкоротшого шляху є знаходження мінімальних шляхів за часом (найшвидших шляхів), мінімальних шляхів за вартістю ( найдешевших) або багатокритеріальних найкоротших шляхів у графі  $G$ .

Просторово-часова мережа (time-space network). Для будь-якого дискретного динамічного графу  $G = (V, A)$  можна побудувати просторово-часову мережу (або розширену за часом мережу), де кожна вершина дублюється для кожного дискретизованого часового кроку. Таким чином, потужність множини вершин графу збільшується до  $n\theta$ , де  $n$  – потужність множини вершин  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ ,  $\theta$  – кількість часових кроків для розв’язуваної задачі. Оскільки отримана просторово-часова мережа є статичною, з’являється можливість для поставленої динамічної задачі застосовувати загальні алгоритми пошуку найкоротших шляхів [11].

Властивості FIFO і узгодженості вартості. Динамічний граф є графом FIFO, якщо кожна дуга графу задовольняє властивості FIFO. Дузі  $(i, j)$  притаманна властивість FIFO (first in first out), якщо  $t + d_{ij}(t) \leq (t + k) + d_{ij}(t + k)$ ,  $\forall t, k \geq 1$ .

Властивість узгодження вартості аналогічна FIFO для іншого виду ресурсів, тобто дуга  $(i, j)$  вважається узгодженою за вартістю, якщо при виході з пункту  $i$  вартість шляху менша, ніж при виході з пункту  $j$ .

Чабіні [11] виділив 6 типів динамічних задач на основі шести критеріїв:

1. Задачі пошуку найменших за часом або вартістю шляхів. Для першого типу задач вартістю проходу по дузі є час, в той час як для другого типу – більш узагальнена вартість, яка часто змінюється з часом.

2. Час може бути неперервним або дискретизованим. Дискретизована динамічна мережа може бути подана як статична розширена просторово-часова мережа.

3. Мережі FIFO і non-FIFO. Дрейфус припустив, що загальним алгоритмом Дейкстри можна розв’язувати динамічну задачу, поставлену Куком і Хелсі, так само ефективно, як і загальні статичні задачі. У 1993 році Кауфман і Сміт довели, що це можливо, лише якщо мережа володіє властивостями FIFO.

4. Дозволений або заборонений простій у проміжних пунктах. Якщо розглядати пошук найшвидшого шляху для автомобільних доріг, то простій у проміжних пунктах не є обов’язковим. Якщо ж розглядати подорожі громадським транспортом, то простої на зупинках слід враховувати. Шульц [12] запропонував спосіб розширювати граф з врахуванням простоїв у проміжних пунктах.

5. Кількість початкових і цільових пунктів (one-to-all, all-to-one, one-to-one).

6. Цілочислове або дійсне подання вартостей переходу по дузі. Вартість або час можна подавати у відносних одиницях виміру і використовувати їх для спрощення розв’язання задачі на мультиграфі [13].

Останнім десятиліттям стали розвиватись дослідження класу задач пошуку оптимальних туристичних маршрутів (shortest path tour problem, multimodal trip planner та ін.). Такі задачі включають дослідження пошуку шляхів для комбінації різних видів транспорту [14], задачі пошуку найкоротшого шляху через задані вершини [13, 15], розв’язання задачі комівояжера для динамічного маршруту між заданими пам’ятками [16].

## 2. Математична модель задачі

Дано зважений орієнтований мультиграф  $G = (V, A)$ , в якому між двома вершинами (відповідають аеропортам у відповідних містах) може існувати декілька дуг, що відображають наявність авіасполучення між цими містами, де  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  – множина  $n$  вершин, які являють собою  $n$  пунктів (міст або аеропортів);  $A$  – множина дуг, які відображають наявні авіасполучення.

Між деякими пунктами можуть існувати кілька рейсів від різних авіакомпаній, які відрізняються за вартістю і часом.

Позначимо  $(v_i, v_j)$  множину дуг із вершини  $v_i$  до вершини  $v_j$  (множину рейсів між пунктами),  $v_i, v_j \in A$ , їх кількість  $N_{ij} = \|(v_i, v_j)\|$ , а  $a_{ij}^k$  – конкретну дугу  $a_{ij}^k \in (v_i, v_j)$ ,  $k \in \{1, \dots, N_{ij}\}$  – рейс. Не виключаються випадки, коли  $(v_i, v_j) = \emptyset$  для деяких вершин і напрямів – це відповідає випадкам, коли між відповідними пунктами не існує прямого сполучення.

Проходження по кожній дузі  $a_{ij}^k$  несе витрати у вигляді часових затримок  $\lambda(a_{kl})$  і вартостей  $c(a_{i_k, i_{k+1}}, t)$ .  $c(a_{i_k, i_{k+1}}, t)$  – невід’ємна залежна від часу функція, яка являє собою загальну вартість переходу  $a_{i_k, i_{k+1}}$ . В реальності туристам часто необхідно очікувати наступний рейс у проміжних пунктах або планувати тривалу зупинку у місті. Час очікування у початковій вершині  $v_{i_k}$  дуги  $a_{i_k}$  позначимо як  $g(a_{i_k})$ .

Необхідно знайти оптимальний за вартістю шлях з початкової вершини  $s \in V$  до цільової  $d \in V$  у заданий проміжок часу  $T = [t_{0_{\min}}, t_{0_{\max}}] \subseteq \mathbb{T}$  (припускається, що хоча б один такий шлях існує). Нехай  $t_0 \in T$  – час відправлення з вершини  $s$ .

Шляхом  $x(s, d, t_0)$  із пункту  $s$  у пункт  $d$  називається упорядкована послідовність дуг  $(a_{i_1 i_2}, a_{i_2 i_3}, a_{i_3 i_4}, \dots, a_{i_{w-1} i_w})$ , для якої:

- 1)  $i_1 = s, i_w = d$ ,
- 2)  $a_{ij} \in (v_i, v_j), v_i, v_j \in V, i, j \in \{i_1, i_2, \dots, i_w\}$ .

Якщо прохід по конкретній дузі  $a_{kl} \in A$ , що входить до маршруту і відповідає перельоту із вершини  $k$  у вершину  $l$ , починається в час  $t_{k-1}$ , то прибуття в пункт  $l$  відбудеться в  $t_k = t_{k-1} + \lambda(a_{kl})$ , де  $\lambda(a_{kl})$  – час такого перельоту.

Час подорожі – різниця часу прибуття і часу початку подорожі (час вважаємо фіксованим).

$$t(x) = \sum_{k=1}^{w-1} [t(a_{i_k, i_{k+1}}) + g(a_{i_k})] - t_0, \quad (1)$$

де  $t(x)$  – час проходження повного шляху;  
 $t(a_{i_k, i_{k+1}})$  – час транзиту вздовж дуги  $a_{i_k, i_{k+1}}$  ;  
 $g(a_{i_k})$  – час очікування у початковій вершині  $v_{i_k}$  дуги  $a_{i_k}$  , причому  $g(a_{i_w}) = 0$ .

Вартість шляху  $x$  визначається як  $c(x, t) = \sum_{k=1}^{w-1} c(a_{i_k, i_{k+1}}, t)$ , де  $w$  – кількість дуг у шляху  $x$ .

Метою є знаходження оптимального за вартістю шляху  $x^*(s, d, t_0)$  (або доступних шляхів із урахуванням додаткових умов). Додатково можуть накладатись умови: задаватись обов'язкові для відвідування вершини  $V_{mandatory}$  (2), заборонені вершини  $V_{prohibited}$  (3), максимальна вартість повного шляху  $c_{max}$  (4), максимальна кількість вершин у маршруті  $n_{max}$  (5), тривалість маршруту у часі (6). Варто зазначити, що змінювати міста (вершини) кожного дня необов'язково:

$$V_{mandatory} \subseteq x^* , \tag{2}$$

$$\forall v \in V_{prohibited} : v \notin x^* , \tag{3}$$

$$c(x^* , t) \leq c_{max} , \tag{4}$$

$$\|x^*\| \leq n_{max} , \tag{5}$$

$$t_{min} \leq t(x^*) \leq t_{max} , \tag{6}$$

де  $t_{min}, t_{max}$  – межі допустимого часового проміжку.

Мета динамічної задачі пошуку найкоротшого шляху – мінімізація вартості шляху (7) серед припустимих:

$$c(x^* , t) = \min_{x(s, d, t_0)} \{c(x, t)\} . \tag{7}$$

### 3. Опис методу ОМК

Ідея ОМК [4] навіяна способом розв'язання задач оптимізації за допомогою низькорівневої комунікаційної поведінки співпрацюючих мурах, які шукають шлях між їх мурашником і джерелом їжі. Як і в реальному житті, мурахи починають випадково блукати в пошуках їжі і врешті повертаються до мурашника. Під час прогулянки вони залишають феромонні сліди, які роблять вже пройдений ними шлях більш привабливим для інших мурах, так як їх шанси на успіх у пошуку продовольства зростає. Наступні мурахи обирають маршрути, беручи до уваги кількість залишеного феромону і видиму довжину шляху (відстань між сусідніми пунктами). Однак з часом феромонні сліди випаровуються, таким чином, зменшуючи свою силу

привабливості. Очевидно, короткі і популярні шляхи мають більшу концентрацію феромону, ніж довгі.

Моделювання процесу випаровування в ОМК сприяє уникненню передчасної збіжності до локального оптимуму.

Алгоритм ітераційно створює покоління мурах, які стохастично обирають проміжні пункти і будують маршрут поетапно. Пункт, в який початково поміщається мураха, визначається накладеними умовами задачі. На початковому етапі алгоритму створюються і ініціалізуються матриці відстаней між пунктами, феромонів, задається початкова «краща» вартість маршруту та інші параметри алгоритму. На наступному етапі створюється покоління мурах, які одночасно вирушають зі стартової точки. Кожна мураха з ймовірністю  $p_{ij}^u$  (8) визначає наступний проміжний пункт:

$$p_{ij}^u = \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \in \text{allowed } j} \tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}, \quad (8)$$

де  $\tau_{ij}^\alpha$  – кількість феромону, залишеного на шляху з пункту  $i$  в  $j$ ,  $\alpha \geq 0$  – параметр, який визначає вплив наявного рівня феромону  $\tau_{ij}$ ;  $\eta_{ij}^\beta$  – бажаність переходу  $ij$  в залежності від апріорних знань про відстань (видимість мурахи),  $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ ,  $\beta$  – параметр, який контролює вплив  $\eta_{ij}$ . Після завершення побудови маршруту усіма мурахами поточного покоління, відбувається оновлення феромону:

$$\tau_{ij} := (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_u \Delta\tau_{ij}^u, \quad (9)$$

де  $\rho$  – коефіцієнт випаровування феромону,  $\Delta\tau_{ij}^u$  – рівень феромону (10), який залишила мураха  $u$ :

$$\Delta\tau_{ij}^u = \begin{cases} c_{predefined}/c(x_u), & \text{якщо } (i, j) \in x_u \\ \text{в іншому разі} \end{cases} \quad (10)$$

Тут  $c_{predefined}$  – коефіцієнт, який зазвичай відповідає порядку оптимальної вартості маршруту;  $c(x_u)$  - вартість знайденого мурахою  $u$  маршруту. Якщо покоління виявило розв'язок, кращий за поточний оптимальний, тоді його необхідно оновити. Для різних типів задач існують евристики, тобто апріорні знання, які доцільно використовувати для покращення розв'язання, тому на наступному кроці можуть бути виконані деякі специфічні опціональні процедури – «daemon actions». Після побудови повного шляху мураха звільняє усі задіяні ресурси і губиться.

Якщо умова завершення не задоволена, то створюється нова популяція мурах і починається нова ітерація алгоритму.

#### 4. ОМК для пошуку шляху в динамічному мультиграфі з додатковими умовами

Пропонується алгоритм на основі ОМК для пошуку оптимального шляху у динамічному мультиграфі з додатковими умовами, який працює з дискретизованим часом. В умовах поставленої задачі важливим критерієм є час побудови маршруту. Алгоритм оперує заданою кількістю мурах, а не поколіннями. Класична схема ОМК створює таку ж кількість мурах, як і запропонована.

Під час ініціалізації визначається значення  $c_{predefined}$  додатковою процедурою пошуку припустимого розв'язку мурахою. Якщо за визначену параметром кількість ітерацій на етапі ініціалізації не було знайдено жодного припустимого маршруту з початкового пункту до цільового (без додаткових умов), то алгоритм припиняє роботу і переходить до наступного запиту.

На першому етапі усі дуги, що містять  $V_{mandatory}$  (або цільову вершину), наділяються додатковим значенням феромону  $\tau_{max}$ , всі інші –  $\tau_0$ . Під час вибору проміжних пунктів мурахи оперують дугами, а не вершинами, як у класичному ОМК. Таким чином, алгоритм ефективно справляється з проблемою існування кількох дуг між вузлами.

Як тільки мураха завершує побудову маршруту або її частковий маршрут не задовольняє умовам (2)-(6), мураха губиться і звільняє ресурси. Тому алгоритм не затримує невикористовувані ресурси, як при синхронізації покоління мурах класичної схеми ОМК. Варто зазначити, що на відміну від багатьох відомих алгоритмів ОМК, у запропонованому підході мурахи співпрацюють через постійне оновлення феромону після кожного проходу мурахи (онлайнове покрокове відкладання феромону), а не після завершення діяльності всього покоління. Кількість мурах належить до параметрів алгоритму. Порівняння ефективності класичного і запропонованого підходів подані далі.

Як зазначалося, оновлення феромону здійснюється після кожного вдального проходу мурахи і лише для тих дуг, які належать знайденому маршруту:

$$\tau_{ij} := \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^u, \quad (11)$$

$$\tau_{min} \leq \tau_{ij} \leq \tau_{max}, \quad (12)$$

$$(i, j) \in x_u, \quad (13)$$

де  $\tau_{min}$ ,  $\tau_{max}$  – параметри алгоритму. Випаровування феромону виконується в рамках «дій демона» після кожної  $b$ -ї мурахи для всієї матриці феромонів (14). Така процедура виконується для зменшення операцій над базою даних

$$\tau_{ij} := (1 - \rho)\tau_{ij}, \quad \forall(i, j) \in A. \quad (14)$$

## 5. Результати обчислювальних експериментів

Для дослідження практичної ефективності алгоритмів був проведений обчислювальний експеримент, у якому використовувалися реальні дані, що були зібрані за допомогою парсерів і API сайтів для пошуку маршрутів для подорожування, таких як SkyScanner і Google (QPX Express). Отримані дані включають 15497 рейсів за один тиждень. Відповідно до умов експерименту, необхідно було знайти оптимальний шлях між аеропортом Бориспіль та 113 аеропортами в Європі.

Для наочності, наступні діаграми містять інформацію лише про 50 випадкових цільових міст.

Рис. 1 подає результати застосування динамічного алгоритму з одним поколінням і класичного алгоритму ОМК за часом (в сек.).

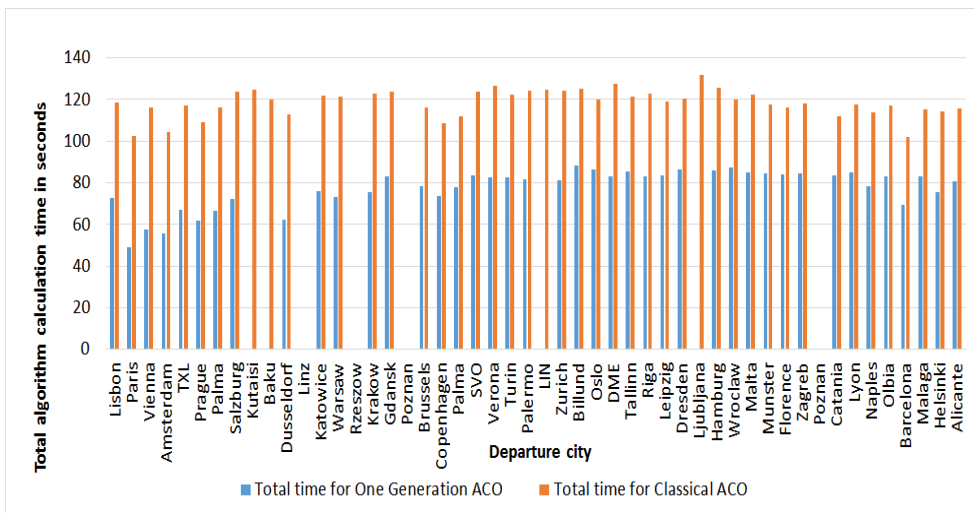


Рисунок 1 – Порівняння алгоритму з одним поколінням та класичної ОМК за часом роботи

Класичний алгоритм виявився у середньому на 31% повільніший від запропонованого. У той же час, запропонований алгоритм не зміг знайти прийнятні маршрути для 25 із 113 цільових міст, в той час як класичний – для 16.

Рис. 2 демонструє результати експерименту для 50 випадкових цільових міст та ілюструє порівняння алгоритму з одним поколінням та класичного алгоритму ОМК за найкращою ціною маршруту (в EUR).

Як бачимо, запропонований алгоритм забезпечує на 16% кращі результати.

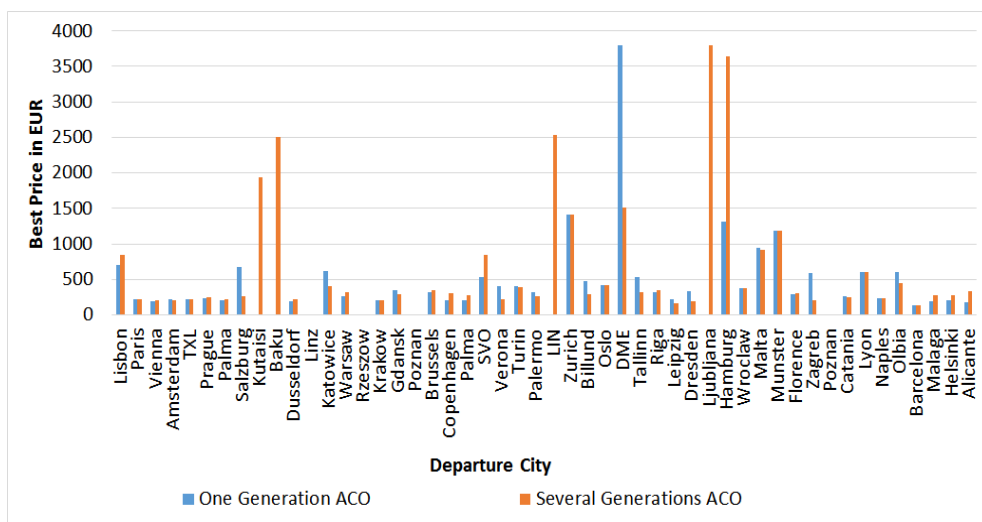


Рисунок 2 – Порівняння алгоритму з одним поколінням та класичної ОМК за найкращою ціною маршруту

Рис. 3 подає залежність результатів роботи алгоритму від кількості мурах.



Рисунок 3 – Залежність між загальною кількістю мурах алгоритму і вартістю знайденого шляху

Табл. 1 відображає параметри алгоритмів ОМК, що використовувались в обчислювальному експерименті.



Таблиця 1 – Параметри алгоритмів

Назва	Значення
Кількість запусків для кожного запропонованого підходу	100
Загальна кількість мурах, що була створена алгоритмом	500
Коефіцієнт впливу залишеного феромону $\alpha$	0.5
Коефіцієнт впливу $\eta_{ij} - \beta$	0.5
Максимальна кількість перехідних вузлів $n_{max}$	10
Розмір покоління класичної ОМК	20
Номер мурахи, після якої починається випаровування в підході з одним поколінням $b$	20
Початкова кількість феромонів $\tau_0$	0.1
Мінімальна кількість феромонів $\tau_{min}$ за дугу	0.1
Максимальна кількість феромонів $\tau_{max}$ за дугу	0.7
Коефіцієнт випаровування феромону $\rho$	0.1
Максимальна кількість ітерацій для виявлення $c_{predefined}$	3000
Початковий аеропорт	КВР

В цілому слід зазначити, що попередні результати вказують на можливість запропонованого алгоритму забезпечити прийнятну якість результатів і значно зменшений час роботи. Проте за таким алгоритмом не завжди можна знайти оптимальні шляхи, які надає можливість отримати класичний алгоритм ОМК.

## Висновки

Робота містить опис і формалізацію спеціальної динамічної задачі пошуку найкоротшого шляху з додатковими умовами. Подано огляд динамічних задач пошуку найкоротших шляхів і аналіз специфіки побудови оптимальних маршрутів авіаперельотів. Через необхідність мінімізації часу роботи у режимі реального часу було розвинено підхід на основі методу ОМК – розроблено оригінальний алгоритм розв'язання динамічної задачі пошуку найкоротшого шляху на мультиграфі підвищеної розмірності, який опрацьовує одне покоління, а процедура вибору наступного проміжного пункту оперує поняттями дуг. Запропонований підхід може застосовуватися до розв'язання задач із додатковими умовами – максимальною кількістю проміжних міст, максимальною вартістю, забороненими і бажаними містами. Алгоритм дозволяє гнучко доповнювати модель додатковими умовами і постійно контролювати допустимість отримуваних розв'язків. Окрім того, використовується додаткове оновлення матриці феромонів по тих дугах, які містять бажані міста.

Отримані попередні результати показують, що запропонований алгоритм забезпечує прийнятну якість результатів і значно менший час роботи – це є дуже важливим при функціонуванні у режимі реального часу. Проте він не завжди знаходить припустимі шляхи, які отримує класичний алгоритм ОМК.

Додаткових досліджень потребує оптимізація параметрів алгоритму, а також порівняння з іншими алгоритмами пошуку. Схема оновлення феромону може бути покращена для роботи з кількома запитами на основі використання вже отриманої інформації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. L. Fu. Heuristic shortest path algorithms for transportation applications: State of the art / L. Fu, D. Sun, L.R. Rilett. – Computers & Operations Research, 2006. – Vol. 33, No. 11. – P. 3324–3343.
2. K.L. Cooke. The shortest route through a network with time-dependent intermodal transit / K.L. Cooke, E. Halsey. – J. Math. Anal. Appl, 1966. – P. 493–498.
3. S.E. Dreyfus. An appraisal of some shortest-path algorithms / S.E. Dreyfus. – Operations Research, 1969. – P. 395–412.
4. Pintea C.M. Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems / Pintea C.M. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. – 188 p.
5. M. Dorigo. Ant Colony Optimization, A Bradford Book / M. Dorigo, T. Stützle. – MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, 2004. – 305 p.
6. M. Dorigo. Ant colony optimization: overview and recent advances / M. Dorigo, T. Stützle. – Handbook of metaheuristics, Springer US, 2010. – P. 227–263.
7. B. Ding. Finding Time-Dependent Shortest Paths over Large Graphs / B. Ding, J. Xu Yu, Lu Qin. – Proceedings of the 11th international conference on Extending database technology: Advances in database technology, Nantes, France, 2008. – P. 205–216.
8. R. Bellman. On a routing problem / R. Bellman. – Quarterly of Applied Mathematics, 1958. – P. 87–90.
9. L.R. Ford. Network Flow Theory / L.R. Ford. – The RAND Corporation, Santa Monica, California, 1956. – 923 p.
10. E.W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs / E.W. Dijkstra. – Numerische Mathematik 1, 1959. – P. 269–271.
11. I. Chabini. Discrete dynamic shortest path problems in transportation applications / I. Chabini. – Transp. Res. Rec, 1998. – no. 1645. – P. 170–175.
12. Schulz F. Timetable information and shortest paths, 2005.
13. I. Bérubé. Time-dependent shortest paths through fixed sequence of nodes: Application to a travel planning problem / I. Bérubé, J. Potvin and J. Vaucher. – Comput. Oper. Res, 2006. – vol. 33, no. 6. – P. 1838–1856.
14. T. Xu. Research on the Connecting Path Search Algorithm for Air-Rail Integration / T. Xu, X. Ding, J. Li. – J. of Software, 2013. – 8, no. 8. – P. 1889–1896.
15. P. Festa. The Shortest Path Tour Problem: Problem Definition, Modeling and Optimization / P. Festa. – Proc. International Network Optimization Conference, Pisa, Italy, 2009. – 923 p.
16. D. Gavalas, V. Kasapakis, C. Konstantopoulos, K. Mastakas, and G. Pantziou. A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems / Journal of Heuristics, 2014. – v.20 n.3. – P. 291–328.

*Стаття надійшла до редакції 14.04.2015*

УДК 629.039.58 + 004.942

**О.В. КОВАЛЕНКО**

## **МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ ТРИТІО В НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

***Анотація.** В роботі проведено дослідження вимірів накопичення тритію у навколишньому середовищі дослідницького ядерного реактора Інституту ядерних досліджень НАН України. На основі фактичних вимірів вмісту тритію у талій воді снігового покриву проведено моделювання міграції тритію з врахуванням навколишніх умов. Акцентована увага на недопущенні зовнішніх порушень санітарно-захисної зони. Зроблені висновки щодо безпеки роботи дослідницького ядерного реактора та тритієвих лабораторій.*

***Ключові слова:** тритій, модель, регресія, адекватність, прогноз.*

### **Вступ**

Водень є однією з головних речовин життєдіяльності та функціонування живих організмів. Це пояснюється надзвичайною роллю води в цих процесах. Унаслідок ізотопного обміну важкі ізотопи водню можуть легко і швидко включатися у біохімічні процеси та замінювати атоми водню на тритій.

Ядро тритію нестабільне і розпадається з основного стану, перетворюючись в ядро гелію теж в основному стані. Тому компонента бета-випромінювання одна і її абсолютна інтенсивність дорівнює 100 %. Період напіврозпаду тритію 12,34 років. Зовнішнє опромінення бета-електронами тритію практично відсутнє, що визначає низький фактор радіаційної небезпеки при його переробці та використанні. Проте основну частину своєї енергії бета-електрони тритію витрачають на взаємодію з електронними оболонками атомів речовини середовища, в якому вони рухаються, що призводить до іонізації останньої. Бета-електрони тритію мають найвищу серед бета-випромінювань інших ізотопів іонізаційну здатність – 1900 пар іонів на 1 см проникнення. Основні фізико-хімічні властивості тритію взагалі аналогічні властивостям водню [1]. Тому він швидше виводиться з організму людини порівняно з іншими ізотопами, проте не зменшує своєї небезпеки, а, навпаки, вимагає особливого підходу в організації заходів з попередження проникнення ізотопів тритію до організму людини.

Зазначена тема є надзвичайно актуальною у ракурсі ряду публікацій [2-5] у соціальних мережах та засобах масової інформації щодо безпеки дослідницького ядерного реактора Інституту ядерних досліджень НАН України (ІЯД НАНУ). Зокрема, підняте питання, наскільки є небезпечним дослідницький ядерний реактор для довкілля у теперішній час і у разі реалізації проекту із забудови навколишніх територій багатопверховими житловими будинками. У зв'язку з тим, що тритій відноситься до числа найважливіших радіонуклідів дозоутворення, які характеризують та визначають радіаційний фон біля підприємств атомної енергетики та ядерного синтезу, зазначені питання і будуть розглянуті на прикладі міграції тритію.

Метою роботи є дослідження вимірів накопичення тритію у навколишньому середовищі дослідницького ядерного реактора ІЯД НАНУ та на його основі – моделювання міграції тритію з врахуванням навколишніх умов.

Завдання роботи:

- розглянути особливості біогеоміграції тритію;
- дослідити характеристики місцевості та розглянути фактичні показники наявності тритію в навколишньому середовищі;
- представити прогностичні моделі можливого розповсюдження тритію за різними шарами навколишнього середовища.

Слід зазначити, що аналізу та моделюванню подій забруднення території тритієм приділяється багато уваги в роботах вчених всього світу. Україна після Чорнобильської аварії значно просунулася у дослідженнях з впливу радіонуклідів, у тому числі і тритію, на організми живих істот. Найбільш відомий дослідник в Україні і за кордоном в цій галузі – доктор біологічних наук Б.С. Прістер з Інституту проблем безпеки АЕС НАН України [6]. Також серед українських науковців, які займаються дослідженням та моделюванням подій, пов'язаних з імовірним забрудненням тритієм, можна назвати представників харківської школи з Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем – Г.Д. Коваленка, В.В. Турбаєвського [7-8], а також відзначити нову роботу колективу авторів за редакцією академіка НАН України Е.В. Соботовича та доктора геологічних наук В.В. Доліна [9], та ін.

## 1. Особливості біогеоміграції тритію

Незважаючи на змістовний ряд досліджень, в Україні тритієвій проблемі не приділяється належної уваги, відповідної до її значущості. При будь-яких передаварійних ситуаціях чи аваріях на АЕС активність тритію, що надходить в навколишнє природне середовище, зростає на декілька порядків з відповідним негативним впливом.

До людського організму радіоактивні речовини надходять через дихальні шляхи, кишково-шлунковий тракт і шкіру. Через шкіру серед усіх ізотопів найбільш легко проникає тритій, який також надходить через органи травлення з водою, а при випаровуванні забрудненої тритієм води разом із повітрям потрапляє до органів дихання.

Тритій утворюється в активній зоні реактора в результаті потрійного поділу та інших реакцій. З реактора тритій виділяється або у вигляді тритій-газу (НТ), або у вигляді тритієвої води (НТО) і потрапляє в атмосферу, в ґрунтові води, в річки та озера. Газоподібний тритій НТ дуже швидко окислюється і переходить в НТО. При наявності тритію людський організм піддається впливу бета-випромінювання з максимальною енергією 18 кеВ. Період напіввиведення для тритію дорівнює 12 діб.

Незважаючи на те, що функціонуванню ізотопів вуглецю і кисню присвячено численні праці, міграцію ізотопів водню в процесі життєдіяльності організмів розглянуто в роботах науковців дуже фрагментарно. Спираючись на дослідження [9], можна представити наступну стислу картину біогеоміграції тритію.

За характером розподілу ізотопів водню і вуглецю в організмі людини мікробіальний метан, який утворюється в процесі  $\text{CO}_2$  редуції, відрізняється від метану, що виділяється в результаті ферментації ацетату. Проте конкретна

роль активних організмів у фракціонуванні ізотопів водню не встановлена. Ізотопний склад водню і кисню, що в процесі фотосинтезу переходять до вуглеводів рослин із води, практично повністю визначається ізотопним складом води. Ізотопи водню фракціонуються під час перебігу процесів випаровування-конденсації води. Варіації відношень  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^2\text{H}/^1\text{H}$  прямо корелюють із середньорічною температурою. Температура конденсації води значною мірою впливає на її ізотопний склад.

Процес трансформації водної форми тритію НТО в «органічно зв'язаний» ізотоп тритію  $^3\text{H}$  підпорядкований дискримінації  $^3\text{H}$  по відношенню до  $^1\text{H}$ , що призводить до зниження надходження  $^3\text{H}$  в органічні сполуки приблизно на 20 %. Це означає, що відношення максимальної питомої активності  $^3\text{H}$  в органічних фракціях і вільній воді рослин після одноразового його надходження вже через кілька діб становить близько 0,05. За постійного надходження  $^3\text{H}$  в навколишнє середовище питомі активності  $^3\text{H}$  у складі вільної води й «органічно зв'язаного»  $^3\text{H}$  наростають у часі, як зазначено у [9], ймовірно, експоненціально.

Виведення  $^3\text{H}$  з рослин визначається процесом водообміну. Основний період напіввиведення, характерний для 90 % виведення водної форми тритію НТО, практично не залежить від кліматичних умов і коливається від декількох годин до 10-20 діб.

Питому активність  $^3\text{H}$  у складі вільної води рослин можна вважати практично однаковою в усіх органах рослини лише за умови однакової його активності в атмосферній і ґрунтовій волозі, інакше спостерігаються істотні відмінності, обумовлені градієнтом концентрації  $^3\text{H}$  в системі атмосфера-рослина-ґрунт. Тобто, корені та інші підземні органи відносно активно збагачуються  $^3\text{H}$ . Розподіл органічно зв'язаного тритію (ОЗТ) у тканинах і органах рослин неоднорідний і визначається біохімічними характеристиками структур. Наприклад, у жирах, протеїнах, зародках зерна кукурудзи ОЗТ в 1,4-2,3 рази більше (у розрахунку на суху речовину), ніж в оболонках, найвищий вміст ОЗТ характерний для ліпідів і фракції нуклеїнових кислот, як зазначено у [9].

Рослини та ґрунтові бактерії є каталізаторами окиснення газоподібного тритію НТ, що міститься в атмосфері. Це спричиняє підвищення питомої активності  $^3\text{H}$  у ґрунтовій волозі порівняно з його питомою активністю у вільній воді рослин. Швидкість трансформації газоподібного тритію НТ у водну форму тритію НТО в рослинному покриві оцінюють приблизно в 1 % за 48 год. [9].

Приблизно із середини минулого століття почали приділяти увагу дослідженням взаємодії тритію з тканинами дерев, а з 80-х років того ж століття – розпочали дослідження розподілу тритію в річних кільцях дерев. Було виявлено, що до 1990-х років активність тритію у рідких атмосферних опадах стала меншою за його активність у деревині, що зумовлено накопиченням тритію у складі деревини. Після припинення ядерних випробувань концентрація тритію в атмосфері почала поступово зменшуватись, у той час як у деревині процес «очищення» відбувається повільніше, що можна пояснити накопиченням тритію у тканинах дерев в обмінній формі. Це підтверджується і рядом досліджень, які проводяться ІЯД НАНУ та будуть викладені нижче.

Середньорічна активність тритію у вільній воді становить  $151 \text{ Бк}/\text{дм}^3$  за коливань від 25 до 214, ОЗТ – 58 і коливається від 14 до  $109 \text{ Бк}/\text{дм}^3$ .

У ґрунті тритій знаходиться у двох основних формах. Основна його частина міститься у вільній воді ґрунту (НТО) і відповідає вмісту тритію в атмосферній воді. У верхньому 4-сантиметровому шарі ґрунту міститься 25 % запасу тритієвої води. У міру заглиблення в гумус вміст тритієвої води знижується до 4 % у шарі 14-16 см, а у шарі 16-18 см – зростає до 10 % загального запасу. Нижче від 16 см міститься 40 % загального запасу тритію [9].

Співвідношення тритій/протій у воді, отриманій при прожарюванні повітряно-сухого ґрунту, змінюється в широких межах із тенденцією до збільшення на геохімічних бар'єрах. За тим же джерелом [9], динаміка питомих концентрацій тритію практично відповідає щільності забруднення ґрунту.

Після видалення ґрунтової вологи (вільна вода) деяка частина тритію залишається у ґрунті в іонообмінній та сорбованій формах. Оскільки 98-99 % тритію в ґрунті представлено водною формою, то процеси ізотопного обміну водню в системі ОЗТ-НТО в середовищі ґрунту істотно не впливають на ізотопний склад органічної речовини живого й неживого компонентів екосистеми.

Враховуючи викладене, можна зробити наступне узагальнення: тритій, як нуклід водню, характеризується високою міграційною здатністю у воді, що обумовлює його активність у обмінних процесах живих організмів та переміщення в системі атмосфера-рослина-ґрунт.

## **2. Характеристика місцевості біля дослідницького ядерного реактора та фактичні показники тритію у навколишньому середовищі**

Дослідницький ядерний реактор ВВР-М Інституту ядерних досліджень НАН України використовується як потужне джерело нейтронів для проведення фундаментальних і прикладних досліджень. Він розташований на Багриновій горі, яка обмежена проспектом Науки та вулицями Лисогірська, Ракетна та Панорама.

Ґрунт території – відносно багатий, сформований на лісових відкладах, проте з великою присутністю глини та глиноземів. Структура – пориста, багата вимоїнами та кавернами. Рослинне покриття – широколистяні дерева (дуби, каштани, берези, ясени, липи, клени). Серед дерев зустрічаються елементи підліску – калина, горобина, бузина, ожина. Трав'яний ярус – характерний для лісових територій з більшістю вологолюбивих рослин.

Місцевість довкола дослідницького реактора ІЯД НАНУ багата дрібними ссавцями, серед яких є види, занесені до Червоної книги України.

Основним завданням при роботі дослідницького ядерного реактора та лабораторій ІЯД НАНУ є забезпечення безпеки персоналу, населення навколишніх територій та довкілля. Всі 50 років роботи ІЯД НАНУ проводився постійний радіаційний контроль та моніторинг впливу на середовище.

Підготовка зразків та вимірювання вмісту в них радіонуклідів проводяться в лабораторії Центру екологічних проблем атомної енергетики (ЦЕПАЕ). Апаратура, що використовується для вимірювань, атестована та проходить регулярні планові перевірки. При виконанні досліджень використовуються, в основному, загальноприйняті методики. Похибки вимірювань – в межах норми [10].

Навколо реактора ІЯД НАНУ встановлена санітарно-захисна зона. В цій зоні існує шість точок замірів показників, чотири з яких (ГД-1, 3-1, ПнЗ-1, Пн-1) розташовані на відстані не менше трьох висот вентиляційної труби реактора (200 м), а дві (С-1, ПдС-1) – на відстані 100 і 120 м від огорожі реактора. У зоні спостереження знаходиться 12 точок: шість – на відстані до 2 км від вентиляційної труби реактора (Пн-2 – Інститут гідрометеорології; С-2 – вул. Ракетна, 17/1; ПдС-2 – вул. Панорамна, 28/2; Пд-2 – с. Корчувате; 3-2 – Національний аграрний університет; ПнЗ-2 – вул. Добрий шлях), шість точок – на відстані до 5 км від вентиляційної труби реактора (ПнЗ-3 – вул. Щорса; С-3 – Осокорки; ПдС-3 – Нижні сади; Пд-3 – пр. Охотський, 14; 3-3 – вул. Теслярська, 6; ПнЗ-3 – вул. Народна) [11].

При дослідженні забруднення території тритієм, система радіаційного контролю об'єктів навколишнього природного середовища складається із визначення загальної питомої бета-активності води в основних колекторах реактора й тритієвих лабораторій, а також концентрації тритію у скидних водах основних колекторів (двічі на місяць), у талій воді снігового покриву та в березовому соку (раз на рік).

Для досліджень регулярно проводиться відбір зразків скидних вод з основних колекторів реактора та тритієвих лабораторій. Значення загальної питомої активності тритію скидних вод за 2012-2014 роки представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Питома активність тритію у скидних водах у 2012-2014 рр., Бк/л

№ п/п	Дата відбору	Вода після «Ясеня»	Вода по вулиці Лисогірській
1	2	3	4
2012			
1	27.02	74,3 ± 4,1	2206,1 ± 50,7
2	29.03	85,7 ± 4,5	75,1 ± 4,1
3	27.04	64,5 ± 3,9	452,1 ± 12,6
4	29.05	71,9 ± 4,1	929,8 ± 22,3
5	02.07	288,6 ± 12,3	88,7 ± 4,8
6	31.07	167,9 ± 6,9	568,9 ± 16,5
7	28.08	71,3 ± 4,3	89,5 ± 4,7
8	02.10	96,1 ± 4,8	105,4 ± 5,1
9	01.11	80,9 ± 4,5	78,0 ± 4,2
10	28.12	79,2 ± 4,4	83,2 ± 4,4
2013			
13	28.01	70,7 ± 4,2	120,2 ± 6,1
14	28.02	63,3 ± 4,0	75,5 ± 4,0
15	08.04	131,4 ± 6,3	420,3 ± 12,6
16	29.04	66,5 ± 3,8	123,1 ± 5,9
17	30.05	85,5 ± 3,2	317,1 ± 10,8
18	01.07	107,0 ± 5,6	153,7 ± 6,9
19	09.08	76,6 ± 4,4	116,3 ± 5,3
20	03.09	73,1 ± 4,2	71,0 ± 4,3
21	01.10	71,4 ± 4,2	91,7 ± 4,8
22	01.11	79,9 ± 4,6	82,1 ± 4,4
23	02.12	77,4 ± 4,3	174,5 ± 6,8
24	30.12	71,0 ± 4,0	1067,6 ± 25,6

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
2014			
25	06.02	63,9 ± 3,7	321,1 ± 11,5
26	03.03	96,0 ± 5,9	223,4 ± 12,3
27	01.04	63,8 ± 3,8	590,9 ± 16,2
28	06.05	67,3 ± 3,8	400,9 ± 12
29	06.06	61,8 ± 3,6	78,1 ± 4,0
30	27.06	67,7 ± 4,1	70,9 ± 4,0
31	30.07	90,5 ± 4,9	88,4 ± 4,4
32	03.10	62,0 ± 3,7	156,1 ± 6,1

Як видно з наведених даних, спостерігаються досить великі розбіжності в значеннях загальної питомої активності в дослідних зразках (особливо в скидних водах по вул. Лисогірській), що можна пояснити їхньою залежністю від виробничої діяльності тритієвих лабораторій. Проте, усі отримані результати вимірювань радіоактивного забруднення води в основному є нижчими за допустимі концентрації для населення (категорія В). За межами санітарно-захисної зони всі показники за тритієм знаходяться в межах норми.

Визначення вмісту тритію у березовому соку у 2012-2014 рр. представлено в табл. 2.

Таблиця 2 – Питома активність тритію у березовому соку у 2012-2014 рр., Бк/л

№ точки відбору	Корпус №26	Реактор	Корпус ЦЕПАЕ	Корпус №26	Реактор	Корпус ЦЕПАЕ	Корпус №26	Реактор	Корпус ЦЕПАЕ
	2012			2013			2014		
1	104,0 ± 5,8			183,9 ± 14,2			124,3 ± 5,5		
2	102,0 ± 7,6			113,7 ± 7,0			121,3 ± 6,8		
3	96,3 ± 5,3			159,8 ± 10,1			117,1 ± 5,3		
4		74,7 ± 4,8			73,3 ± 4,5			89,3 ± 4,6	
5		81,3 ± 4,3			79,8 ± 4,5			86,1 ± 4,5	
6		407,5 ± 12,2			84,8 ± 6,3			66,6 ± 4,0	
7			77,8 ± 7,0			80,6 ± 6,8			61,6 ± 4,1
8			64,5 ± 4,4			81,2 ± 5,5			85,7 ± 6,9
Реперна точка (селище Вишневе) – 102,5 ± 6,3			Реперна точка (селище Вишневе) – 70,5 ± 6,3			Реперна точка (селище Вишневе) – 55,8 ± 3,3			

Дати відбору проб березового соку вибираються під час найбільшого руху соку берез. Так, дата відбору 2012 року – 3 квітня, 2013 року – 15 квітня, 2014 року – 26 березня.



Як можна зазначити з наведених даних, в межах санітарно-захисної зони вміст тритію у соку берез майже вдвічі вищий, ніж у реперній точці с. Вишневе. Проте рівень ізотопу тритію у соку берез все ж має тенденцію до зниження, що можна обґрунтувати значним підвищенням безпекових заходів у тритієвій лабораторії та на реакторі.

Визначення вмісту тритію у талій воді снігового покриву у 2012-2014 рр. представлено в табл. 3.

Таблиця 3 – Питома активність тритію у талій воді снігового покриву у 2012-2014 рр.

№ точки відбору	Питома активність, Бк/л	№ точки відбору	Питома активність, Бк/л
2012			
Корпус 113		Корпус 26	
1	115,1 ± 5,9	1a	85,7 ± 5,0
2	87,8 ± 5,1	2a	73,4 ± 4,1
3	73,8 ± 4,4	3a	78,1 ± 4,1
4	93,6 ± 4,9	4a	131,0 ± 5,9
5	602,2 ± 15,7	5a	112,7 ± 5,2
6	103,0 ± 4,9	6a	96,3 ± 4,7
7	74,4 ± 4,1	7a	97,2 ± 4,9
8	78,6 ± 4,2	8a	102,2 ± 4,9
9	77,0 ± 4,2		
Реперна точка (Обухівський район) – 50,3 ± 6,2			
2013			
Корпус 113		Корпус 26	
1	98,3 ± 4,7	1a	82,1 ± 4,5
2	76,2 ± 4,2	2a	84,9 ± 4,7
3	101,7 ± 5,1	3a	73,7 ± 4,3
4	74,9 ± 4,3	4a	93,4 ± 5,0
5	81,9 ± 4,5	5a	87,6 ± 4,5
6	78,8 ± 4,2	6a	90,6 ± 4,5
7	109,2 ± 5,2	7a	102,3 ± 5,1
8	74,0 ± 4,1	8a	103,5 ± 4,9
9	77,1 ± 4,2		
Реперна точка (Обухівський район) – 44,3 ± 5,2			
2014			
Корпус 113		Корпус 26	
1	136,4 ± 5,9	1a	185,8 ± 7,2
2	138,9 ± 6,0	2a	144,2 ± 7,6
3	145,8 ± 6,0	3a	210,1 ± 7,8
4	154,4 ± 6,0	4a	220,9 ± 8,2
5	156,4 ± 5,9	5a	249,5 ± 8,2
6	170,1 ± 6,6	6a	230,7 ± 8,5
7	150,6 ± 6,2	7a	159,5 ± 6,5
8	163,6 ± 6,5	8a	183,3 ± 7,3
9	128,7 ± 5,5		
Реперна точка (Обухівський район) – 74,5 ± 5,2			

Дати відбору зразків талої води снігового покриву обираються за наявності снігового шару до початку його масового розтанання. Для 2012 року відбір проб відбувався 21 лютого, 2013 року – 5 лютого, 2014 року – 10 лютого. Як видно з таблиці, питома активність тритію коливалася в межах від 73 до 602 Бк/л у 2012 році, від 47 до 109 Бк/л у 2013 році та від 128 до 249 Бк/л у 2014 році. Зниження межі коливання вказує на підсилення безпекових заходів на об'єкті, що досліджується.

### 3. Прогнозні моделі розповсюдження тритію у воді, ґрунті та повітрі

Для прогнозування розповсюдження тритію на території, що досліджується, та за її межі, за основу взяті дані щодо питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за десять років – з 2004 р. по 2013 р. включно, за найменшим та найбільшим показниками, з врахуванням максимальних, мінімальних і середніх відхилень по всіх замірах (табл. 4), а також розраховані дані на прогностичний період.

У даному випадку тала вода снігового покриву дає найбільш змістовну картину щодо міграції тритію в навколишньому середовищі: при таненні снігу частина ізотопів тритію залишається в ґрунті, частина проникає до підземних вод, а частина піднімається в атмосферу при випаровуванні. Тоді, враховуючи [12], можна побудувати приблизні зони забруднення тритієм підземних вод, ґрунту та повітря.

Таблиця 4 – Узагальнені показники питомої активності тритію у талій воді снігового покриву у 2004-2013 рр.

Показник	Питома активність, Бк/л	Відхилення макс., Бк/л	Відхилення мін., Бк/л	Середнє відхилення, Бк/л	Показник реперної точки, Бк/л
№	У	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	334	91,2	47,6	74,5	69,4
2	179,3	91,2	47,6	74,5	33
3	634,8	51,3	23,5	24,1	111,6
4	81,3	51,3	23,5	24,1	66,8
5	1431,2	53,5	22,2	30,3	70,6
6	206,2	53,5	22,2	30,3	42
7	1267	87,6	16,2	23,5	52,6
8	15,8	87,6	16,2	23,5	10
9	748	40,3	24,2	30,5	95,7
10	285,7	40,3	24,2	30,5	91,1
11	226,3	12,2	7,9	9,8	74,9
12	99,2	12,2	7,9	9,8	61,9
13	140	6	4	5	52
14	78	6	4	5	44
15	169,5	6,8	3,8	4,3	59,4

Продовження таблиці 4

16	64,3	6,8	3,8	4,3	47,4
17	602,2	15,7	4,1	5,9	56,5
18	73,4	15,7	4,1	5,9	44,1
19	109,2	5,2	4,1	4,2	49,5
20	73,7	5,2	4,1	4,2	39,1
21	-	91,2	47,6	5,9	56,5
22	-	5,2	3,8	5,9	44,1
23	-	51,3	23,5	4,2	49,5
24	-	15,7	4,1	4,2	39,1

Приведемо специфікацію моделі до наступного вигляду:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot X_1 + \alpha_2 \cdot X_2 + \alpha_3 \cdot X_3 + \alpha_4 \cdot X_4, \quad (1)$$

та знайдемо МНК-оцінки параметрів моделі. Для цього побудуємо вектор-стовпчик  $Y$  і матрицю  $X$ .

$Y =$	334	$X =$	1	91,2	47,6	74,5	69,4
	179,3		1	91,2	47,6	74,5	33
	634,8		1	51,3	23,5	24,1	111,6
	81,3		1	51,3	23,5	24,1	66,8
	1431,2		1	53,5	22,2	30,3	70,6
	206,2		1	53,5	22,2	30,3	42
	1267		1	87,6	16,2	23,5	52,6
	15,8		1	87,6	16,2	23,5	10
	748		1	40,3	24,2	30,5	95,7
	285,7		1	40,3	24,2	30,5	91,1
	226,3		1	12,2	7,9	9,8	74,9
	99,2		1	12,2	7,9	9,8	61,9
	140		1	6	4	5	52
	78		1	6	4	5	44
	169,5		1	6,8	3,8	4,3	59,4
	64,3		1	6,8	3,8	4,3	47,4
	602,2		1	15,7	4,1	5,9	56,5
	73,4		1	15,7	4,1	5,9	44,1
	109,2		1	5,2	4,1	4,2	49,5
	73,7		1	5,2	4,1	4,2	39,1

Виразуємо оцінки регресійних коефіцієнтів за формулою:

$$A = (X' X)^{-1} \cdot X' Y, \quad (2)$$

де  $X'$  - матриця, транспонована до  $X$ .

$$\begin{array}{l}
 X' = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 91,2 & 91,2 & 51,3 & \dots & 5,2 \\ 47,6 & 47,6 & 23,5 & \dots & 4,1 \\ 74,5 & 74,5 & 24,1 & \dots & 4,2 \\ 69,4 & 33 & 33 & \dots & 39,1 \end{vmatrix} \\
 \\
 X' X = \begin{vmatrix} 20 & 932,4 & 418,6 & 444,4 & 1360,8 \\ 932,4 & 47227,7 & 0 & 0 & 0 \\ 418,6 & 0 & 8570,8 & 0 & 0 \\ 444,4 & 0 & 0 & 17447,26 & 0 \\ 1360,8 & 0 & 0 & 0 & 78867,8 \\ -0,0186 & 0,00037 & 0,00091 & 0,0004748 & 0,00032 \\ 0,00037 & 1,4E-05 & -1,8E-05 & -9,37E-06 & -6,3E-06 \\ 0,00091 & -2E-05 & 7,2E-05 & -2,32E-05 & -1,6E-05 \\ 0,00047 & -9E-06 & -2,3E-05 & 4,522E-05 & -8,2E-06 \\ 0,00032 & -6E-06 & -1,6E-05 & -8,19E-06 & 7,1E-06 \end{vmatrix} \\
 \\
 (X' X)^{-1} = \begin{vmatrix} 0,00032 & -6E-06 & -1,6E-05 & -8,19E-06 & 7,1E-06 \\ 0,00047 & -9E-06 & -2,3E-05 & 4,522E-05 & -8,2E-06 \\ 0,00091 & -2E-05 & 7,2E-05 & -2,32E-05 & -1,6E-05 \\ 0,00037 & 1,4E-05 & -1,8E-05 & -9,37E-06 & -6,3E-06 \\ -0,0186 & 0,00037 & 0,00091 & 0,0004748 & 0,00032 \\ 1360,8 & 0 & 0 & 0 & 78867,8 \\ 444,4 & 0 & 0 & 17447,26 & 0 \\ 418,6 & 0 & 8570,8 & 0 & 0 \\ 932,4 & 932,4 & 418,6 & 444,4 & 1360,8 \\ 20 & 932,4 & 418,6 & 444,4 & 1360,8 \end{vmatrix} \\
 \\
 X' Y = \begin{vmatrix} 6819,1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad a = \begin{vmatrix} -127,1001 \\ 2,5092943 \\ 6,2076012 \\ 3,2373731 \\ 2,1930084 \end{vmatrix}
 \end{array}$$

В результаті за моделлю (1) отримаємо функцію регресії з врахуванням оцінок, що були знайдені:

$$Y = -127,1 + 2,5 \cdot X_1 + 6,2 \cdot X_2 + 3,2 \cdot X_3 + 2,2 \cdot X_4. \quad (3)$$

Подальша перевірка адекватності моделі показує відносно незначну погіршеність, обумовлену тим, що з усіх замірів беруться лише найбільші та найменші показники, а також дані з реперних точок, що дає досить великий розкид значень показників.

За отриманою функцією (3) знайдемо точкові та інтервальні прогнози питомої активності тритію у талій воді снігового покриву при заданих показниках на перспективу (табл. 5).

Таблиця 5 – Прогноз питомої активності тритію у талій воді снігового покриву на перспективу

Показник	Питома активність, Бк/л	Відхилення макс., Бк/л	Відхилення мін., Бк/л	Середнє відхилення, Бк/л	Показник реперної точки, Бк/л
№	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
21	551,314	91,2	47,6	5,9	56,5
22	25,1854	5,2	3,8	5,9	44,1
23	274,798	51,3	23,5	4,2	49,5
24	36,7312	15,7	4,1	4,2	39,1

Для прогнозних розрахунків з метою отримання певного інтервалу, в якому можуть перебувати показники, взяті максимально і мінімально отримані відхилення за роками досліджень, а також середні показники, отримані у останні роки досліджень. На цій основі змодельовані дані можна співставити з даними реальних замірів за 2014 р. та максимальними і мінімальними значеннями питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за весь період спостережень (табл. 6, рис. 1).

Таблиця 6 – Порівняння змодельованих показників з реальними даними

Показники	Прогноз, Бк/л	Факт 2014, Бк/л	Факт макс/мін, Бк/л
макс. 1	551,3	249,5	1431,2
макс. 2	274,8	128,7	634,8
мін. 1	25,2	-	15,8
мін. 2	36,7	-	64,3

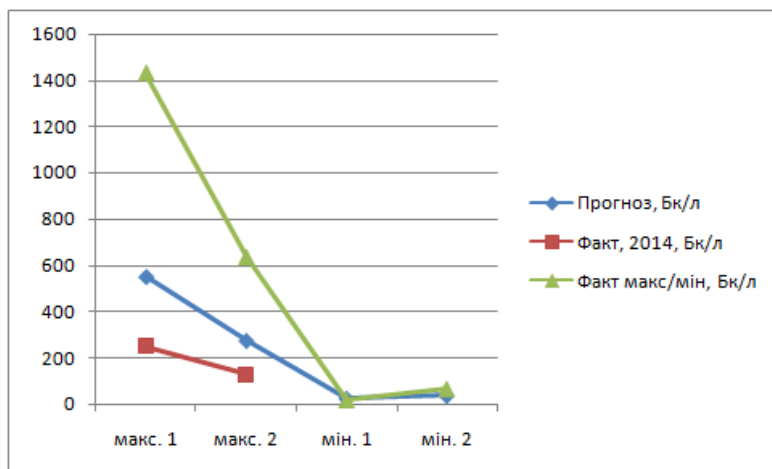


Рисунок 1 – Порівняння змодельованих показників з реальними даними питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за весь період спостережень

Як видно з таблиці, прогнозоване максимальне значення питомої активності тритію у талій воді снігового покриву у 274,8 Бк/л дуже близьке до максимального показника 2014 р. у 249,5 Бк/л. Тобто, розрахунок питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за максимальними та мінімальними значеннями вимірів минулих років дозволив отримати відносно точний прогноз, що підтверджено реальними даними. Слід зазначити, що фактичний показник 2014 р. у 128,7 Бк/л не перевищує показники минулих років і обумовлений активною роботою тритієвої лабораторії.

Розташування корпусів тритієвої лабораторії та санітарно-захисна зона дослідницького реактора, де відбувається постійний моніторинг стану навколишнього середовища та була здійснена переважна частина замірів показників з 2004 р. по 2014 р., що використані в роботі (коло, яке окреслює зону радіусом 300 м), представлені на карті (рис. 2).

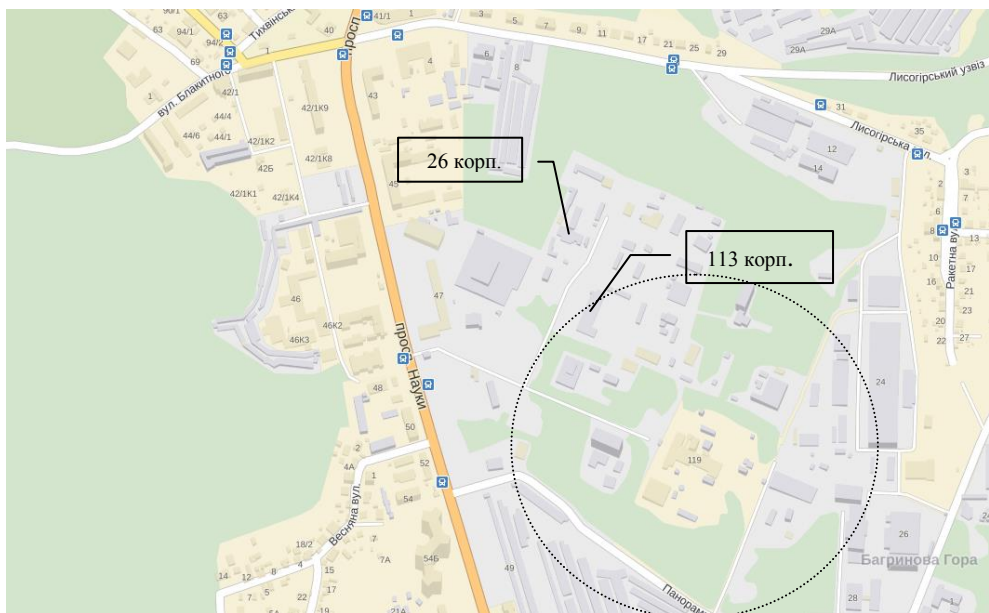


Рисунок 2 – Зони моніторингу стану навколишнього середовища

Таким чином, навіть за великих значень зафіксованих показників, радіоактивний ізотоп тритію осідає в межах санітарно-захисної зони, яка була встановлена саме з врахуванням максимально можливих показників викидів під час роботи дослідницького ядерного реактора і лабораторій Інституту ядерних досліджень НАН України.

## Висновки

За підсумками викладеного в статті можна зробити наступні висновки:

1) спостерігаються досить великі розбіжності в значеннях загальної питомої активності тритію в різних дослідних зразках (особливо в скидних водах з води по вул. Лисогірській), що можна пояснити їхньою залежністю від виробничої діяльності тритієвих лабораторій. Проте, усі отримані результати вимірювань радіоактивного забруднення за тритієм в основному є

нижчими за допустимі концентрації для населення (категорія В). За межами Інституту ядерних досліджень НАН України та санітарно-захисної зони всі показники знаходяться в межах норми;

2) прогнозоване максимальне значення питомої активності тритію у талій воді снігового покриву у 274,8 Бк/л дуже близьке до максимального показника 2014 р. у 249,5 Бк/л. Тобто, розрахунок питомої активності тритію у талій воді снігового покриву за максимальними та мінімальними значеннями вимірів минулих років дозволив отримати відносно точний прогноз, що підтверджено реальними даними. Слід зазначити, що фактичний показник 2014 р. у 128,7 Бк/л не перевищує показники минулих років і обумовлений роботою тритієвої лабораторії;

3) підтверджено, що навіть за великих значень зафіксованих показників радіоактивний ізотоп тритію осідає в межах санітарно-захисної зони, яка була встановлена саме з врахуванням максимально можливих показників викидів під час роботи дослідницького ядерного реактора і лабораторій Інституту ядерних досліджень НАН України. Це дозволяє на прикладі міграції ізотопу тритію довести безпечність дослідницького ядерного реактора і лабораторій ІЯД НАН України за умов непорушення санітарно-захисної зони. Будь-яка забудова санітарно-захисної зони висотними спорудами, кардинальна зміна ландшафту території, що оточує ІЯД НАН України, призведе до створення штучних бар'єрів та накопичення радіонуклідів через порушення циклу природної нейтралізації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радіаційні та ядерні технології в Інституті ядерних досліджень НАН України : монографія / І.М. Вишневський, Г.П. Гайдар, О.В. Коваленко та ін.; НАН України, Ін-т ядерних досліджень. – К.: Ін-т ядерних досліджень, 2014. – 176 с.
2. Борислав Береза. Персональна сторінка facebook. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.facebook.com/borislav.bereza/posts/1151545268204911>.
3. Беспредел застройкищиков: Киеву угрожает взрыв ядерного реактора. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.facenews.ua/articles/2015/275581/>.
4. Кабмин заинтересовался стройкой возле ядерного реактора в Киеве [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://apostrophe.com.ua/news/society/kiev/2015-06-26/kabmin-zainteresovalsya-stroykoj-vozle-yadernogo-reaktora-v-kieve/27918>.
5. Дом у ядерного реактора [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://society.lb.ua/life/2015/03/06/297819\\_dom\\_yadernogo\\_reaktora.html](http://society.lb.ua/life/2015/03/06/297819_dom_yadernogo_reaktora.html).
6. Пристер Б.С. Проблемы сельскохозяйственной радиозащиты и радиобиологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления : монография / Борис Самуилович Пристер; И.о. НАН Украины. Ин-т проблем безопасности атомных электростанций; Предисл. Р.М. Алексахин. – Чернобыль : Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2008.– 320 с.
7. Коваленко Г.Д., Седнев В.А., Турбаевський В.В. Накопичення і міграція тритію в районах розташування АЕС з реакторами ВВЕР // Ядерна і радіаційна безпека. – 2004. – №2. – С. 47–53.
8. Коваленко Г.Д., Турбаевський В.В. Деякі питання моделювання розповсюдження тритію в ґрунтових водах // Ядерні й радіаційні технології – 2004 – т. 4, №3. – С. 46–52.
9. Долін В.В., Пушкар'єв О.В., Шраменко І.Ф. та ін. Тритій у біосфері. – К.: Науково-виробниче підприємство «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. – 224 с.

10. Тришин В.В., Сваричевська О.В., Павленко І.О., Дзятковська Н.М., Саженюк А.Д., Кузьміна А.Й. Радіаційний моніторинг об'єктів навколишнього природного середовища в зоні впливу дослідницького ядерного реактора ВВР-М ІЯД НАН України / Ядерна фізика та енергетика. – т. 11, № 2. – 2010. – С. 165–168.
11. Сваричевська О.В., Кузьміна А.Й., Бекірова Г.О., Левчик О.І., Святун О.В. Радіаційний моніторинг об'єктів навколишнього природного середовища в зоні впливу дослідницького реактора ВВР-М і тритієвих лабораторій ІЯД НАН України (1995–2000 рр.) / Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. – №1 (7). – 2002. – С. 107–111.
12. Кряжич О.О., Коваленко О.В. Застосування тризначної логіки в алгоритмах управління радіаційно небезпечними об'єктами / Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): праці міжнар. наук.-практ. конф., 12–15 травня 2015 р., Київ-Черкаси / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка та [ін.]; наук. ред. В.Є. Снитюк. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – С. 357–358.

*Стаття надійшла до редакції 17.04.2015*



УДК 3462

**М.В. МЕЛЬНИКОВА, О.В. ТАРАСЕВИЧ, Г.Г. НЕСТЕРОВ**

**МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОВІДНОСИН МІЖ МІСЬКИМИ ККП ТА ПАРТНЕРАМИ (З УРАХУВАННЯМ НАЯВНОЇ ГОСПОДАРСЬКОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ)**

***Анотація.** У статті розглянуті проблеми прийняття рішень на основі моделювання взаємовідносин комунальних комерційних підприємств (ККП) з партнерами. Охарактеризовано особливості діяльності ККП міста, включаючи господарську компетенцію, взаємовідносини з органами місцевого самоврядування, постачальниками, споживачами. Визначено, що ККП має ознаки виробничо-господарського комплексу (ВГК). Розроблено модель взаємодії ВГК з економічними агентами на основі використання ігрових методів. Модель може бути включена в комп'ютерну систему прийняття рішень з управління ресурсами та комунікаційними відносинами ВГК. Це дозволяє погоджувати інтереси учасників при формуванні та реалізації різних проектів розвитку ККП.*

***Ключові слова:** комунальні комерційні підприємства, взаємовідносини з партнерами, господарська компетенція.*

**Вступ**

Проблеми підтримки життєдіяльності мешканців та бізнесу сучасного міста вирішуються за рахунок функціонування та розвитку комунальних комерційних підприємств. В процесі господарської діяльності ККП використовуються різні види ресурсів та встановлюються комунікаційні зв'язки та відносини як усередині підприємства між підрозділами підприємства, так і з зовнішнім середовищем – постачальниками, споживачами, органами державного управління та місцевого самоврядування, кредитними та банківськими установами. Управління комунікаціями потребує обґрунтування та прийняття відповідних рішень на підставі використання інформаційних технологій та економіко-математичного моделювання.

Слід зазначити, що проблеми управління комунальними комерційними підприємствами знаходяться у центрі уваги вчених та практиків, зокрема [1-10]. Так, ними розглянуто наукові основи управління ККП, їх монопольне положення, фінансовий та організаційно-економічний механізми їх функціонування та розвитку, правовий статус ККП, правове регулювання їх діяльності, особливості господарської компетенції, методи моделювання діяльності ККП, їх фінансового стану та розвитку на підставі агентських підходів. Однак потребують подальшого опрацювання питання узгодження інтересів учасників реалізації проектів розвитку ККП на підставі управління комунікаційними зв'язками та відносинами.

Зазначене дозволяє сформулювати мету та завдання дослідження, яке полягає у розробці моделі взаємовідносин ККП з партнерами та визначення напрямів її практичного використання в підсистемі підтримки прийняття рішень щодо управління організаційними комунікаціями ККП.

## 1. ККП: особливості та їх господарська компетенція

Комунальні комерційні підприємства (ККП) відіграють важливу роль у системі життєзабезпечення міст. Вони виконують такі функції, як організація, утримання і розвиток систем енерго-, газо-, тепло- і водопостачання; будівництво та утримання доріг місцевого значення; благоустрій та озеленення території; організація транспортного обслуговування населення, як утримання та використання міського житлового фонду і нежитлових приміщень. Від ефективності їх роботи залежать не тільки задоволення потреб населення та бізнесу, але й загальна соціально-економічна ситуація в місті.

Майно комунального підприємства перебуває у комунальній власності територіальної громади та закріплюється за підприємством на праві господарського відання (комунальне комерційне підприємство - тепломережі, водоканали, бюро технічної інвентаризації, позашкільні навчальні заклади спортивного профілю тощо) або на праві оперативного управління (комунальне некомерційне підприємство – центри первинної медичної допомоги, дошкільні навчальні заклади, загальноосвітні школи та ін.) [5-6]. До майна комунального підприємства входять основні фонди та оборотні кошти, вартість яких відображається в самостійному балансі. Оборотні кошти закріплюються у межах затвердженого нормативу та коригуються шляхом їх поповнення або вилучення залежно від результатів фінансово-господарської діяльності та потреб підприємства.

Господарська компетенція комунального підприємства визначається як встановлений чинним законодавством та визначений органом місцевого самоврядування обсяг правових можливостей майнового та немайнового характеру щодо виконання публічних функцій в напрямку забезпечення життєдіяльності населення на відповідній адміністративній території, в межах програм соціально-економічного розвитку даної території [7].

Відносини комунальних підприємств з органами місцевого самоврядування будуються на засадах підпорядкованості, підзвітності та підконтрольності останнім [6, 9]. До повноважень виконавчих органів сільських, селищних і міських рад щодо управління комунальною власністю належить установлення порядку та здійснення контролю за використанням прибутків комунальних підприємств, а також заслуховування звітів про роботу їхніх керівників.

Слід зазначити, що за своєю сутністю комунальні комерційні підприємства, які функціонують у великому місті, є виробничо-господарськими комплексами. За формальними ознаками виробничо-господарський комплекс – складна організаційно-економічна система, яка об'єднує взаємопов'язані та взаємодіючі компоненти, що орієнтовані на реалізацію заданої цільової установки і мають здатність до розширеного відтворення за рахунок власних та залучених ресурсів [11].

Організаційні особливості та економічні можливості виробничо-господарських комплексів виявляються у здатності залучати ресурси та маневрувати ними за рахунок встановлення відповідних зв'язків і відносин, отримувати додатковий ефект, формувати та використовувати спільну виробничу інфраструктуру, а також забезпечувати узгодження виробничих та господарських рішень у процесі управління.

## 2. Модель партнерської взаємодії ККП

Процес функціонування комунального комерційного підприємства є процесом взаємодії економічних агентів. Економічними агентами при цьому виступають ККП – виробничо-господарський комплекс (далі – «ВГК»), його постачальники (далі – «постачальники»), споживачі його продукції: населення і бізнес (далі – «споживачі»), органи центральної і місцевої виконавчої влади і управління (далі – «держава») – зовнішня взаємодія, а також взаємодія усередині підприємства: взаємодія головного офісу з підрозділами і взаємодія персоналу усередині ВГК.

Проте при найближчому розгляді можна зробити висновок, що єдина, загальна взаємодія між всіма елементами описаної системи по суті відсутня: постачальники ВГК не взаємодіють із споживачами його продукції; і в тих, і в інших, безумовно, є свої взаємини з державою, проте ці взаємини – сповна самостійні і не пов'язані з їх взаємодією з ВГК; контакти, конфлікти і проблеми усередині ВГК стосуються виключно його співробітників. Таким чином, загальна взаємодія розпадається на окремі попарні, за великим рахунком, незалежні один від одного, зовнішні взаємодії ВГК з постачальниками, споживачами, державою, а також внутрішньоструктурні взаємодії: між головним офісом та підрозділами, менеджментом підприємства і його виробничим персоналом.

Слід зазначити, що між ВГК і його партнерами існує прямий і зворотний зв'язок, і він взаємодіє попарно з постачальниками, з покупцями і державою (рис. 1).

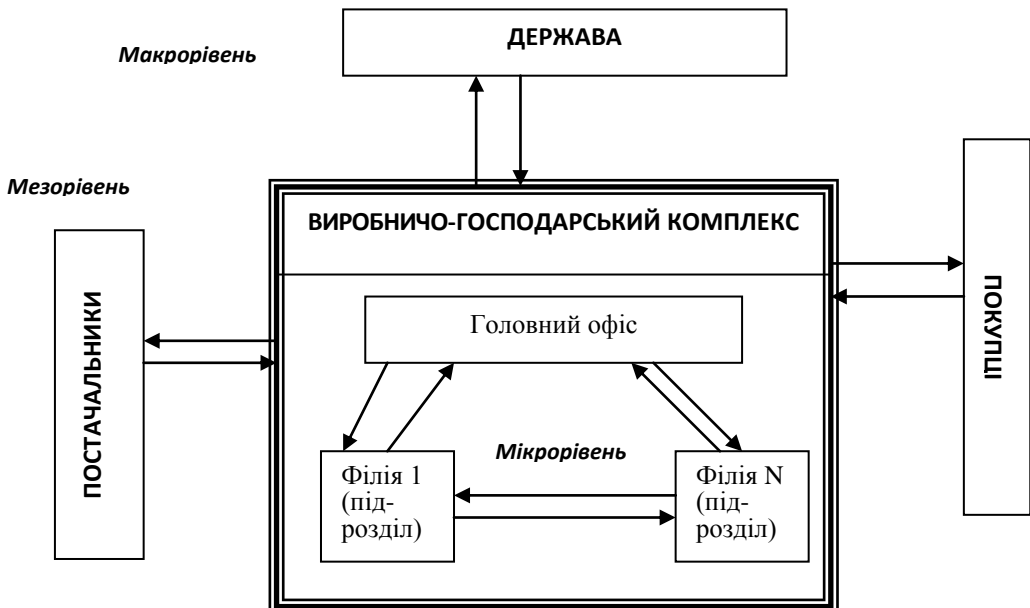


Рисунок 1 – Система попарних взаємодій виробничо-господарського комплексу з партнерами за макро-, мезо- та мікрорівнем

Що стосується внутрішнього середовища ВГК, то взаємодія йде як по лінії головне підприємство – підрозділ, так і між підрозділами, тобто мають місце різні види зв'язків, оскільки готова продукція одного підрозділу може бути ресурсом для іншого, тобто один підрозділ виступає постачальником, а інший – покупцем. Вказаний набір взаємодій доцільно описати за допомогою інструментарію економічних взаємодій - теорії ігор [1].

Таким чином, маємо множину ігор  $\Gamma = \{\Gamma_i\}_{i=1,2,\dots,5}$ , при цьому

$$\Gamma_i = \Gamma_i(X_i, Y_i, (G_i(X_i, Y_i), H_i(X_i, Y_i))), \quad (1)$$

де  $\Gamma_i, i = 1, 2, \dots, 3$  – гра між ВГК та його  $i$ -м партнером;

$\Gamma_4$  – гра між головним офісом та підрозділами ВГК;

$\Gamma_5$  – гра між менеджментом ВГК (головного офісу чи підрозділів) та його виробничим персоналом;

$X_i = \{x_{ij}\}_{\substack{i=1,2,\dots,5; \\ j=1,2,\dots,m_i}}$  – набір різних чистих стратегій економічної

поведінки ВГК (його головного офісу, його менеджменту) в  $i$ -й грі;

$Y_i = \{y_{ik}\}_{\substack{i=1,2,\dots,5; \\ k=1,2,\dots,n_i}}$  – набір різних чистих стратегій економічної

поведінки візаві ВГК (підрозділу, виробничого персоналу) в  $i$ -й грі;

$G_i(X_i, Y_i) = g_i(x_{ij}, y_{ik})_{\substack{i=1,2,\dots,5; \\ j=1,2,\dots,m_i; \\ k=1,2,\dots,n_i}}$  – платіжна функція для ВГК

(головного офісу, менеджменту) при взаємодії з його  $i$ -м партнером (філією (підрозділом), його виробничим персоналом);

$H_i(X_i, Y_i) = h_i(x_{ij}, y_{ik})_{\substack{i=1,2,\dots,5; \\ j=1,2,\dots,m_i; \\ k=1,2,\dots,n_i}}$  – платіжна функція для  $i$ -го

партнера ВГК (або підрозділу, виробничого персоналу) при його взаємодії з ВГК (головним офісом, менеджментом).

Слід відмітити, що в загальному випадку взаємозв'язок між іграми  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5$  (точніше між їх платіжними функціями) існує – вартість придбаних у постачальників ресурсів впливає на ціну продукції; система оподаткування або адміністративного статусу ВГК позначається на його можливостях і реалізується в стосунках із суміжниками; конфлікти усередині структури можуть негативно позначитися на виробничому процесі. Проте в першому наближенні можна вважати ігри незалежними, вводячи загальний зв'язок – надбудову на подальших етапах дослідження.

Розглянемо довільну  $i$ -ю ( $i=1, 2, \dots, 5$ ) взаємодію, яка описується грою  $\Gamma_i$ :

$$\Gamma_i = \Gamma_i \left( X_i, Y_i, \left( G_i \left( X_i, Y_i \right), H_i \left( X_i, Y_i \right) \right) \right) = \\ = \Gamma_i \left( \left\{ x_{ij} \right\}, \left\{ y_{ik} \right\}, \left( \left\{ g_i \left( x_j, y_k \right) \right\}, \left\{ h_i \left( x_j, y_k \right) \right\} \right) \right)_{\substack{j=1,2,\dots,m_i; \\ k=1,2,\dots,n_i}}$$

Основна проблема будь-якої взаємодії полягає у конфлікті інтересів взаємодіючих сторін, кожна з яких прагне отримати максимально вигідний для себе результат, навіть якщо він не узгоджується з устремліннями іншої сторони. Відомим способом вирішення таких колізій є використання ігрових методів для досягнення рівноваги по Нешу – таких станів (взаємних стратегій), з яких жодна із сторін не може вийти за власною ініціативою без узгодження з партнером [2]. Перевагою даного методу перед компромісним «силовим» діленням доходів між суб'єктами взаємодії є природність розподілу доходів і відсутність претензій через неможливість самостійно виправити ситуацію.

Так, зокрема, для гри 2x2 наявність та умови рівноваги Неша мають наступний вигляд.

Припустимо, що мається гра, яка наведена у табл. 1, причому виконуються умови (2), (3):

$$g(x_1, y_1) > g(x_2, y_1); \quad g(x_1, y_2) < g(x_2, y_2); \quad (2)$$

$$h(x_1, y_1) > h(x_1, y_2); \quad h(x_2, y_1) < h(x_2, y_2). \quad (3)$$

Умови (2), (3) проілюстровані на рис. 2 стрілками, які направлено від меншого значення до більшого.

		Суб'єкт 2	
		$y_1$	$y_2$
Суб'єкт 1	$x_1$	$g(x_1, y_1)$	$g(x_1, y_2)$
	$x_2$	$g(x_2, y_1)$	$g(x_2, y_2)$

Рисунок 2 – Матриця вартостей взаємодії суб'єктів загального виду

Представлена модель включається до інформаційної системи підтримки прийняття рішень ККП та може використовуватися автономно при обґрунтуванні проектів розвитку комунальної інфраструктури міст.

При обґрунтуванні проектів розвитку комунальної інфраструктури міст доцільно враховувати розподіл господарських компетенцій між ККП, органом місцевого самоврядування та територіальною громадою. Це пов'язано з правом оперативного управління майновою базою, якою ККП наділяється органом місцевого самоврядування для виконання завдань

життєзабезпечення територіальної громади, необхідності виконання розпоряджень власника та узгодження з ним ключових рішень щодо функціонування та розвитку [3]. Зокрема, це стосується рішень щодо підключення приватних мереж тепло-, водо- та газопостачання до мереж ККП, які знаходяться у комунальній власності територіальної громади міста, а також при наданні земельних ділянок під приватне будівництво з урахуванням наявності підземних водо-, тепло-, газокомунікацій. При цьому необхідно оцінити ступінь конфліктності та використовувати матриці, які дозволяють обрати напрями запобігання конфлікту інтересів в процесі реалізації проектів. Крім того, для узгодження інтересів учасників проектів, коли інформація носить суперечливий характер або представляється недостатньо повною, доцільно використання технології експертного оцінювання, яка дозволяє здійснювати формування, структурування і формалізацію мети, розробку сценаріїв допустимих альтернативних рішень, вибір процедур ухвалення рішень.

### **3. Напрями використання моделі в системах підтримки прийняття рішень**

Типова модель підтримки ухвалення рішень передбачає наявність нормативно-довідкової інформації, набір аналітичних і логічних співвідношень, які відтворюють оперативні дії залежно від конкретної ситуації. Модель функціонує в реальному масштабі часу і з достатньою точністю відображає процес господарювання та дозволяє обґрунтовувати, формулювати, приймати та реалізовувати відповідні рішення. Ці рішення мають відповідати чинному законодавству і положенням статутних документів підприємства; мати чітку цільову спрямованість і адресність; форма рішення має відповідати його змісту; рішення не повинне суперечити самому собі або раніше ухваленому рішенням; урахувати можливості технічної, економічної та організаційної реалізації рішення; мати параметри зовнішнього і внутрішнього контролю; оцінювати ризик виникнення негативних наслідків ухваленого рішення при його реалізації.

Принципами побудови інформаційної системи як моделі підтримки прийняття рішень є: ідентифікованість процесів і явищ, керування ресурсами, надійність функціонування, робота в реальному масштабі часу. Інформаційна система як модель зазвичай є програмно-апаратним комплексом, що складається з комп'ютерів, програмного і інформаційного забезпечення, засобів зв'язку, датчиків знімання інформації, засобів оргтехніки. Вона включає систему управління ВГК, координаційний блок, систему управління учасниками [11]. Важливе завдання, яке вирішується в координаційному блоці, полягає у забезпеченні результативного управління внутрішніми і зовнішніми комунікаціями та організаційною діяльністю.

У складних організаційних системах важливим завданням є реалізація проектів організаційних змін. Для цього формується відповідна інформаційна база, використовуються моделі обробки інформації, що дозволяє обґрунтовувати рішення щодо організації виробництва та господарювання. Інформаційна база складається з відповідних структур, склад та зміст яких представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Інформаційна база для формування проектів організаційних змін ВГК

Види структур	Що включає
Управління	Підрозділи та посади, їх ієрархічний взаємозв'язок, зони відповідальності та делегування повноважень
Функціональна	Функції, які виконуються структурними підрозділами підприємства
Фінансова	Зони фінансової відповідальності та структурні підрозділи, які до них входять
Інформаційна структура та схема документообігу	Визначити процес обміну інформацією між підрозділами, використання комп'ютерних технологій та програмного забезпечення
Технологічна	Технологічний процес основного та допоміжного виробництва
Процесна	Основна, обслуговуюча та процес управління відповідно до виконуваних функцій і технологій
Взаємодії між процесами з інформаційних та матеріальних потоків	Склад інформації, розміщеної на паперових носіях, усної інформації та інформації в електронному вигляді, що циркулює між підрозділами підприємства, а також матеріальні потоки, які відображаються зазначеною інформацією

Зазначені дані дозволяють сформувати варіанти змін у організаційній структурі з урахуванням організації виробництва та організації господарювання і приймати рішення щодо вибору та впровадження найбільш адекватного умовам функціонування та розвитку варіанту організаційної структури ВГК. Однак в процесі реалізації проектів організаційного розвитку ВГК звичайно необхідно забезпечити узгодження інтересів учасників реалізації проектів для запобігання виникненню конфліктів та встановлення ефективних комунікаційних зв'язків та відносин між партнерами. Для цього доцільно використання трьох методів: експертного оцінювання, технології методу аналізу ієрархій та моделі взаємовідносин з партнерами. Таким чином, узгодження інтересів учасників реалізації проекту організаційного розвитку може бути досягнуто, як це представлено на схемі (рис. 3).

Метод експертних оцінок дозволяє вирішувати складні проблеми, ґрунтуючись на неповних даних (неточних і навіть суперечливих). Технології експертного оцінювання використовують інформаційну підтримку, яка включає банк аналогів для системи підтримки ухвалення рішень [14]. Це дозволяє здійснювати формування, структурування і формалізацію мети, розробку сценаріїв допустимих альтернативних рішень, вибір процедур ухвалення рішень.

Загальна ідея методу аналізу ієрархій (МАІ) [15] полягає в декомпозиції проблеми вибору на більш прості складові частини і обробці суджень особи, яка приймає рішення. У результаті визначається відносна значимість досліджуваних альтернатив за всіма критеріями, які знаходяться в ієрархії. При цьому використовується дерево критеріїв, у якому загальні критерії поділяються на критерії приватного характеру. Для кожної групи критеріїв

визначаються коефіцієнти важливості. Альтернативи порівнюються між собою за окремими критеріями з метою визначення цінності кожної з них. Коефіцієнти важливості критеріїв та критеріальна цінність альтернатив визначаються за допомогою попарного порівняння. Результат порівняння оцінюється за бальною шкалою. На основі таких порівнянь обчислюються коефіцієнти важливості критеріїв, оцінки альтернатив і знаходиться загальна оцінка як зважена сума оцінок критеріїв.



Рисунок 3 – Процес узгодження інтересів учасників реалізації проектів організаційного розвитку

Для узгодження рішень доцільно також формування матриць, які дозволяють обрати напрями запобігання конфлікту інтересів при комунікаціях, на підставі використання оцінки ступеня конфліктності оргструктури. Дослідження зазначених коефіцієнтів у динаміці дозволяють дослідити зменшення або збільшення можливості виникнення конфліктів у результаті реалізації проектів організаційного розвитку. Значимість кожного показника визначається експертним шляхом, а також розраховується частка фактичного показника в його максимальному значенні. Чим більше наближаються показники до максимального значення, тим вище ступінь конфліктності оргструктури. У результаті приймається рішення про використання або корегування проекту розвитку оргструктури за критерієм конфліктності.



## Висновки

Забезпеченню ефективної взаємодії комунальних комерційних підприємств міста з постачальниками, споживачами, органами державної влади та місцевого самоврядування сприяють прийняття та реалізація відповідних рішень на підставі моделювання партнерських відносин з урахуванням наявної господарської компетенції.

Комунальне комерційне підприємство має ознаки виробничо-господарського комплексу, які виявляються у організаційних особливостях та економічних можливостях, що дозволяє сформувати модель взаємодії ВГК з економічними агентами на основі використання ігрових методів. Модель може бути включена в комп'ютерну систему підтримки прийняття рішень з управління ресурсами та комунікаційними відносинами.

Важливим завданням в управлінні комунікаційними відносинами є узгодження інтересів учасників при формуванні та реалізації проектів організаційного розвитку ККП. Для цього потрібна наявність інформаційної бази та розробка схеми процесу узгодження інтересів. До інформаційної бази включаються наступні структури: управління, функціональна, фінансова, інформаційна, технологічна та процесна. Обробка інформації здійснюється шляхом використання методів експертних оцінок, технології МАІ та моделі взаємодії з партнерами, а також побудови матриць для запобігання конфлікту інтересів.

Подальших досліджень потребують питання моделювання процесу координації дій учасників реалізації проектів розвитку ККП.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аллахвердян А.В. Научные аспекты управления коммунальными предприятиями / А.В. Аллахвердян // Вісник економічної науки. – 2009. – №1. – С. 20–22.
2. Бугаев В. К вопросу о монопольном положении коммунальных предприятий / В. Бугаев // Економіст. – 2007. – № 8. – С. 52–53.
3. Ефективні механізми фінансового менеджменту підприємств комунального господарства: монографія / В.М. Андрієнко, С.М. Мічківський, Н.М. Лисал, В.В. Паламарчук. – Донецьк: ДонНУ, Юго-Восток, 2008. – 127 с.
4. Полуянов В.П. Организационно-экономический механизм эффективного функционирования предприятий жилищно-коммунального хозяйства: [моногр.] / В.П. Полуянов; НАН України. Ин-т економіки пром-сти. – Донецьк, 2004. – 220 с.
5. Гринюк Р.Ф. Правовой статус коммунальных предприятий в Украине: монография / Р.Ф. Гринюк. – Донецьк: Дельта, 2002. – 183 с.
6. Устименко В.А. О некоторых аспектах правового регулирования деятельности государственных и коммунальных унитарных предприятий в новом Хозяйственном кодексе Украины / В.А. Устименко // Нові Цивільний та Господарський кодекси України та проблеми їх застосування: Матеріали наук.-практ. семінару. (м. Харків, 23 квіт. 2003 р.) Ч. 1. – Х.: Нац. юрид. акад. України ім. Я. Мудрого, 2004. – С. 154–156.
7. Труш І.В. Господарська компетенція комунального підприємства/ І.В. Труш // Часопис академії адвокатури України. – 2010 – № 4. – С. 1–6.
8. Забаштанський М.М. Структурна багаторівнева модель аналізу фінансового стану комунального підприємства / М.М. Забаштанський // Актуальні проблеми економіки. – 2008. – № 7(85). – С. 108–112.

9. Егорова Н.Е. Моделирование реформируемых предприятий жилищно-коммунального комплекса / Н.Е. Егорова, Е.Р. Майн, И.Н. Митрофанова / Аудит и финансовый анализ. – 2006. – №1. – С. 208–254.
10. Бегунов В.Н. Моделирование развития муниципальных образований на основе агентного подхода [Электронный ресурс] / В.Н. Бегунов // сисп . 2011. №4. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-razvitiya-munitsipalnyh-obrazovaniy-na-osnove-agentnogo-podhoda>.
11. Мельникова М.В. Производственно-хозяйственные комплексы в экономике Украины: моногр. / М.В. Мельникова; НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти; НАН Украины, Ин-т экономико-правовых исслед. – Донецк: Ноулидж, 2010. – 260 с.
12. Федосеев В.В. Экономико-математические методы и прикладное моделирование / В.В. Федосеев. – М.: ЮНИТИ, 2002. – 391 с.
13. Nash J. F. Equilibrium Points in n-person Games / J.F. Nash // Proc. Nat. Acad. Sci. – USA. – 1950. –Vol. 36. – P. 48–49.
14. Губко М.В. Механизмы управления организационными системами с коалиционным взаимодействием участников / М.В. Губко. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 118 с.
15. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 268 с.

*Стаття надійшла до редакції 03.04.2015*

## АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 32.1:303.4:711.122

**А.Б. КАЧИНСЬКИЙ**

### ІНДИКАТОР МОГУТНОСТІ ЯК ІНТЕГРАЛЬНИЙ ПОКАЗНИК БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

***Анотація.** У дослідженні з єдиних методологічних позицій розглянуто застосування системного аналізу щодо вирішення проблеми визначення індикатора могутності держави. Його розрахунки показали, що провідні країни світу поділяються на чотири основні групи, а характер змін у міжнародному безпековому середовищі суттєво змінився. За допомогою регресійних моделей зроблені прогнози на наступні роки.*

***Ключові слова:** математичні моделі, системний аналіз, політика, міжнародна безпека, оцінка могутності держави.*

#### **Вступ**

Відповідальна державна політика національної безпеки є складним і дорогим процесом, що забезпечується комплексом воєнних, воєнно-політичних, економічних, інформаційних тощо заходів. Ці заходи мають бути адекватними реальним загрозам основним об'єктам захисту держави. Така політика має базуватися на основі системного аналізу не тільки внутрішніх і зовнішніх показників діяльності держави, але й її інтегральних показників безпеки. Серед яких одним з важливих є оцінка могутності держави.

Першими звернули увагу на проблему оцінки могутності держави політологи. Відомий американський дослідник Ганс Моргентау, пояснюючи національну могутність і зовнішню політику, наголошував, що вони не відображають могутність або політику усіх громадян нації, а лишень є прерогативою окремих її представників – лідерів, які представляють державу на міжнародній арені, здійснюють переговори і заключають міжнародні договори, формулюють національні цілі і вибирають засоби для їх досягнення, підтримують, нарощують та демонструють її могутність. У світі вони сприймаються як представники всієї нації завдяки їх належності до держави, а також існуванню та дотриманню її громадянами загальних правових, ідеологічних, соціальних, моральних тощо цінностей і норм [4, 9].

К. Кнорр у 1956 році показав практичну користь розрахунку могутності держави [8]. Він визначав національну могутність як поняття, що включає в себе волю до боротьби (мораль), адміністративний талант, у першу чергу йшлося про якість державного планування і компетентність у прийнятті рішень у воєнний час, а також воєнний потенціал.

### 1. Математичні моделі оцінки могутності держави

В табл. 1 у хронологічному порядку відтворені результати аналізу різних поглядів і підходів щодо математичного моделювання оцінки могутності держави.

Таблиця 1 – Математичні методи моделювання оцінки могутності держави

№	Автор методу, рік	Математична модель, нововведення	Змінні моделі, пояснення
1	Герман Кліффорд, [1]	$P = N \cdot (L + C + I + M)$	P – могутність держави; N – ядерні можливості; L – територія; C – населення; I – індустріальний базис; M – розмір військових ресурсів.
2	Девід Стінгер, [1]	Три ряди параметрів для обчислення оцінки національної могутності у короткостроковій, середньостроковій і довгостроковій перспективах.	Параметри короткострокової перспективи: військова міць: військові витрати, чисельність військових сил. Середньострокова перспектива: рівень виробничої діяльності: виробництво чавуну і сталі, споживання електроенергії. Довгострокова: демографічні фактори: кількість населення, рівень урбанізації.
3	Вільгельм Фуке, [10]	$M = P^2 \cdot Z$ $M = P^{\frac{3}{2}} \cdot Z_1$ і ще 7 формул, які варіюють дані показники	M – національна могутність; P – чисельність населення; Z – виробництво енергії; Z <sub>1</sub> – виробництво сталі.
4	Рей Клайн, [13]	$P = (C + E + M) \cdot (S + W)$	P – сукупна потужність держави; C – критична маса (населення + територія); E – економічна міць; M – військова міць; S – коефіцієнт національної стратегії; W – державна воля.

Продовження таблиці 1

№	Автор методу, рік	Математична модель, нововведення	Змінні моделі, пояснення
5	Карлос Матос, [10]	Модифікував формулу Рея Клайна: $Pp = (C + E + M) \cdot (S + W + P)$	$Pp$ – сукупна потужність держави; $C$ – критична маса (населення + територія); $E$ – економічна міць; $M$ – військова міць; $S$ – коефіцієнт національної стратегії; $W$ – державна воля; $P$ – рівень авторитету керівників держави.
6	Шуо Фен Хуанг, [14]	$\frac{dY_t}{dt} = \rho Y_t \left(1 - \frac{Y_t}{M}\right)$	$Y_t$ – функція національної могутності в залежності від часу, представляє собою вектор $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , де $x_i = x_i(t), i = 1, 2, \dots, n$ . $\rho$ – темп зростання національної могутності; $M$ – пропускна здатність навколишнього середовища (міжнародні відносини, внутрішні показники та природне середовище).
7	Китайська академія соціальних наук, [1]	$P = (Zq_1 \cdot Jq_2 \cdot Eq_3 \cdot Kq_4 \cdot Wq_5 \cdot Hq_6 \cdot Dq_7 \cdot Yq_8) \cdot (Gq_3 + Rq_6 \cdot M(q_7 + q_8) \cdot Xq_2)$	$P$ – потужність держави. 1. Якісні показники і їх вагові коефіцієнти: $Zq_1$ – національні організаційні можливості; $Jq_2$ – військові можливості; $Eq_3$ – економічні можливості; $Kq_4$ – рівень розвитку науки і технологій; $Wq_5$ – дипломатичні можливості; $Hq_6$ – рівень культури та освіти; $Dq_7$ – географічне положення; $Yq_8$ – природні ресурси. 2. Кількісні показники: $G$ – величина ВВП; $R$ – чисельність населення; $M$ – територія держави; $X$ – військові можливості.
8	Шуо Фен Хуанг, [15]	$P = K \cdot H \cdot S$	$K$ – координаційна система, що включає здатність національного керівництва до координації та об'єднання;

Продовження таблиці 1

№	Автор методу, рік	Математична модель, нововведення	Змінні моделі, пояснення
			<p>Н – матеріальне забезпечення, що включає всі фізичні фактори;                      S – інтелектуальне забезпечення, що включає сукупність імперативів мислення, інтелектуальні та інші фактори.</p>
9	С. Ванг [15]	$\frac{dx}{dt} = \alpha x \left( \frac{M - x}{M} \right) - \beta y$ $\frac{dy}{dt} = -\gamma y + \delta(m - x)x$	<p><math>\alpha</math> – темп зростання;  <math>\beta</math> – коефіцієнт лиха;  <math>\gamma</math> – коефіцієнт національного керування;  <math>x(t) = \tilde{X}(t) - \tilde{X}(0)</math>,  <math>\tilde{X}(t) = \sum_{i=1}^n a_i x_i</math> – це функція, що позначає сукупний показник рівня матеріальних благ (в тому числі <math>x_1</math> – ресурси, <math>x_2</math> – рівень економіки, <math>x_3</math> – військова могутність і т.д.);  <math>\tilde{X}(0)</math> – позитивна константа, що позначає граничний стан (небажаний);  <math>y(t) = \sum_{i=1}^n \beta_i y_i</math> – це функція, що позначає сукупний показник рівня нематеріальних (духовних) благ (в тому числі <math>y_1</math> – вірні та хибні дипломатичні рішення, постанови влади, <math>y_2</math> – показники корумпованості та прозорості влади, <math>y_3</math> – успіхи та провали національної освіти тощо).</p>
10	Прохожев О.О. та ін., [9]	$M_i = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (1 - x_{ij})^2}{n}}$ $x_{ij} = \frac{\Pi_{ij}}{\sum_{i=1}^m \Pi_{ij}}$	<p><math>M_i</math> – інтегральний показник могутності і-тої держави;  <math>x_{ij}</math> – питома вага і-тої держави за j-тим показником;  <math>\Pi_{ij}</math> – значення j-того показника для і-тої держави;  <math>i = 1, 2, \dots, m</math> – досліджувані держави;  <math>j = 1, 2, \dots, n</math> – досліджувані показники.</p>

Продовження таблиці 1

№	Автор методу, рік	Математична модель, нововведення	Змінні моделі, пояснення
11	Л. Янг і Т. Ванг, [15]	$\frac{dx_i}{dt} = (\beta_i + \gamma_i x_i) \cdot (K_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j),$ $x_i(0) = x_i^{(0)}, \quad i = 1, 2, \dots, n$	<p><math>x_i(t)</math> – і-та компонента індексу національної могутності;  <math>x_i(0)</math> – початкове значення і-тої компоненти індексу національної могутності держави;  <math>K_i</math> – цільове значення і-тої компоненти індексу національної могутності;  <math>\beta_i, \gamma_i</math> – коефіцієнти, що показують вплив національної політики на і-ту компоненту індексу національної могутності;  <math>a_{ij}</math> – фактор впливу j-тої компоненти індексу національної могутності на і-ту компоненту індексу національної могутності.</p>
12	Винокуров Г.М., Коныхін Б.О., Подкоритов Ю.О., [2]	$G(t) = 0,5 \cdot (1 + X_M^{0,43}) \cdot X_T^{0,11} \cdot X_D^{0,19} \cdot X_E^{0,27}$	<p><math>G(t)</math> – геополітичний потенціал держави.          Частка держави в загальносвітових показниках:  <math>X_T</math> – територіальна сфера;  <math>X_M</math> – військова сфера;  <math>X_D</math> – демографічна сфера;  <math>X_E</math> – економічна сфера.</p>
13	Шустрова Т.В. [12]	$R = \bar{K}_t \sum_{p=1}^2 a_p \bar{B}_p + \bar{K}_a \sum_{v=1}^3 c_v \bar{D}_v + \bar{E}_n$	<p><math>R</math> – ранг держави, отриманий на основі розрахунку її сукупної могутності;  <math>p</math> – первинний фактор (кількість факторів рівна 2);  <math>\bar{B}_p</math> – оцінка p-того первинного фактора, як оцінка його ролі в загальній базовій потужності розглянутої держави і турботи про нього в цій державі;  <math>a_p</math> – значимість p-того первинного фактора досліджуваної держави, тобто його частка в загальносвітових або регіональних ресурсах по цьому фактору;</p>

Продовження таблиці 1

№	Автор методу, рік	Математична модель, нововведення	Змінні моделі, пояснення
			$\bar{K}_a$ – оцінка коефіцієнта науково-технічного прогресу держави, що змінює її первинне ресурсне середовище; $v$ – вторинний фактор (кількість факторів рівна 3); $\bar{D}_v$ – оцінка р-того вторинного фактора, як оцінка його ролі в загальній динамічній потужності розглянутої держави і турботи про нього в цій державі; $c_v$ – значимість р-того вторинного фактора досліджуваної держави, тобто його частка в загальносвітових або регіональних витратах за цим фактором; $\bar{K}_a$ – оцінка коефіцієнта політичної активності керівництва держави, що змінює вторинне ресурсне середовище розглянутої держави; $\bar{E}_n$ – оцінка внеску специфічного фактора n досліджуваної держави.

Очевидно, що вирішення проблеми кількісного оцінювання могутності держави, від якої безпосередньо залежить її національна безпека, має тривалу наукову традицію. Однак нині не існує єдиного підходу щодо її оцінки. Також можна виокремити західноєвропейський і східний підходи, що пояснюються не тільки відмінностями у світоглядних позиціях, але й географічними та геополітичними чинниками держави [1].

Попри панівну на разі думку, що держава забезпечує національну безпеку всією своєю сукупною потугою, яка визначається її географічним і геополітичним положенням, природними ресурсами, рівнем розвитку економіки, людським потенціалом і, безперечно, воєнною могутністю, наведені у таблиці 1 математичні моделі оцінки могутності держави мають суттєві недоліки. В першу чергу це стосується безпекових питань:

- не можна здійснити аналіз міжнародної безпеки з єдиних методологічних позицій;

- не можна виявити та розробити узагальнені оцінки небезпечних станів держав;



- розробити відповідні механізми забезпечення безпеки у спосіб безпосереднього впливу на критичні параметри держави, запобігаючи при цьому виникненню нових реальних і потенційних загроз.

Незважаючи на те, що питанню могутності держави приділено багато досліджень, застосування математичних методів для її оцінки потребує дотримання точної термінології. Серед близьких за значенням термінів «могутність держави» найчастіше вживаними є: потенціал держави і сукупна могутність держави.

Потенціал держави – сукупність матеріальних та духовних сил держави, суспільства та збройних сил в умовах повної мобілізації для досягнення воєнних цілей.

Очевидно, що цей потенціал можна реалізувати тільки за умов максимальної напруженості всіх ресурсів держави і суспільства в особливих умовах воєнної й економічної мобілізації.

Сукупна могутність держави – частина матеріальних та духовних сил держави, суспільства і збройних сил, що спрямована у даний момент на забезпечення національної безпеки.

Ми поділяємо думку авторів [4; 9] про те, що поняття «потенціал» і «могутність» за своїм змістом не ідентичні, оскільки вони відповідають філософським категоріям реальності й можливості. Як уже зазначалося, повна реалізація потенціалу держави здійснюється не завжди, хоча він є максимально можливим рівнем сукупної могутності держави. Вони вважають, що насправді сукупний потенціал держави, як категорія можливості, є більш широким, але менш конкретним поняттям, ніж сукупна могутність держави, яка, як категорія дійсності, є конкретною сукупністю реалізованих чинників й умов як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру.

Під могутністю держави ми розуміємо сукупність існуючих у держави матеріальних та духовних можливостей, які використовуються для досягнення її геополітичних цілей.

Очевидно, що окрім зазначених вище, існує низка інших причин використання не однієї, а цілої множини показників для оцінки могутності держави:

по-перше, для того щоб адекватно охарактеризувати різні виміри, жоден з простих показників не може охопити всієї складності поставленої задачі;

по-друге, всі показники несуть в собі баласт надлишковості, зайвий «вантаж», що не стосується оцінюваного результату;

по-третє, коли ми використовуємо декілька показників, будь-який з них відображає певну інформаційну грань – і кожен має свої індивідуальні вади.

Разом ефект баласту надлишковості кожного з показників згладжується – і оцінювач може одержати повне й точне уявлення про величину оцінки могутності держави.

## **2. Параметри концепту могутність держави**

У всіх соціальних дослідженнях адекватні індикатори оцінювання, як правило, передбачають складні вимірювання. Кожний конкретний індикатор у кращому разі частковий і характеризує певний фрагмент великої складної концепції. Він пов'язаний з певним наближеним результатом, в якому ми реально зацікавлені.

Передумовою розробки загального підходу до виміру концепту є оцінка ймовірності його залежності від багатьох параметрів. Специфікацію компонентів концепту у світлі теорії можна здійснити лише після того, як емпіричні дані будуть переведені на мову чисел. Поділяючи думку авторів [6], розуміємо під виміром процедуру приписування чисел значенням ознаки, а мета виміру – одержати числову модель. Тобто відносини між числами, що утворюють числову модель, відповідають відносинам між досліджуваними властивостями об'єкта.

Під виміром ми розуміємо особливу процедуру присвоювання числових значень об'єктам або подіям за певними правилами, внаслідок якої виникає числова модель об'єкта.

При оцінюванні могутності держави доводиться боротися зі спокусою вимірювати всі величини, що потрапляють у поле зору. До якої межі варто збільшувати кількість параметрів? Відповідь на це запитання можна отримати лишень після розгляду питання метрологічного забезпечення оцінки могутності держави.

При виборі власної системи параметрів для оцінки могутності держави, в першу чергу, необхідно враховувати бажані їх характеристики в оцінюванні. Фахівці з питань соціальних вимірювань та інші дослідники розробили емпіричні методи оцінки якості застосовуваних параметрів [9]. Для того, аби параметр вважався якісним і надійним, він повинен мати такі характеристики: достовірність, надійність, напрям, чутливість до відхилень, систематичність.

Достовірність. (Validity). Визначає, якою мірою той чи той параметр відображає поняття, яке він характеризує. Параметр повинен вимірювати саме те, що ним треба виміряти. Тобто вимога достовірності зумовлює необхідність застосування параметра до адекватного матеріалу.

Одним із способів оцінки достовірності є пошук ознак «критеріальної достовірності», які бувають двох типів: супровідні та прогнозні. Супровідні ознаки критеріальної достовірності вказують, що певний параметр добре узгоджується з іншим параметром того самого поняття. Прогнозні ознаки критеріальної достовірності пов'язують певний параметр з певними явищами у майбутньому.

Дослідження ролі різних чинників могутності держави впродовж часу показали, що вона суттєво змінювалася [1, 5, 11]. Історично склалося так, що воєнна потуга держави проявила себе у першу чергу. У XIX ст. чільне місце посів територіально-географічний чинник. До середини XX ст. панівним чинником могутності держави вважався технологічний чинник. Однак друга половина XX ст. показала, що боротьба за переділ світу та розширення сфер впливу може здійснюватися не тільки із застосуванням воєнної сили, але й у спосіб економічної або фінансової експансії. Разом з тим, на нашу думку, останні події в Іраку, Афганістані, а також в Україні наглядно доводять, що на разі інформаційний чинник могутності держави набуває вкрай важливого значення.

Надійність. (Reliability). Надійність параметра визначає, наскільки повторні вимірювання того самого явища дають ідентичні результати. Одним з негативних наслідків використання ненадійних параметрів є те, що при цьому недооцінюються зв'язки між даними.

Огляд літературних джерел показав, що могутність держави залежить від двох складових: первинної або базової (територіально-географічний і демографічний параметри) і вторинної або динамічної (воєнний, воєнно-економічний, економічний, фінансовий параметри). Значимість базової складової залежить від коефіцієнта науково-технічного прогресу держави, що змінює як середовище існування людини, так і її можливості впливу на потенційну могутність держави. Динамічну складову могутності держави відносять до вторинних чинників тому, що вона безпосередньо залежить від політичної активності керівництва держави [12].

Напря́м. (Direction). Для потреб оцінювання параметр результатів повинен мати напрям, тобто один край його шкали має вважатися сприятливим (бажаним), а інший – несприятливим (небажаним). У такий спосіб оцінювач знає, який напрям змін він сподівається побачити стосовно оцінки могутності держави як рівня її політичного впливу на світовій арені.

Далі вважаємо за доцільне вживати термін «індикатор могутності держави» (далі ІМД). Він вживатиметься майже у тому самому значенні, що й «оцінка», з тією лише відмінністю, що під індикатором ми розуміємо оцінку, що має напрям. Тобто один край шкали вважається більшим, кращим або інтенсивнішим порівняно з другим.

Коли існує згода стосовно того, який край шкали вважати кращим, а який гіршим, – як правило, існує й соціальний інтерес у втручанні з метою запровадження змін на краще [6].

Чутливість до відхилень. (Sensitivity to Differences). Параметр, який для значної частини випадків дає близькі між собою результати або для якого всі вони зосереджені на невеликій ділянці шкали, не може вважатися корисним у процесі аналізу. Тому важливою умовою ефективного застосування математичних методів оцінки могутності держави є попередній змістовний аналіз її показників.

Систематичність. (System). Усі параметри мають бути визначені ретельно і в усіх деталях. Фрагменти інформації, що збирається, повинні бути систематизованими і послідовними, щоб усіх їх можна було порівняти між собою. Поняття і визначення мають бути сформульовані точно.

Як уже зазначалося, існує певна межа кількості використаних показників. Відповідь на це запитання значною мірою залежить від цілей оцінювання. Там, де це можливо, оцінювачу слід намагатися застосувати існуючі показники, що вже перевірені практикою і достовірність яких доведена. Вони не просто з більшою ймовірністю будуть надійнішими і достовірними, а й дозволять використати результати попередніх досліджень.

У нашій системі параметрів ми врахували базову компоненту: площа території, чисельність населення, очікувана тривалість життя та коефіцієнт народжуваності, індекс розвитку людського потенціалу. Доповнили її параметрами динамічної складової: розмір ВВП, частка промисловості у ВВП, енергоозброєність держави, витрати державного бюджету, витрати державного бюджету на науку, частка зайнятого населення, частка населення, зайнятого у промисловості.

Для того, щоб врахувати вплив розвитку інформаційних технологій на могутність держави, ми розглядали індекс розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІР ІКТ), що розраховується Міжнародним союзом електрозв'язку Організації Об'єднаних Націй на основі

11 характеристик, що визначають рівень освіченості населення, доступність інформаційних технологій, рівень використання новітніх технологій тощо.

До нашої системи параметрів входили також параметри, що характеризують військову могутність держави: витрати держбюджету на національну оборону, загальна чисельність збройних сил, експорт озброєння та військової техніки, а також наявність на озброєнні держав у бойовому стані танків, вертольотів та літаків, кораблів, субмарин, артилерійського озброєння, мінометів та реактивних систем залпового вогню.

Таким чином, індикатор могутності держави є певним кількісним дескриптором, який можна використати під час кількісного аналізу. Він є складеним мірилом, тобто утвореним з певного набору простих змінних.

Окрім того, розглядаючи оцінку могутності держави як самостійну аналітичну процедуру моніторингу результативності державної політики національної безпеки, ІМД може виконувати наступні важливі функції, серед них:

- функція оцінки ефективності діяльності системи забезпечення національної безпеки щодо реалізації задекларованого стратегічного курсу;
- функція контролю якості рішень для оперативного корегування діяльності системи забезпечення національної безпеки;
- функція пояснення, що допомагає зрозуміти, чому наслідки альтернатив державної політики у сфері національної безпеки та стратегічного курсу відрізняються.

### 3. Метрика концепту могутність держави

Наступним важливим кроком після визначення показників ІМД є вибір метрик, які можна буде використати під час оцінювання концепту. Яким чином це можна зробити?

Починаючи з 50-х років ХХ століття, вчені багатьох країн намагалися знайти відповідь на дане питання. Аналіз наукових публікацій, присвячених його вирішенню, показав, що найбільш придатним є підхід, заснований на евклідовій відстані і розглянутий у роботах [4; 9]. Дана метрика розраховується наступним чином:

$$M_i = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (1-x_{ij})^2}{n}},$$

$$x_{ij} = \frac{\Pi_{ij}}{\sum_{i=1}^m \Pi_{ij}},$$

де  $M_i$  – інтегральний показник могутності  $i$ -тої держави,  $x_{ij}$  – питома вага  $i$ -тої держави за  $j$ -тим показником,  $\Pi_{ij}$  – значення  $j$ -того показника для  $i$ -тої держави. При цьому  $i = 1, 2, \dots, m$ , а  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Розрахунки ІМД дають зведену оцінку могутності держав. За їх допомогою можна виявити стабільні тенденції, що визначають і формують події у сфері міжнародних відносин, в першу чергу, міжнародної безпеки. Загальну картину змін ІМД для 48 провідних держав світу за останні роки можна представити графічно (рис. 1).

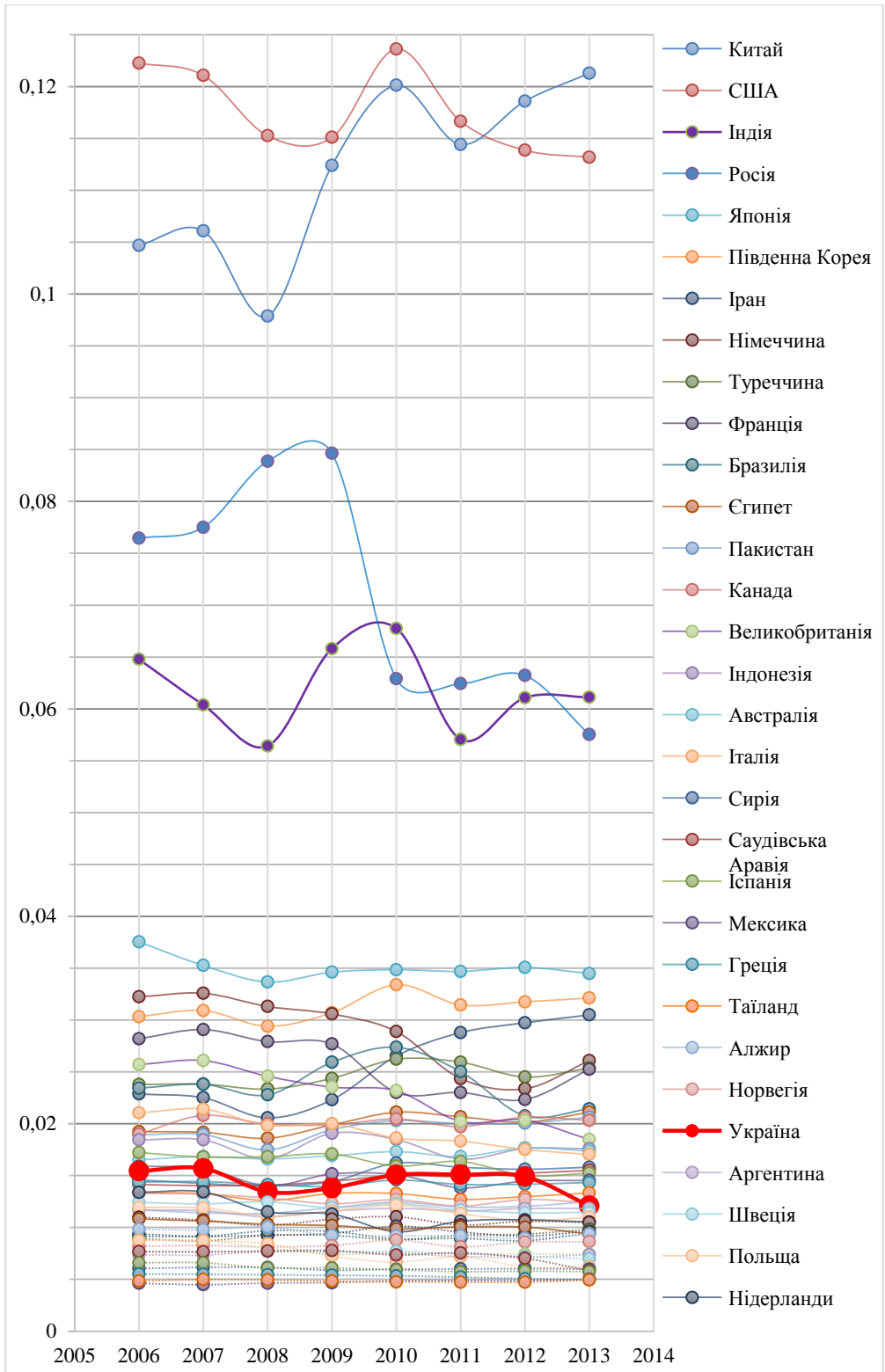


Рисунок 1 – Індекс могутності провідних держав світу

Оцінка ІМД є вкрай важливою для забезпечення порівняльного аналізу провідних країн світу. За його допомогою вдалося упорядкувати цих учасників міжнародних відносин. Індикатор могутності кожної з них змінюється у певних границях. Країни можна поділити на чотири основні групи (табл. 2): наддержави, великі держави, регіональні держави та малі держави [11].

Усі чотири наддержави та великі держави володіють власними ядерними силами. Росія та США скорочують свої ядерні сили згідно з укладеним у 2011 р. Новим СНО, а також у рамках одностороннього скорочення своїх сил. Водночас вони реалізують далекосяжні програми модернізації систем доставки ядерної зброї, боєголовок і виробничих потужностей. Велика Британія та Франція мають намір принаймні зберегти свій ядерний потенціал. Китай – єдино визнана ядерна держава, яка нарощує свої ядерні сили. Про стан ядерних арсеналів і спроможності трьох держав, що ніколи не були сторонами Договору про нерозповсюдження (ДНЯЗ) – Індії, Пакистану та Ізраїлю важко отримати достовірну інформацію.

Останніми роками найбільше зростання величини ІМД демонструє Китай. Це пов'язано з тим, що йому з найменшими втратами вдалося уникнути світової економічної кризи. Окрім того, він належить до п'яти із 15 країн світу з найвищим рівнем військових витрат. Найбільше зростання військових бюджетів за останні роки зафіксоване у Китаї (170%).

Однак характер змін ІМД підтверджує той факт, що США по праву є провідною країною світу, й надалі будуть очолювати цей перелік. Це пов'язано не тільки з їх військовим потенціалом (згідно з даними Щорічника СПРІ, вони витрачають на свою армію більше, ніж наступні за ними 14 країн разом взяті). Інвестиції цієї країни в нові озброєння та технології сприятимуть збереженню високого рівня ІМД в осяжному майбутньому.

Загальним для всіх країн є наслідок глобальної фінансово-економічної кризи, що почалася у 2008 р. У більшості країн Європи сталося стрімке зростання бюджетних дефіцитів. Головною темою у 2011 р. в дискусіях навколо військових витрат був вплив заходів жорсткої економії. Не дивно, що розмір цих скорочень демонструє міцний зв'язок із загальною тенденцією зменшення національних ВВП, що позначається на величині ІМД.

Таблиця 2 – Категорії держав згідно з ІМД

	Категорії	Держави світу	Значення ІМД
I	Наддержави	США, Китай	0,098-0,121
II	Великі держави	Росія, Індія	0,058-0,085
III	Регіональні держави	Японія, Південна Корея, Німеччина, Франція, Бразилія, Туреччина, Іран, Великобританія, Італія, Канада, Єгипет, Пакистан, Індонезія, Австралія	0,017-0,038

Продовження таблиці 2

	Категорії	Держави світу	Значення ІМД
IV	Малі держави	Іспанія, Сирія, Мексика, Саудівська Аравія, Україна, Греція, Таїланд, Норвегія, Швеція, Алжир, Польща, Аргентина, Нідерланди, ПАР, Фінляндія, Венесуела, Швейцарія, Білорусь, Чилі, Румунія, Данія, Чехія, Португалія, Хорватія, Болгарія, Угорщина, Естонія, Литва, Грузія, Латвія	0,0158-0,0047

Однаке наразі багато країн світу поза традиційною системою воєнних альянсів нарощують економічні, дипломатичні та військові можливості на події у сферах регіональної і глобальної безпеки. Значне збільшення військових витрат Китаю, Росії, Індії та Саудівської Аравії є лише частиною загальної картини.

Окрім великої кількості населення і значної території, показники яких суттєво вплинули на величину ІМД Індії, необхідно зазначити, що вона належить до тих країн, які в останні роки намагаються розвивати власну оборонну промисловість. Зусилля Індії, спрямовані на модернізацію, переобладнання та ремонт військової техніки Збройних сил і розширення військових спроможностей, зробили країну найкрупнішим імпортером основних систем озброєнь. Її оборонна промисловість також намагається задовольнити цей попит – зокрема, за рахунок передач технологій [3].

Регресійний аналіз ІМД показав, що для багатьох країн світу, які не належать до країн з найвищим рівнем ІМД, спостерігається тенденція до його зростання завдяки швидкому економічному зростанню або значним ресурсним потенціалам. Враховуючи нинішню міжнародну обстановку можна припустити, що США, Китай, Туреччина, Південна Корея збільшать свої воєнні бюджети, а Велика Британія, Франція, Японія, Німеччина, Австралія, принаймні, їх збережуть. Враховуючи, що вони входять до переліку найкрупніших світових експортерів основних звичайних озброєнь, це і надалі сприятиме зростанню їх ІМД.

Своєчасне виявлення назрілих проблем національної безпеки держави, причин їх виникнення, а також шляхи їх подолання в значній мірі залежать від розуміння майбутнього. Геополітичний прогноз майбутнього України неможливий без урахування розвитку ситуації в Росії і політики Кремля.

На разі прогнози щодо майбутнього РФ звучать дуже суперечливо. З одного боку, є сценарії, що змальовують розпад Російської Федерації, з іншого, цю країну зараховують до групи держав, які розвиваються (БРІК).

Розрахована за допомогою ІМД лінійна регресійна модель показує, що для песимістичних прогнозів є досить підстав (див. рис. 2). Починаючи з 2009 року, Росія, як ні одна інша країна світу, почала втрачати свою могутність. На нашу думку, у першу чергу це пов'язано із загальною економічною кризою, що охопила світ у 2008 році. Враховуючи специфіку розрахунку ІМД, можна припустити, що не останню роль у його стрімкому падінні відіграла демографічна ситуація: стрімке старіння населення, очікувана низька тривалість життя, погіршення стану здоров'я населення та міграційний тиск тощо.

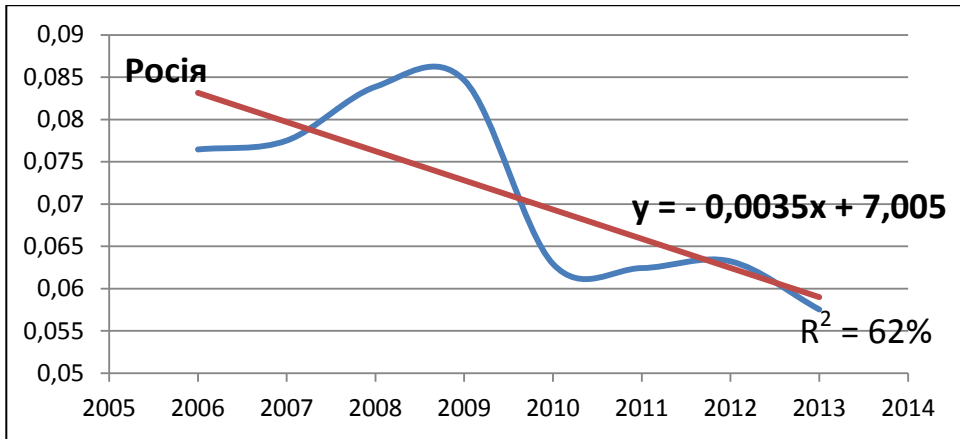


Рисунок 2 – Прогнозна модель ІМД Росії

Прогнозування в аналізі політики має на меті не передбачення, а спробу дати оцінку різним припущенням. Так, на тлі стрімкого падіння ІМД спостерігається коливний характер його зміни. При цьому величина амплітуди зменшується. З погляду теорії систем можна припустити, що це є свідченням відсутності продуманої державної політики РФ та затримки прийняття стратегічних рішень, в першу чергу, у сфері економічної безпеки.

Іншим вагомим аргументом для песимістичного прогнозу майбутнього РФ є сировинний характер російської економіки. Доходи від експорту нафти і газу тривалий час давали змогу Кремлю згуртувати країну, а також підсилювали її можливості з поширення свого впливу на найближчих сусідів. Однак низький модернізаційний потенціал, попри значні енергетичні запаси Росії, призводить до зростання собівартості їх розробки, що тягне за собою зростання витрат на утримання інфраструктури. Тому здатність Росії залишатися глобальним постачальником енергетичних ресурсів у майбутньому і використовувати їх з метою політичного тиску надалі викликає нині все більші сумніви.

Вважається, що для Росії 35 або 40, або навіть 60 доларів за барель буде руйнівним у фінансовому відношенні. Нещодавно ОПЕК опублікувала звіт та прогноз в енергетичній сфері. Зокрема, там ідеться і про втрати Росії від подешевшання нафти. Якщо світова ціна на нафту цього року збережеться на поточному рівні 55 доларів за барель, Росія в 2015 році заробить (на експорті) приблизно на 135 млрд. доларів менше, ніж у 2014 році.

Важливим чинником, який і надалі може посилити падіння ІМД Росії, є міжнародні санкції проти неї. Комітет Європарламенту із закордонних справ схвалив проект резолюції, що закликає до посилення санкцій Євросоюзу проти Росії в разі невиконання Мінських угод Москвою. У ньому зазначається, що якщо Росія буде продовжувати дестабілізувати ситуацію на сході України і не відмовиться від незаконної анексії Криму, ЄС має посилити санкції та розглянути можливість надання Україні оборонних озброєнь та іншої військової допомоги. Документ виноситься на голосування у червні.

Прогнози за допомогою ІМД не допоможуть передбачити майбутнє, проте вони допомагають ухвалювати стратегічні рішення та управляти невизначеністю. Аналіз концепту могутності держави Росія дозволяє зробити



наступний висновок: Росія ще залишається могутньою державою, але значно слабшає. Проте центральна влада, навіть втрачаючи свою силу, може успішно реалізовувати найрізноманітніші проекти, у тому числі військово-політичні сценарії.

Історичні факти свідчать, що СРСР, Ірак тощо, маючи велике значення оцінки могутності держави, припинили своє існування під вантажем власних внутрішніх проблем або зазнали воєнної поразки внаслідок непродуманої агресивної зовнішньої політики. Тому до висновку, що чим сильніша держава, тим більш надійно забезпечується її національна безпека, потрібно ставитися обережно.

Для України ІМД має важливе значення. На разі наша держава переживає важкі й історично визначальні часи. Стратегічні рішення, що будуть прийняті та впроваджені в життя у цей критичний час, сприятимуть або нашому виходу з кризового стану, або нашому подальшому збіднінню як фінансовому, так і духовному. Від вибору стратегічних партнерів і союзників зараз залежить наше майбутнє, а концепт індикатор могутності держави – це об'єктивний показник, за допомогою якого можна зрозуміти, досвід яких країн переймати, які союзи формувати та яких уникати.

Розрахунки показали, що впродовж 2006 – 2013 рр. в рейтингу держав за рівнем ІМД Україна посідала місця з 21 по 27, по чергово міняючись місцями з такими країнами, як Греція, Мексика, Сирія, Іспанія, Норвегія, Саудівська Аравія, Таїланд.

Зовсім нещодавно пошук балансу між потребами безпеки та економічними реаліями залишався в центрі дискусій в багатьох країнах – разом зі зміцненням розуміння, що суто військові рішення дедалі менше відповідають потребам розв'язання актуальних безпекових проблем майбутнього.

Автор статті [3] зазначав, що у 2011 р. західні столиці отримали підтвердження аргументів на користь того, що в майбутньому найбільшу загрозу добробуту й безпеці розвинутого світу загалом і наявним інструментам міжнародної безпеки зокрема несуть не традиційні загрози, а фінансова безвідповідальність і марнотратство, в т.ч. тривалі витрати на різні війни. В майбутньому значно більше уваги треба буде приділяти зменшенню військової складової у розв'язанні проблем безпеки, що є і політичною, і практичною потребою.

На жаль, нині світовій спільноті ще належить усвідомити триваючі структурні зміни, що визначають нинішню динамічну складну картину міжнародної безпеки. Збройна агресія Росії проти України стала визначальним чинником її державності. Внаслідок її дій впродовж 2014 р. за рахунок нехтування значної частини міжнародного права було зруйновано систему глобальної та регіональної безпеки. Росія застосувала проти України так звану концепцію «гібридної війни»: приховування військового конфлікту та застосування у ньому незаконних воєнних формувань, диверсантів, сепаратистів, інформаційну війну, кібер- та економічні засоби тощо.

Очевидно, що зазначені вище зміни випереджають здатність міжнародної спільноти впоратися з ними наявними засобами. Збройна агресія Росії проти України свідчить про те, що міжнародна система залишається вразливою до раптових потрясінь, спричинених географічно локалізованим інтенсивним застосуванням збройної сили.

Враховуючи вищезазначене, а також характер змін ІМД, можна припустити, що громадськість розвинутих країн, особливо Європи, буде з підозрою сприймати пряму військову допомогу Україні, а національні уряди зазнають ще більшого тиску щодо скорочення військових витрат.

Більше того, на прикладі пропозицій щодо проведення на сході України міжнародної миротворчої операції підтверджується думка [3], що поєднання повноважень держав і міжнародних безпекових інститутів загрожує втратою керованості, може нині обмежувати їх волю і здатність до рішучих військових дій – як за мандатом ООН, так і в рамках ситуативних коаліцій.

Враховуючи значення індикатора могутності України, який є корисним критерієм для прийняття виважених політичних рішень і об'єктивним науковим підґрунтям державної політики національної безпеки, можна дійти висновку: за таких умов у нас є один вихід - зростання могутності держави має здійснюватися за рахунок створення сучасної армії і нарощування оборонного потенціалу. Для того щоби наша слабкість не провокувала агресора, разом вони мають стати надійною зброєю стримування.

## Висновки

Зазначені у статті тенденції змін індикатора національної могутності провідних держав світу окреслюють більш динамічну і складну безпекову ситуацію у світі, за якої визнані центри сили зазнають обмежень, з'являються нові центри сили, а традиційні міжнародні норми намагатимуться бути адекватними нинішнім і майбутнім викликам і загрозам. Попереду нас очікує багато нових й часто непередбачуваних загроз та ризиків.

Нарешті, ІМД – важливий інструмент системного аналізу, прогнозування та стратегічного планування. За допомогою моніторингу цей інструмент може стати потужною самостійною аналітичною процедурою, що здійснюється з метою визначення відхилень діяльності системи забезпечення національної безпеки від задекларованого державою стратегічного курсу.

Оцінка стану національної безпеки за допомогою ІМД має стати частиною загальнодержавного процесу, який би визначав тактику й стратегію розвитку особи, суспільства та держави.

Нарешті, автор хоче висловити щире подяку талановитій студентці 4 курсу Фізико-технічного інституту НТУУ «КПІ» Молоченко Д.Р. за активну участь у підготовці статті.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балахонцев Н. Зарубежные методы оценки потенциала стран / Н. Балахонцев, А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 11. – С. 101–104.
2. Винокуров Г.Н. Геополитический статус Китая как фактор российской политики ядерного сдерживания Соединенных Штатов / Г.Н. Винокуров, Б.А. Коныхин, Ю.А. Подкорытов // Стратегическая стабильность. – 2008. – № 2. – С. 49–53.
3. Гілл Б. Міжнародна безпека, озброєння та роззброєння / Б. Гілл // СІПРІ 2012: Щорічник: Озброєння, роззброєння та міжнародна безпека. – К.: Заповіт, 2013. – С. 3–12.
4. Горбулін В.П. Засади національної безпеки України / В.П. Горбулін, А.Б. Качинський. – К.: Інтертехнологія, 2009. – 272 с.
5. Жинкина И.Ю. «Национальная мощь» государства как инструмент американской дипломатии / И.Ю. Жинкина // США-ЭПИ. – 1999. – №9. – С. 22–34.

6. Керол Г. Вайс Оцінювання. Методи дослідження програм та політики / Г.В. Вайс. – К.: Основи, 2000 – 671 с.
7. Кларк У. Как победить в современной войне./ У. Кларк – М.: Альпина Бизнес Бук, 2004. – 240 с.
8. Кнорр К. Военный потенциал государств / Клаус Кнорр; [пер. с англ.]. – М.: Воен. изд-во Министерства обороны Союза ССР, 1960. – 392 с.
9. Общая теория национальной безопасности: Учебник. / Под общ. ред. А.А. Прохожева. – М.: Изд-во РАГС, 2000. – 320 с.
10. Пуденко С. "Комплексная мощь государства (нации)". Почему рухнул СССР и развивается Китай? / С. Пуденко // Альманах «Восток». – 2006. – №5. – С. 41–46.
11. Фартушняк Л.Л. Геополитический статус государства: сущностные характеристики. / Л.Л. Фартушняк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jurnal.org/articles/2008/polit80.html>.
12. Шустрова Т.В. Структура модели геополитического статуса государства. / Т.В. Шустрова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jurnal.org/articles/2010/polit7.html>.
13. Cline. R.S. World power assessment: a calculus of strategic drift/ R. S. Cline – Boulder: Westview Press, 1975 – 173 p.
14. Huang S. Study of comprehensive national power and situation / S. Huang // China National Conditions and Strength. – 1992. – №1. – P. 13–19.
15. Wang J. Bogdanov-Takens singularity in the comprehensive national power model with time delays / J. Wang, W. Jiang // Journal of Applied Analysis and Computation – 2013. – №1. – P. 81–94.

*Стаття надійшла до редакції 26.03.2015*

УДК 336.711.(477)

**А.О. ДРОБЯЗКО, О.О. ЛЮБІЧ**

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ БАНКІВ**

***Анотація.** В умовах макроекономічної фінансової нестабільності у менеджерів компаній з великими фінансовими потоками і у банкірів виникають питання довіри до банків партнерів. Часто банки, в силу різних причин, надають неповну або викривлену інформацію про свою діяльність. Тому виникає потреба у зрозумілій і наглядній інтерпретації управлінських рішень щодо можливості співпраці (відкриття лімітів) з контрагентами ринку. В роботі пропонується застосування методів кластеризації до прогнозування фінансової стійкості банків на основі комплексного аналізу інформації балансів банків.*

***Ключові слова:** фінансова стабільність, кластерний аналіз, фінансові показники балансу банків.*

### **Вступ**

Сталий економічний розвиток країни залежить від багатьох чинників, серед яких визначальним є фінансове забезпечення потреб суб'єктів підприємництва, домогосподарств і держави. Ключову роль у цих процесах відіграє фінансова інфраструктура суспільства, важливою складовою якої є банківська система. Саме вона насамперед значною мірою характеризує фінансовий потенціал країни, концентруючи фінансові ресурси та спрямовуючи їх на відповідні цілі, керуючись при цьому критеріями економічної ефективності. Банки є універсальними фінансовими установами, що поєднують між собою економічних агентів та їх інтереси, забезпечуючи рух грошових потоків. В умовах фінансової кризи для користувачів фінансових послуг банків постає питання вибору надійного банку, який забезпечить захищеність своїх фінансових потоків. Вилучення п'яти десятків банків Національним банком України (НБУ) з ринку протягом другої половини 2014 і першого кварталу 2015 років вимагає від менеджерів в умовах кризи приймати рішення на неповних і не завжди достовірних даних. Наведені в даній роботі графічні моделі аналізу інформації про діяльність банків надають можливість провести систематизацію різнопланової інформації і досягти прозорості у прийнятті управлінських рішень.

### **1. Проблематика дослідження**

З позицій дослідження банків як ключових інституцій фінансової інфраструктури, вкрай важливою є розробка методів прогнозування їхньої ліквідності та платоспроможності, тобто діагностування фінансової стійкості банку. Варто зазначити, що в умовах ринкової економіки абсолютно надійних банків не існує, особливо в умовах перехідної економіки з великим впливом політичних процесів на перерозподіл ринків та постійними змінами у регуляторних правилах ведення бізнесу [1].

Незважаючи на стрімке зростання у 2005-2008 роках, банківська система другого рівня зазнала значних втрат у період криз 2008-2009 рр. та 2014-2015 рр.

На рис. 1 [2] видно, що сумарні збитки, задекларовані банками, набагато більші, ніж прибутки, що були отримані раніше. Одним із завдань ризик-менеджменту кожного банку, а також фінансових директорів потужних компаній є правильна оцінка рівня ліквідності та платоспроможності контрагентів на міжбанківському ринку, оскільки завжди існує вірогідність розмістити гроші в банку на одну ніч і не повернути їх потім ніколи.

Практика показала, що у період фінансової кризи від негативних результатів не рятують ні валові показники активів і капіталу, ні країна походження акціонерного капіталу. Ключовим фактором у банківській роботі є якість клієнтської бази та рівень довіри між банком і акціонерами (можливість нових фінансових вливань у капітал банку), а також бездоганна ринкова репутація, що дозволяє залучати нові кошти на відкритому ринку. Погіршення виконання клієнтами своїх обов'язків перед банком зменшує розмір капіталу банку через механізм формування резервів, а виправити це можливо лише через збільшення акціонерного капіталу. Національний банк України, як кредитор останньої інстанції, може надати допомогу, але тільки у короткому проміжку часу і під жорсткі умови щодо подальших кроків банку щодо покращення показників адекватності капіталу.

У 2014-2015 рр. внаслідок макроекономічних процесів великої девальвації, яка за собою несе цінову нестабільність, якість кредитного портфеля банків значно погіршилась, в тому числі і через погіршення обслуговування своїх зобов'язань позичальниками, а сумарні обсяги збитків банків суттєво зменшили сформований балансовий капітал банківської системи. Це призвело до необхідності формування додаткових обсягів резервів, загальна динаміка яких у порівнянні з капіталом банків представлена на рис. 2 [2].

З нього видно, що в період фінансової кризи 2014-2015 рр. балансовий капітал банків «згорів». Перед менеджментом багатьох банків постав вибір – свідомо викривити реальну картину якості активів і виграти час для поліпшення ситуації чи відобразити реальний стан справ і отримати від регулятора заходи впливу з обмеження операцій і важкі переговори з власниками щодо швидкої капіталізації банків. Ясно, що не всі власники банків в умовах кризи готові інвестувати кошти в капітал банку на покриття поточних збитків. Капітал банків формується виключно у грошовій формі в національній валюті, тому девальваційні шоки знецінюють банківський капітал в першу чергу. Ми маємо констатувати, що сьогодні банкірам доводиться розглядати свій бізнес не як просту лавину спонтанних операцій, а як складний динамічний процес зі своїми течіями, підводними рифами, які потрібно постійно відслідковувати та приймати адекватні рішення у складних ринкових ситуаціях на неповному або свідомо викривленому інформаційному полі. При цьому важливо аналізувати не лише внутрішній стан банку, а й порівняльну оцінку політики кредитної активності інших суб'єктів банківської системи, позицію регулятора, судову практику, ефективність діяльності державної виконавчої служби.

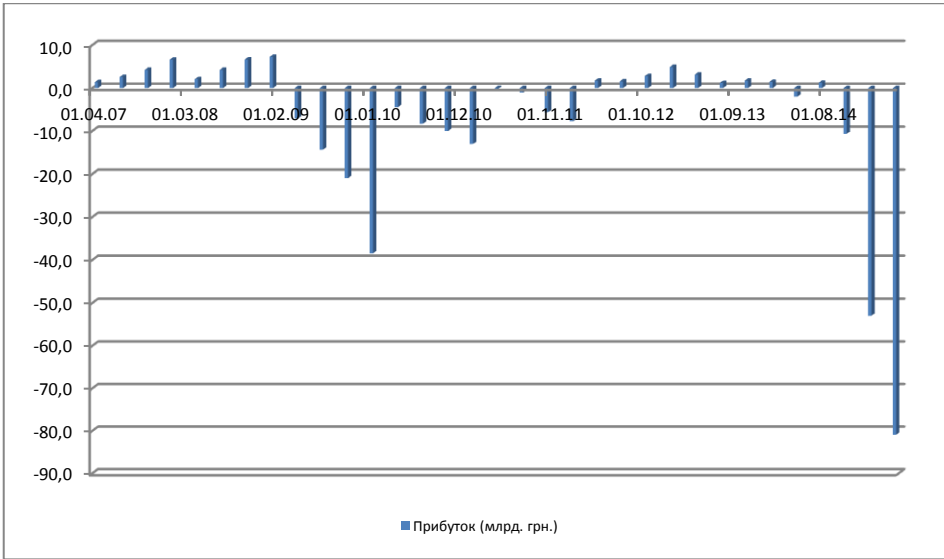


Рисунок 1 – Щоквартальні фінансові результати діяльності банківської системи у 2007-2015 рр., млрд. грн.

Є ще один аспект, який мало досліджується в сучасній літературі. Особливістю банків з українським капіталом є те, що вони, як правило, обслуговують фінансові потоки материнських промислово-фінансових груп. Галузеве погіршення ситуації, далекої від банківського бізнесу (наприклад, зміна кон'юнктури на світових товарних ринках), суттєво впливає на фінансовий стан банку.

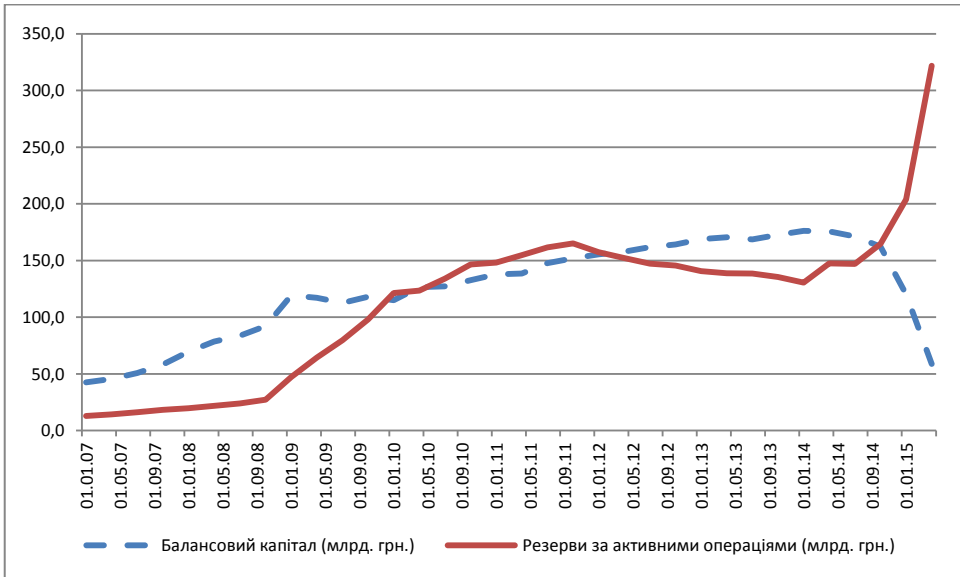


Рисунок 2 – Порівняльна динаміка зростання балансового капіталу і нарахованих резервів на активні операції в 1998-2015 рр., млрд. грн.

Наближеність до кредиторів за рахунок пасивної піраміди надає банкам фінансові інструменти, що дозволяють досить довго показувати позитивний фінансовий результат в умовах, коли мають місце суттєві збитки за рахунок погіршення фінансового стану позичальників. Тому економічні показники, які діють в розвинених економіках на наших теренах, не завжди надають адекватні результати.

Отже, прогнозування фінансової стійкості банків має особливе значення для усієї економіки та фінансової системи, і це не завжди можна зробити традиційними бухгалтерськими і аудиторськими методами.

## 2. Математичне представлення інформаційної технології управління

В цій роботі пропонуються для обговорення методи кластеризації показників банківських балансів. Ще в період кризи 1998 року, спостерігаючи за перебігом значної кількості розпочатих НБУ процедур ліквідації банків, була сформована гіпотеза, що банки, які є потенційними банкрутами, незважаючи на позитивні бухгалтерські показники, мають схожі вади у балансі, які можна розгледіти ще задовго до того, як банк втратить ліквідність. Ця теорія переросла у цикл робіт з аналізу кластеризації балансів банків, які щоквартально публікувалися у журналі «Фінансові ризики» в 1998-2009 рр. [3]. На практиці ці підходи використовувалися також для визначення рейтингів контрагентів на міжбанківському ринку і визначення їхнього класу (надійності) як позичальника на міжбанківському ринку, а також для розрахунку тарифів для страхових компаній, які страхували банківські депозити.

В економічній літературі існують рейтинги, за якими банки займають свої позиції в таблицях, що впорядковані за тим чи іншим показником. Такі рейтинги регулярно оприлюднює і Національний банк України, і Асоціація банків, а також такі видання, як «Вісник Національного банку України», «Бізнес». Проте різна, часто вибіркова інформація про банки не дає достовірної оцінки надійності того чи іншого банку в середньостроковому і довгостроковому періодах, а також можливості банку протистояти у стресовому періоді. Саме тому варто відійти від великої кількості таблиць, де дані впорядковувалися за різними показниками, а знайти адекватні графічні схеми, які б дозволяли побачити економічну стратегію, що проводить банк (група банків), а також об'єднати банки не за кількісними показниками, а за схожістю балансів і направленістю ведення бізнесу на різних сегментах ринку, оцінити цю стратегію з точки зору майбутніх макроекономічних викликів.

Баланси банків побудовані за принципом агрегації операцій з пониженням ліквідності за активом і ступеня затребуваності коштів за пасивом. У результаті зіставлення різних позицій активів і пасивів, доходів та витрат із різних видів активів та пасивів, кожному банку може бути розрахований рядок фінансових показників (вектор параметрів), що характеризує поточний фінансовий стан банку на дату складання балансу згідно з планом рахунків  $\{X(i)\}$ .

Якщо звести в одну таблицю балансові фінансові показники групи банків, що нас цікавлять, то матимемо масив числових даних (матрицю)  $A\{X(i)\}$ , де кожний рядок буде відповідати банку, а кожний стовпчик – відповідному фінансовому показнику згідно з планом рахунків банків. Така

узагальнена таблиця показників характеризуватиме поточний стан банків (статистична складова інформації), що аналізуються. Якщо матимемо кілька зведених таблиць з одним і тим же переліком банків та однаковими за змістом векторами даних, що впорядковані за часом (наприклад, поквартально за декілька останніх років) та таких, що відображають попередню історію розвитку системи банків або конкретного банку (динамічна складова інформації), то на матриці  $A\{X(i,t)\}$  з'явиться можливість аналізу еволюції системи в часі зафіксованого набору фінансових показників кожного конкретного банку.

Очевидно, що великі масиви інформації у вигляді числових таблиць даних надають собою маловиразний засіб відображення суті інформації і не дозволяють аналітику швидко робити висновки відносно прихованих за цифрами закономірностей без попередньої обробки. Тому для узагальнення таких даних з метою знаходження корисної інформації (нових знань) необхідно застосовувати формалізовані процедури й алгоритми. При цьому результати роботи подібних алгоритмів повинні бути «прозорими» для економічної інтерпретації, виявляти закономірності та передбачати можливість графічної візуалізації даних з метою активного діалогу аналітика і менеджерів, які приймають рішення в банківській сфері. Це доцільно робити з урахуванням специфічних знань (інколи інсайдерських) та інтуїції людини щодо об'єкта дослідження. Такі алгоритми обробки й узагальнення багатомірних даних мають бути організовані в різні рішення задач як на площині, так і для побудови випуклої оболонки кінцевої множини точок, перетинанні випуклих багатокутників, належності до випуклого багатокутника, послідовної побудови оболонки, випуклих шарів кінцевої множини точок. При аналізі багатомірних даних, що описують поточний стан банківської системи, зручно використовувати такі статистичні моделі [4]:

- модель хмари точок, що мають помірно еліпсоїдну форму;
- модель особливих точок – компактна хмара точок, причому присутні далекі викиди;
- кластерна модель – сукупність декількох хмар точок, що стоять далеко одна від одної;
- дискримінантна модель або модель розпізнавання образів;
- функціональна модель – точки концентруються вздовж кривої (парабола, експонента) або відповідають закону розподілу (наприклад, нормальному).

Однією із головних проблем кластерного аналізу у аналізі сукупності банківських балансів є знаходження пари показників, які найменшим чином впливали б один на одного. З алгебраїчної точки зору у матриці  $A\{X(i,t)\}$  маємо багатовимірний криволінійний простір, де одні осі (банківські показники), як правило, мають економічний вплив на інші показники (осі). Тому, однією із проблем аналізу цієї сукупності даних  $A\{X(i,t)\}$  є знаходження «площин», які мають дві максимально незалежні одна від одної осі (майже колінеарні). Розсікаючи такою «площиною» багатовимірний криволінійний простір, вирішується завдання проєкції об'єктів (банків) на «площину», кластеризація за хмарами точок, що аналізуються (фінансовий стан банків), знаходження схожих якостей різних банків.



### 3. Застосування графічних моделей до сукупності даних банківських балансів з метою виявлення проблемних банків

Для створення динамічної моделі аналізу надійності банку необхідний однорідний за показниками статистичний вектор. Початкову множину параметрів моделі складають показники, що характеризують агрегати активних та пасивних статей банківського балансу: РА(А) – робочі активи; ДА(А) – дохідні активи; ВА(А) – високоліквідні активи; НОСТРО(А) – коррахунки в інших банках; НБУ(А) – коррахунок та залишки на рахунках у НБУ; КП(А) – кредитний портфель; КсрК(А) – короткострокові кредити; ДсрК(А) – довгострокові кредити; МБК(А) – видані міжбанківські кредити; Кюо(А) – кредити юридичним особам; Кфо(А) – кредити фізичним особам; ЦП(А) – портфель цінних паперів; ЦПд(А) – портфель державних цінних паперів; ДЗ(А) – дебіторська заборгованість; ОЗ(А) – основні засоби; НД(А) – нараховані доходи; К(П) – балансовий капітал банку; РП(П) – робочі пасиви (балансовий капітал, залучені кошти за цінними паперами, що емітовані банком); ЗК(П) – залучені кошти; Кзп(П) – кошти «до запитання»; КсрЗК(П) – короткострокові залучені кошти; ДсрЗК(П) – довгострокові залучені кошти; ЛОРО(П) – коррахунки інших банків; НБУ(П) – залучені кошти від НБУ; МБК(П) – залучені міжбанківські кредити; Дюо(П) – кошти юридичних осіб; Дфо(П) – кошти фізичних осіб; ЦП(П) – цінні папери, що емітовані банком; ДС(П) – депозитні (ощадні) сертифікати, що емітовані банком; КЗ(П) – кредиторська заборгованість; НВ(П) – нараховані витрати. Усі перераховані показники зважені на валюту балансу (чисті активи) і виражені у відсотках. У дужках вказана належність кожного показника до активної «А» або пасивної «П» статті балансу.

Отже, графічне зображення будь-якого банку, незалежно від його розміру, можна представити наступною моделлю (рис. 3).

Залежно від зміни пропорцій статей у балансі, вигляд діаграми змінюється. Для аналітика цікаво досліджувати зміни у вигляді діаграми щодо конкретного банку протягом декількох років. При проведенні довготривалих спостережень, для банків, що втратили ліквідність і відносно яких НБУ розпочав процедуру тимчасової адміністрації, аналітичні показники за декілька місяців до настання цього моменту заносяться у спеціальну базу даних (База еталонних даних). Дієвість методики можна перевірити, вивчивши аналітичні статті у журналі «Фінансові ризики» за 2007 та 2008 роки [3], де дослідження демонстрували вади у балансах банків задовго до настання фінансової кризи на теренах України. Модель «квартал до кварталу» вказувала, що такі банки, як «Промінвестбанк», «Кредитпромбанк», «Надра», «Укргазбанк», «Київ», «Родовідбанк» мали у структурі своїх балансів спільні вади і ризики. За рахунок зусиль власників щодо капіталізації (зусилля на зміну структури балансу), деякі банки поліпшили структури балансу і витримали стрес від кризи (відтік депозитів, знецінення вартості кредитного портфеля). Інші ж банки втратили ліквідність, в результаті чого знадобилося втручання НБУ й уряду у діяльність їхнього менеджменту.



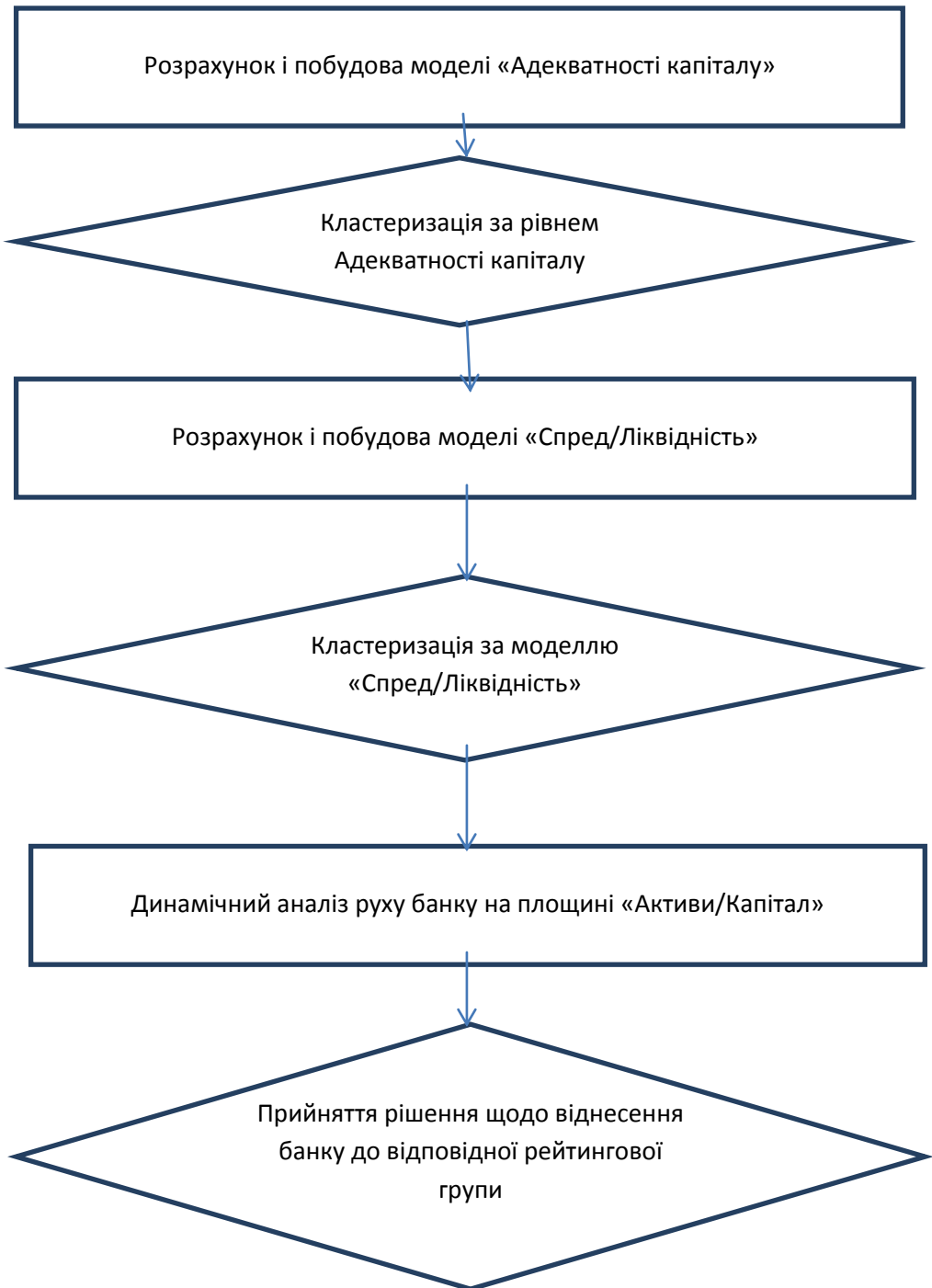


Рисунок 4 – Порядок використання моделей для кластеризації контрагентів банківського ринку

Другий крок: окреслюються групи банків, які можна зібрати в одну групу таким чином, що сумарне відхилення від середньої розрахункової величини для групи має нульове значення або дуже близьке до нуля. Якщо якась точка на площині перекошує сумарне відхилення, то її виділяють в

окремий кластер. Наприклад, показники ВіЕйБі банку (лівий нижній кут, знаходиться у процедурі тимчасової адміністрації) або Родовідбанку (лівий нижній кут) сьогодні суттєво відрізнялися за своєю структурою від інших банків. Промінвестбанк показав на кінець року значні збитки і зменшив свій капітал (правий верхній кут).

Рис. 5 відображає стан капіталізації банку на поточний момент у порівнянні з іншими суб'єктами, що працюють на ринку. Банки, що знаходяться у правому верхньому куті, мають більші ризики, що не покриті власним капіталом і потребують швидкої докапіталізації. Але це банки, які заробляють на залучених коштах. Банки, що знаходяться у лівому нижньому куті, мають малий портфель працюючих активів і, як наслідок, малоприбуткову діяльність.

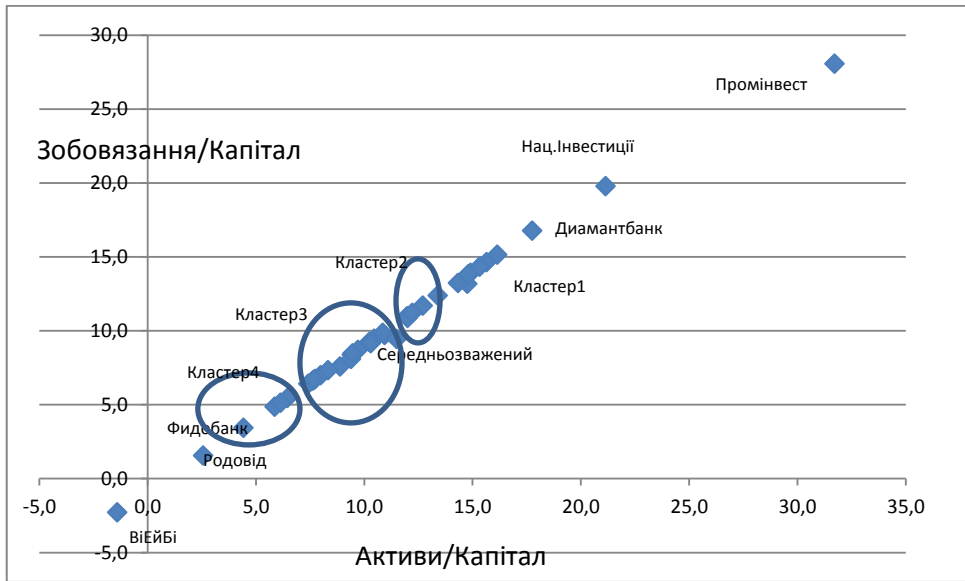


Рисунок 5 – Кластеризація банків за моделлю захищеності зобов'язань та активів банку балансовим капіталом найбільших банків станом на 01.01.2015 р.

За кожною окресленою групою розраховуються середньозважені показники з усієї множини відносних параметрів, а також будується графічне зображення, як на рис. 3. Отже, аналіз великої кількості об'єктів (банків) зводиться до аналізу фінансових показників невеликої кількості об'єктів (кластерів) [3].

Досвід застосування на практиці декількох моделей показав, що аналіз на площині «спред/ліквідність» у своїй економічній суті має найменш залежний один від одного набір показників, тобто забезпечує майже колінеарність осей.

Третій крок: кластеризація за моделлю «спред/ліквідність», де в системі координат на осі X розраховується ліквідність банку (відношення суми високоліквідних активів за виключенням сальдо статей міжбанківських активних та пасивних операцій до зобов'язань), а на осі Y – чистий спред (різниця між процентною вартістю робочих активів та вартістю залучених пасивів). До цієї множини точок можна додати історичні дані, які характеризували банки, що через півроку втратили ліквідність. Межі кожного

кластеру обводяться випуклим багатокутником. Банки, що потрапили в один багатокутник, мають схожі проблеми або досягнення в якості операційної роботи (рис. 6). У цій системі координат банки, що знаходяться у лівому нижньому куті, мають суттєві проблеми. Банки, які мають негативний спред, сумарно купують ресурси дорожче, ніж надають в кредити. Таким чином проїдають акціонерний капітал. Банки, які мають низьку ліквідність, як правило, обслуговують обіг платежів клієнтів за рахунок залучених коштів, і якщо на ринку виникає дефіцит коштів, то банк може швидко втратити ліквідність.

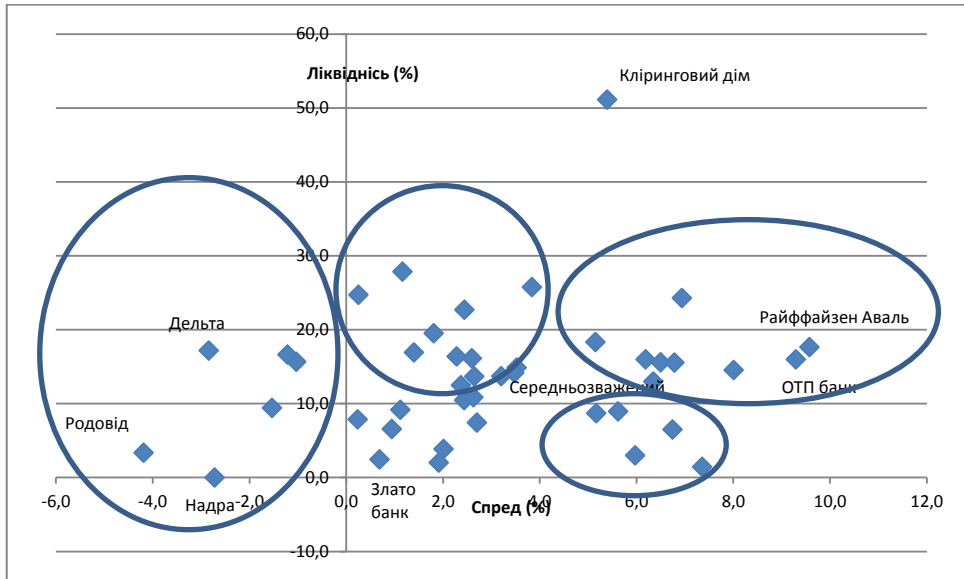


Рисунок 6 – Кластеризація банків за моделлю «спред/ліквідність» найбільших банків станом на 01.01.2015 р.

Наведений розрахунок моделі наглядно показує місце на площині банків «Надра», «Дельта» та «Златобанк», за декілька місяців до того, як НБУ прийняв рішення про введення тимчасової адміністрації. А також добре видно стратегію поведінки на ринку банків із західним капіталом, наприклад, «Райффайзен Аваль», «ОТП банк».

Четвертий крок. Аналіз результатів. Вдало обрана система координат залежно від поточних проблем, що мають місце на ринку, дозволяє банківському аналітику, з одного боку, позиціонувати на ринку свій банк, а з іншого, – побачити групи банків, які мають стратегії, що, на думку аналітика, є небезпечними, наприклад, значна залежність ліквідності банку від короткострокових міжбанківських ресурсів. Так, ще за декілька місяців до рішень регулятора банки «Дельта», «Надра», «Родовід», «Фідо банк», «Хрещатик» мали схожі вади у банківському балансі і фінансових потоках доходів – витрат. Одні банки зробили зусилля на подолання кризи, інші – ні.

Сукупний аналіз моделей (банк має низький рівень капіталізації (рис. 5) та проблеми зі спредом і ліквідністю) майже точно ставить діагноз щодо його платоспроможності і, відповідно, дає змогу прийняти рішення щодо відкриття лімітів на операції з ним.

П'ятий крок. Додатковий аналіз руху банку в історичній площині активи-капітал (рис. 7, перераховані у доларах США за офіційним обмінним курсом НБУ) надає можливість аналітику переконатися, що менеджмент банку правильно оцінює свої ризики і проводить адекватну політику капіталізації банківської структури як за рахунок залучення коштів акціонерів, так і за рахунок власної прибуткової діяльності. На рис. 5 відображений рух окремих банків на проміжку часу: 10.08.2008 (до кризи 2008 р.); 01.01.2010 (рік після кризи 2008-2009 років); 01.01.2013 (до кризи 2014-2015 років); 01.05.2015 (теперішній час). Показовим є рух державних банків. Ощадбанк – траєкторія руху  $\{(5,0;0,5), (7,5;2,1), (10,8;2,3), (6,9;1,1)\}$ . Укресімбанк – траєкторія руху  $\{(6,9;0,7), (7,2;1,4), (11,0;2,2), (6,9;0,6)\}$ . Траєкторія руху обох банків за близько 7 років майже по замкненому колу, і це з урахуванням того, що ці структури є позичальниками на міжнародних фінансових ринках під гарантії Уряду. Траєкторія руху банку із західним капіталом Укрсоцбанку  $\{(7,7;0,7), (5,5;0,8), (4,9;1,0), (2,4;0,4)\}$  характерна майже для всіх банків із західним капіталом і має направленість на згортання активних операцій на українському ринку. Рух банку із російським капіталом Промінвестбанку  $\{(5,5;0,7), (3,8;0,7), (5,2;0,7), (3,0;0,3)\}$  вказує теж на поступове зниження активності і втрати активів внаслідок негативних макроекономічних процесів.

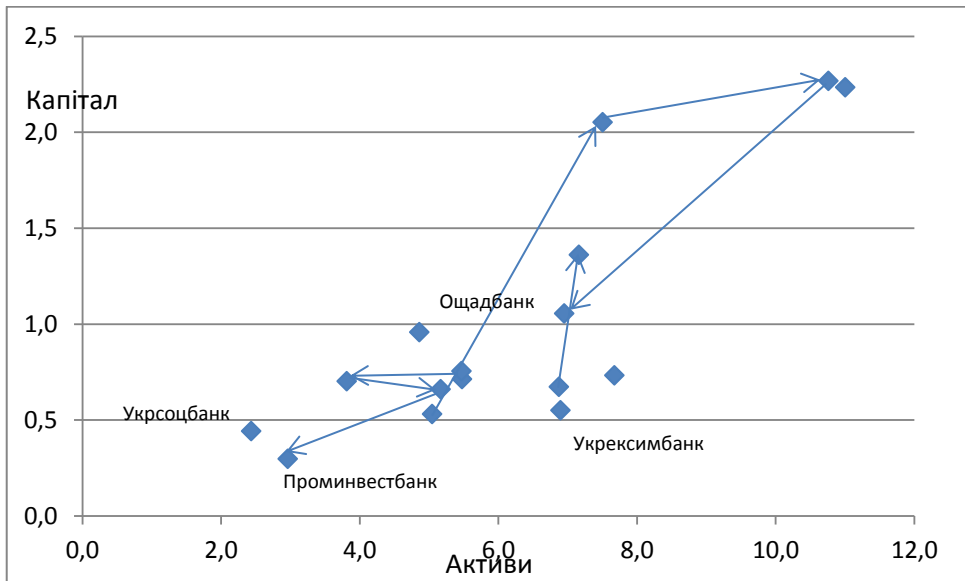


Рисунок 7 – Динамічна модель аналізу руху банків на площині «Чисті активи/Балансовий капітал» у 2008-2015 рр., еквівалент млрд. доларів США

Апробація методики кластеризації банків засвідчила, що ще на початку 2013 року в одну групу з високими ризиками потрапили такі великі банки, як «Надра», «Дельта», «Київська Русь», «Київ», та багато інших невеликих банків, які на період розрахунку ще мали позитивний фінансовий результат і спільні вади у балансі, що і зумовило їхні наступні проблеми у 2014-2015 роках. Як наслідок, ці банки були пізніше вилучені регулятором з ринку.

Результати кластеризації не варто розглядати як якийсь рейтинг (кредитний, надійності або фінансової стійкості). В один кластер

об'єднуються банки, що мають схожі структури балансів та відрізняються від інших банківських структур. У загальному розумінні близькі структури активів та пасивів за схожими управлінськими рішеннями повинні генерувати близькі фінансові результати. Якщо це не так, то виникають питання, на які варто шукати відповіді у методах ефективного управління активами і пасивами банку, ризиками (ринковим, кредитним і операційним), а також якістю відображення реального стану банку в цілому.

Наведений алгоритм кластеризації банків не є монопольним поглядом серед сучасних аналітиків. Багато експертів при аналізі процесів, що відбуваються на міжбанківському ринку в Україні, групують банки за країнами походження капіталу. Під час кризи 2009-2015 років відбулася фрагментація банківського сектору. На початку 2015 року банківський ринок України розпався на декілька сегментів (кластерів), які мають між собою мінімальну кількість контактів. Це банки, що представлені на ринку України міжнародними глобальними банківськими корпораціями, в умовах кризи Європейського Союзу користуються стратегіями розвитку, які відповідають вимогам країн походження капіталу. З іншого боку, виділяють окрему групу банків з російським капіталом, які за останні роки значно підвищили свої активи на українському ринку. За рахунок державної підтримки збільшили активи й українські банки з державним капіталом. В окремі дві групи можна виділити банки з приватним українським капіталом, де Приватбанк займає визначену окрему позицію. Тим не менше, наведена в статті методика досить точно надає можливість зрозуміти різницю у поведінці на ринку (стратегії розвитку) банків з різним походженням капіталу.

## **Висновки**

Наведений метод оцінки фінансового стану банків може бути рекомендований для використання в поточній діяльності як ризик-менеджерів банків, так і служб пруденційного банківського нагляду, для кластеризації банків з точки зору планування першочергових виїзних перевірок банків. Метод оцінки фінансового стану банків надає можливість зрозумілої і наглядної інтерпретації управлінських рішень щодо перспектив співпраці (відкриття лімітів) з контрагентами ринку на доступній і інколи не повністю достовірній або викривленій інформації.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Любич О.О. Теоретичні основи прийняття фінансових рішень на макrorівні. – К.: НДФІ, 2004. – 348 с.
2. Інформаційний ресурс НБУ: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.bank.gov.ua](http://www.bank.gov.ua)
3. Дробязко А., Сушко В. Банки Украины. Обобщенный портрет на фоне мирового финансового кризиса // Финансовые риски. – 2008. – № 1. – С. 21–44.
4. Мидлин Ю.Б. Экономическая сущность кластеров // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Экономика и право», № 1. – 2011.

*Стаття надійшла до редакції 10.04.2015*

УДК 004.942

**Д.В. СТЕФАНИШИН**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНО ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ  
РОЗРАХУНКОВОЇ ВИТРАТИ ВОДИ МАЛОЇ ЙМОВІРНОСТІ  
ПЕРЕВИЩЕННЯ НА ВОДОПРОПУСКНИХ СПОРУДАХ  
З ВРАХУВАННЯМ РИЗИКУ**

***Анотація.** Запропоновано аналітичний метод обґрунтування економічно оптимального значення розрахункової витрати води малої ймовірності перевищення на водопропускних спорудах з врахуванням ризику на основі даних гідрологічних спостережень. Задача вирішується на прикладі проекту водопропускних споруд малої гідроелектростанції на річці Стрий у Львівській області.*

***Ключові слова:** водопропускні споруди, закони розподілу ймовірності, збитки, ймовірність перевищення, приведена вартість, розрахункова витрата води, ризик збитків, узагальнені втрати.*

**Вступ**

Водопропускні споруди, що забезпечують організований пропуск води у складі гідровузлів різного призначення, відносяться до відповідальних гідротехнічних споруд, забезпеченню надійності яких приділяють значну увагу і на зведення яких витрачаються значні кошти. В деяких випадках їх вартість може сягати 50% і більше від загальної вартості гідротехнічних проектів. При цьому окрім збитків від пошкодження і руйнувань конструкцій власне водопропускних споруд, аварії і надзвичайні ситуації на них загрожують переповненням водосховищ, руйнуваннями гребель і дамб, будівель гідроелектростанцій, інших гідроспоруд у складі гідровузлів та об'єктів в нижніх та верхніх б'єфах [1].

Однією з основних причин аварій на водопропускних спорудах є перевищення максимальних витрат води паводків над розрахунковими витратами, на які споруди розраховуються при проектуванні [1]. При цьому часто водопропускні споруди, особливо катастрофічні водоскиди, водоспуски й водовипуски, можуть використовуватися за призначенням тільки в екстремальних випадках – при пропуску паводків малої ймовірності перевищення (від 5 до 0,01%). Тому обґрунтування розрахункових значень максимальних витрат води на водопропускних спорудах являє собою не лише складну і надзвичайно відповідальну інженерно-технічну задачу забезпечення надійності й безпеки гідротехнічних та гідроенергетичних об'єктів, а й складну та відповідальну інженерно-економічну задачу.

**1. Особливості гідрологічного прогнозування максимальних витрат води малої ймовірності перевищення**

В інженерній гідрології існує два принципові напрямки досліджень максимальних гідрологічних характеристик малої ймовірності перевищення



(забезпеченості), які умовно можна визначити як імовірнісний (або статистичний) та генетичний (детерміністичний) [2].

Генетичний напрямок виходить з очевидності й необхідності кількісного дослідження причинно-наслідкових зв'язків між гідрологічними характеристиками (витратами, об'ємами стоку тощо) та стокоутворюючими факторами, насамперед, з гідрометеорологічними, площею річкового басейну, особливостями його рельєфу, поширенням лісів, боліт тощо. Однак кількісну сторону цих зв'язків, через їх надзвичайну складність і взаємозалежність, на разі дуже важко виразити надійними генетичними рівняннями стоку. Тому генетичний напрямок все ще не знайшов значного практичного використання і здебільшого обмежується побудовою різного роду регіональних емпіричних формул.

В підґрунті імовірнісного підходу до прогнозування максимальних гідрологічних характеристик лежить використання методів математичної статистики та теорії ймовірностей для обробки даних спеціалізованих гідрометричних спостережень за максимальними характеристиками стоку, визначення на їх основі статистичних параметрів розподілів ймовірності, оцінка емпіричних ймовірностей та побудова аналітичних кривих забезпеченості (ймовірності перевищення) на основі законів розподілу ймовірності. Перевагою імовірнісного підходу є те, що в його рамках інтегровано оцінюється комплекс різноманітних факторів, що визначають максимальний стік й максимальні витрати води, зокрема, шляхом прямих замірів рівнів води та витрат з наступною статистичною обробкою гідрологічних часових рядів [2-4]. Оскільки гідрологічні явища і процеси в переважній більшості є багатфакторними, представляють результат дії великого числа випадкових факторів і зв'язків, вплив кожного з яких на формування явища максимального стоку адекватно врахувати в рамках генетичних (детерміністичних) моделей стоку практично неможливо, в практичних гідрологічних розрахунках максимального стоку імовірнісні методи користуються значною популярністю. Цей напрямок гідрологічних досліджень є характерним для більшості країн світу, де ведуться тривалі гідрометричні спостереження.

Основною математичною моделлю при імовірнісному прогнозуванні витрат води за даними гідрометричних спостережень є закон розподілу ймовірності випадкової величини. Для більшості річок, що не зазнали значного антропогенного навантаження та при наявності даних безперервних спостережень на достатніх інтервалах часу (не менше 30-40 років), це припущення певною мірою себе виправдовує [2-4]. Існує ряд аналітичних законів розподілу ймовірності, які в тій чи іншій мірі відповідають умовам моделювання максимальних гідрологічних характеристик за даними спостережень в рамках статистично-імовірнісного підходу і можуть застосовуватися для вирішення практичних задач прогнозування максимальних витрат води малої ймовірності перевищення. Зокрема, це трьохпараметричний гамма-розподіл С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля [4], який рекомендується вітчизняними нормами, закон Гумбеля типу I, закон Пірсона типу III, логарифмічно нормальний закон, які успішно використовуються при гідрологічному прогнозуванні за кордоном [3].

## 2. Загальна постановка задачі, вихідні дані та моделі

Аналітичні функції розподілу ймовірності, що використовуються для згладжування емпіричних функцій розподілу й прогнозування шляхом екстраполяції максимальних витрат води малої ймовірності перевищення, що ще не спостерігалися, підбирають так, щоб вони якнайкраще відповідали наявним даним спостережень і, звичайно, особливостям формування й перебігу явища максимального стоку на ріці, що досліджується. При цьому, різні аналітичні закони розподілу ймовірності, що використовуються при моделюванні й прогнозуванні максимальних гідрологічних явищ, можуть давати досить близькі результати на інтервалах, що відповідають тривалості спостережень й емпіричним частотам, тоді як екстраполяція в область значень максимальних витрат води, що не спостерігалися, але є предметом прогнозування, веде до наростання розбіжностей між результатами, що відповідають різним аналітичним законам розподілу.

Приклад такої розбіжності, яка породжує невизначеність прогнозування максимальних витрат води малої ймовірності перевищення за допомогою різних законів розподілу ймовірності, показано на рис. 1 та в табл. 1, де наведено результати прогнозування розрахункової витрати води 1% ймовірності перевищення для обґрунтування розмірів водопропускних споруд малої гідроелектростанції на р. Стрий, що проектувалась у Львівській області. При моделюванні використовувався гідрологічний ряд максимальних витрат р. Стрий, заміряних на гідрометричному посту Верхнє Синьовидне з 1951 р. по 1998 р.

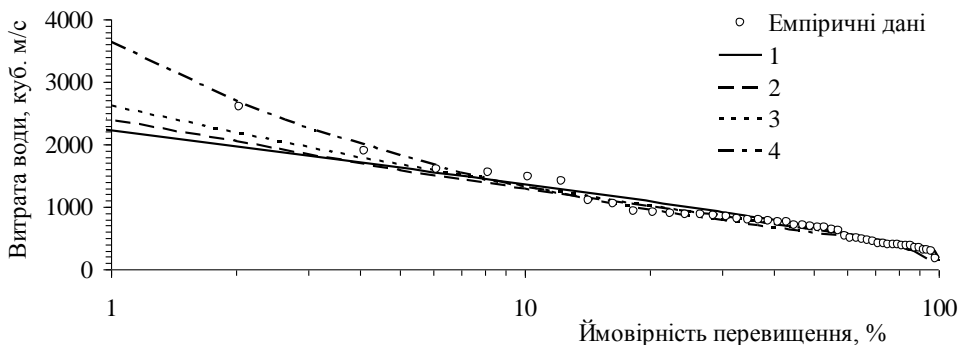


Рисунок 1 – Криві ймовірності перевищення максимальних витрат води р. Стрий, побудовані за даними спостережень на гідрометричному посту Верхнє Синьовидне

Пояснення до рис. 1:

- 1 – закон Гумбеля типу I (арифметичний);
- 2 – трьохпараметричний закон Крицького-Менкеля при  $C_V = 0,6$ ,  $C_S = 4C_V$ ;
- 3 – закон Пірсона типу III (логарифмічний, десяткові логарифми);
- 4 – закон Гумбеля типу I (логарифмічний, натуральні логарифми).

Таблиця 1 – Результати прогнозування розрахункової витрати води 1% ймовірності перевищення р. Стрий на гідрометричному посту Верхнє Синьовидне

№ з/п	Закон розподілу ймовірності	Максимальна витрата води, м <sup>3</sup> /с
1	Гумбеля типу I (арифметичний)	2219
2	Крицького-Менкеля при $C_V = 0,6$ ; $C_S = 4C_V$	2395
3	Пірсона типу III (десяткові логарифми)	2621
4	Гумбеля типу I (натуральні логарифми)	3633

Основні статистичні характеристики гідрологічного ряду – середнє  $E$ , стандарт  $S$ , коефіцієнт варіації  $C_V$ , коефіцієнт асиметрії  $C_S$ , отримані за формулами математичної статистики, відповідно склали:  $E = 755,4$  м<sup>3</sup>/с,  $S = 466,5$  м<sup>3</sup>/с,  $C_V = 0,62$ ,  $C_S = 1,89$ . Емпіричні ймовірності перевищення ( $\hat{P}$ , %) встановлювалися за формулою Вейбула [3]:

$$\hat{P} = 100 \frac{m}{n+1}, \quad (1)$$

де  $m$  – порядковий номер члена, упорядкованого у порядку спадання варіаційного ряду;  $n$  – загальна кількість членів ряду максимальних витрат води.

Оскільки, за однієї й тієї ж заданої (нормативної) ймовірності перевищення, розрахункові значення максимальної витрати води можуть бути різними – меншими або більшими в залежності від вибраного закону розподілу, то, відповідно, будуть зменшуватися або збільшуватися розміри водопропускних споруд та їх приведена вартість  $C$ , яка як функція витрат води добре апроксимується залежностями виду [5]:

$$C = k \cdot Q^b, \quad (2)$$

де  $k$  – вартісна константа, яка характеризує тип водопропускної гідроспоруди, її конструкцію, матеріали, технологію будівництва, правила експлуатації, технічне обслуговування тощо;  $b$  – параметр, який може трактуватися як еластичність затрат ( $b = 0 \div 1$ ):

$$b = \frac{Q}{C} \frac{dC}{dQ}. \quad (3)$$

При цьому при перевитраті коштів на будівництво та експлуатацію водопропускних споруд при виборі більшого значення розрахункової витрати води заданої ймовірності перевищення й збільшенні їх пропускної здатності можна очікувати зменшення ймовірності можливих аварій і надзвичайних ситуацій і ризику збитків від них на гідроспорудах, і навпаки, при економії

коштів і проектуванні водопропускних споруд на меншу пропускну здатність з вибором меншого значення розрахункової витрати води заданої ймовірності перевищення слід очікувати збільшення ймовірності можливих аварій і надзвичайних ситуацій та ризику збитків від них.

### 3. Врахування ризику при обґрунтуванні економічно оптимального значення розрахункової витрати води

Чинні норми в більшості країн світу, зокрема і в Україні [6], при обґрунтуванні розрахункових значень максимальних витрат води при проектуванні водопропускних споруд враховують ризик опосередковано – шляхом регламентації ймовірностей перевищення відповідних гідрологічних характеристик в залежності від класу споруд за відповідальністю та наслідками аварій та надзвичайних ситуацій (табл. 2).

Таблиця 2 – Допустимі щорічні ймовірності перевищення розрахункових максимальних витрат води згідно з чинними вітчизняними нормами [6]

Розрахункові випадки	Щорічна допустима ймовірність перевищення $p$ , %, розрахункових максимальних витрат води для класів гідроспоруд			
	СС3	СС2-1	СС2-2	СС-1
Основний	0,1	1,0	3,0	5,0
Перевірний	0,01*	0,1	0,5	1,0

\* З врахуванням гарантійної поправки

Оскільки розрахункове значення максимальної витрати води заданої ймовірності перевищення може залежати від вибору аналітичного закону розподілу ймовірності (див. рис. 1), прийнятого в якості екстраполяційної моделі, то носій рішення, орієнтуючись на різні аналітичні закони розподілу, в залежності від результатів перевірки статистичних гіпотез чи мотивуючи своє рішення будь-якими іншими причинами, може занижувати чи завищувати розрахункове значення максимальної витрати при одній і тій же, регламентованій нормами, ймовірності перевищення (див. табл. 1).

При цьому може змінюватися вартість споруд і ризик збитків від можливої аварії або надзвичайної ситуації на водопропускних спорудах.

З врахуванням того, що збитки від гідродинамічних аварій на гідроспорудах визначаються переважно параметрами хвиль прориву (піковими витратами хвилі прориву в створах, часом добігання хвилі прориву, тривалістю затоплення тощо), які в свою чергу можуть залежати від типу гідроспоруди, що руйнується, об'єму водосховища, морфологічних характеристик долини ріки, залежність додаткових до втраченої вартості гідроспоруд збитків від прийнятого в проекті розрахункового значення максимальної витрати води заданої ймовірності перевищення (за умови необхідної корекції збитків, що мають безпосереднє відношення до аварії споруди або до проявів природного максимального стоку) можна замінити залежністю від параметрів хвилі прориву.

Тоді з вибором кожного з  $i$ -х альтернативних законів розподілу та відповідних їм альтернативних  $i$ -х розрахункових значень витрат води можна

пов'язати узагальнені щорічні втрати  $L_i$ , що визначаються сумами приведених вартостей  $C_i$  та ризиків збитків  $R_i$  відповідних проектних варіантів водопропускних споруд:

$$L_i = C_i + R_i, \quad i = \overline{1, n} . \quad (4)$$

Упорядкуємо модельні закони розподілу ймовірності або відповідні їм розрахункові значення витрат води заданої ймовірності перевищення  $p$  (далі – альтернативи) таким чином, щоб встановлені максимальні витрати води  $Q_{p, \max i}, \quad i = \overline{1, n}$ , задовольняли умові:

$$Q_{p, \max 1} < \dots < Q_{p, \max j} > \dots < Q_{p, \max n} , \quad (5)$$

де  $n$  – загальна кількість альтернатив.

Легко показати, що з метою порівняння альтернатив за вартістю водопропускних споруд в якості базової зручно приймати найдешевший з проектних варіантів, а з метою їх порівняння за ризиком збитків – найдорожчий з проектних варіантів.

Тоді узагальнені додаткові втрати у випадку прийняття  $i$ -ої альтернативи будуть:

$$\Delta L_i = \Delta C_i + \Delta R_i , \quad (6)$$

де  $\Delta C_n = C_n - C_1$ ;  $\Delta R_i = (p_{i,n} - p)D_A$ ;  $C_n, C_1$  – приведені вартості  $n$ -го та  $1$ -го проектних варіантів водопропускних споруд;  $p_{i,n}$  – ймовірність перевищення витрати  $Q_{p, \max i}$ , визначена на  $n$ -й альтернативі (тобто за допомогою  $n$ -го закону розподілу ймовірності) (див. приклад на рис. 2);  $p$  – задана ймовірність перевищення, прийнята в проєкті;  $D_A$  – очікувані збитки внаслідок аварії.

Відповідно для першої альтернативи узагальнені додаткові втрати  $\Delta L_1$  визначаються лише величиною додаткового ризику збитків, а узагальнені додаткові втрати  $\Delta L_n$  останньої  $n$ -ї альтернативи величиною додаткових затрат:  $\Delta L_1 = (p_{1,n} - p)D_A$ ;  $\Delta L_n = C_n - C_1$ .

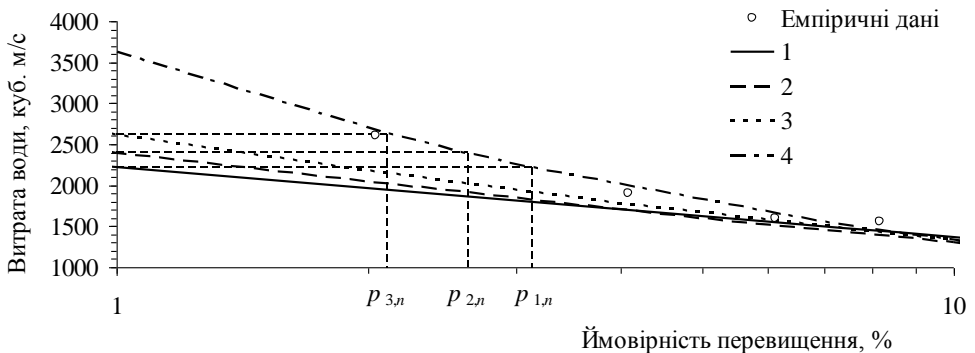


Рисунок 2 – Схема для визначення ймовірностей перевищення  $p_{i,n}$

Задача вибору економічно оптимального значення розрахункової витрати води малої ймовірності перевищення при цьому зводиться до задачі мінімізації цільової функції  $\Delta L_i$ , що визначає узагальнені додаткові втрати (6):

$$\Delta L_i \rightarrow \min_{Q_{p,\max i}}, i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

#### 4. Приклад обґрунтування економічно оптимального значення розрахункової витрати води

В якості прикладу розглядалася задача вибору економічно оптимального значення розрахункової витрати води на водопропускній споруді малої гідроелектростанції, що проектувалась на р. Стрий у Львівській області. Результати прогнозування розрахункових витрат води заданої ймовірності перевищення ( $p = 1\%$ ) за допомогою чотирьох законів розподілу ймовірності наведено на рис. 1 та в табл. 1 (гідрометричний пост Верхнє Синьовидне). Основні техніко-економічні показники варіантів водопропускної споруди, в залежності від розрахункової витрати води, наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Техніко-економічні параметри варіантів водопропускної споруди

Варіант споруди	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	Напір, м	Ширина водопропускного фронту, м	Вартість споруди, євро
1	2219	3,59	150	191887,5
2	2395	3,59	162	207238,5
3	2621	3,59	178	227706,5
4	3633	3,59	246	314695,5

Сукупні збитки від можливих аварій і надзвичайних ситуацій на водоскидній споруді приймалися рівними  $D_A = 5$  млн. євро. Результати розрахунку узагальнених додаткових втрат для порівняння варіантів споруди наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунку узагальнених додаткових втрат для порівняння варіантів водопропускної споруди ( $p = 1\%$ ,  $D_A = 5$  млн. євро)

Варіант споруди	Витрата води, м <sup>3</sup> /с	$P_{i,n}$ , %	$P_{i,n}$	$\Delta C_n$ , євро	$\Delta R_i$ , євро	$\Delta L_i$ , євро
1	2219	3,127	0,03127	0	106338	106338
2	2395	2,626	0,02626	15351	81292	96643
3	2621	2,1	0,021	35819	55000	90819
4	3633	1	0,01	122808	0	122808

Результати розв'язання задачі оптимізації та вибору економічно оптимального значення розрахункової витрати води показано на рис. 3.

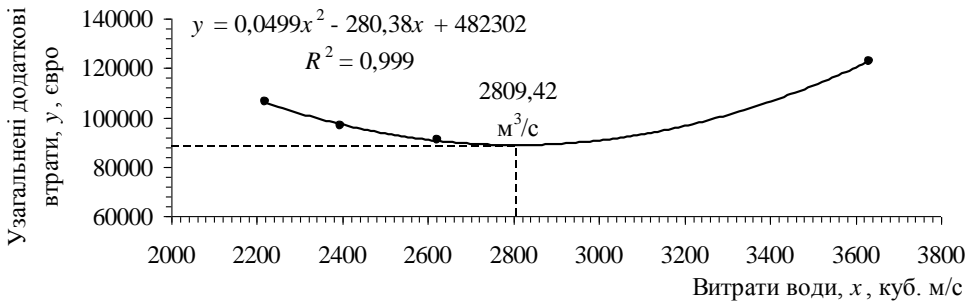


Рисунок 3 – Вибір економічно оптимального значення розрахункової витрати води

Встановлено, що в заданих умовах економічно оптимальне значення розрахункової витрати води складас 2809,42 м<sup>3</sup>/с і може прийматися рівним 2810 м<sup>3</sup>/с.

## Висновки

1. Обґрунтування розрахункових значень максимальних витрат води на водопропускних спорудах є складною інженерно-економічною задачею, обтяженою невизначеністю гідрологічного прогнозування та ризиком.
2. Задача вибору економічно оптимального значення розрахункової витрати води заданої ймовірності перевищення з врахуванням ризику може розв'язуватися як задача мінімізації додаткових узагальнених втрат у вигляді сум додаткових вартостей та ризиків збитків.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Векслер А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2002. – 591 с.
2. Картвелишвили Н.А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулирование речного стока / Н.А. Картвелишвили. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 191 с.
3. Виссмен У. мл. Введение в гидрологию / У. Виссмен мл. и др. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 470 с.
4. Крицкий С.Н. Гидрологические основы управления речным стоком / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1981. – 255 с.
5. Лаукс Д. Планирование и анализ водохозяйственных систем / Д. Лаукс, Дж. Стединжер, Д. Хейт // Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 316 с.
6. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення / ДБН В.2.4-3:2010. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 37 с.

*Стаття надійшла до редакції 17.04.2015*

## ДИСКУСІЙНІ ПОВІДОМЛЕННЯ

УДК 342.1:338.45.003.5

**І.В. КРЕМЕНОВСЬКА, О.А. СВЯТОГОР**

### **ВИЗНАЧЕННЯ РЕАЛЬНОЇ ВАРТОСТІ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

***Анотація.** У статті аргументовано недоцільність запровадження «зелених» тарифів на електричну енергію, що виробляється шляхом перетворення енергії Сонця. Показано наявність корупційної складової у системі виробництва електричної енергії та виявлено причини виникнення дисбалансу на енергоринку України. За результатами розрахунків реальної вартості «зеленої» електроенергії обґрунтовано, що покриття збитків і витрат на виробництво електроенергії з альтернативних джерел відбувається за рахунок пересічних споживачів – населення.*

***Ключові слова:** електрична енергія, енергоринок, тарифоутворення, альтернативні джерела електроенергії, «зелені» тарифи.*

#### **Вступ**

Згідно з нормами Закону України «Про електроенергетику» електроенергія є товаром, який призначений для купівлі-продажу на ринкових умовах. З огляду на це, використовувану електроенергію має бути компенсовано та оплачено споживачем, виходячи з її реальної вартості.

Разом з тим, електроенергія є вельми специфічним товаром (продукцією), що характеризується збігом моменту споживання і моменту виробництва: іншими словами, електроенергія має ознаки не лише товару, але і послуги, оскільки послуга також споживається одночасно з її наданням.

Електроенергію, що вироблено у промислових масштабах, на відміну від класичного товару, неможливо покласти на склад, зберегти, вивезти в ємності тощо. Специфічність електроенергії як товару (послуги) пов'язана з особливостями її виробництва, постачання, ціноутворення, порядку розрахунків за її придбання.

Брак наукових публікацій з цієї проблематики спричиняє фрагментарність уявлення про дійсну вартість «зеленої» електроенергії, хибне сприйняття її як «дармової», а також стає підґрунтям для маніпуляцій суспільною свідомістю з боку авторів деяких законопроектів у галузі тарифного регулювання, що вводять споживачів в оману.



Наразі вченими робилися лише поодинокі спроби дослідити пов'язані із цим питання, що дістало свого висвітлення у працях Б.В. Деревянка, Г.Д. Джумагельдієвої, О.А. Ашуркова та інших науковців. За підсумками вивчення правового регулювання та перспектив розвитку альтернативної енергетики в Україні Д.П. Богатчук висновує про недоцільність зниження «зеленого» тарифу на даному етапі, зважаючи на неурівноваженість відповідним зменшенням ризиків у цій сфері та з огляду на вірогідне істотне падіння її інвестиційної привабливості [1, с. 95]. Окремі пропозиції щодо вдосконалення чинного законодавства, яке регулює платіжно-розрахункові відносини у сфері житлово-комунального господарства було викладено у дослідженні Р.А. Джабраїлова [2, с. 95 – 97]. Нами, зокрема у попередніх публікаціях, було порушено питання стосовно оцінки можливостей створення в Україні єдиних розрахункових центрів для оплати житлово-комунальних послуг [3, с. 160 – 163] та спростовано поширену нині думку про тарифну «простоту» [4, с. 92 – 94]. З огляду на це, метою даного дослідження є подальше обґрунтування пропозицій щодо визначення (математичного розрахунку) дійсної вартості такого специфічного товару, як «зелена» електроенергія.

## **1. Електроенергія як товар: особливості виробництва і споживання**

Електроенергія – це найбільший винахід людства, без якого неможливо уявити сучасну цивілізацію. З одного боку, цей товар (послуга) не є життєво необхідним фактором, як їжа, питво, житло, але, з іншого боку, сучасна людина без електроенергії не зможе вижити і приречена на деградацію, а людство – на загибель і вимирання.

Настільки специфічний характер електроенергії, її «амбівалентне» значення (нікчемність – значущість), а в деяких випадках – майже релігійна загадковість, незбагненність для розуміння незміцнілими умами традиційно стають причинами фатальних прорахунків і помилок у питаннях тарифоутворення, а також розподілу цього блага.

Найбільш актуальним і одночасно найбільш складним при цьому залишається запитання про те, скільки коштує електроенергія в Україні. Відповідь на нього проста: вартість електроенергії різниться залежно від того, хто «запитує», тобто є споживачем.

Для нації, народу, держави – її ціна є непідйомною та штучно завищеною. Для населення (кінцевих споживачів), яке споживає електроенергію в побуті по лічильнику і при цьому споживання не перевищує 100 кВт·год на місяць на один лічильник (за яким стоїть хоч одна людина, хоч полк або табір) електроенергія коштує 36,6 копійок за кВт·год (без ПДВ – 30,5 копійок). Таку вартість електроенергії зафіксовано у постанові Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики (далі – НКРЕ) від 26 лютого 2015 р. № 220 «Про встановлення тарифів на електроенергію, що відпускається населенню».

При цьому для окремих (особливо «модних» і «сучасних») виробників електричної енергії, які виробляють її шляхом перетворення випромінювання Сонця на електрику, електроенергія (без ПДВ) коштує 1079,50 коп./кВт·год (постанова НКРЕ від 28 травня 2015 р. № 1637).

У своєму дослідженні, що присвячено оцінці ефективності впровадження альтернативних джерел електроенергії, І.В. Стеценко, Ю.А. Зав'ялець та

О.М. Яцько пропонують використовувати для визначення ефективності величину прибутку  $P$  від продажу сонячної електроенергії за «зеленим» тарифом:

$$P = K \times 3,50 - S \times 1 - E \times 0,63$$

де  $K$  – кількість кіловат сонячної електроенергії, проданої за «зеленим» тарифом, що складає 3,50 грн. за 1 кВт·год;  $S$  – кількість кіловат спожитої сонячної енергії вартістю 1 грн. за 1 кВт·год;  $E$  – кількість кіловат спожитої електроенергії з електромережі за тарифом 0,63 грн. за 1 кВт·год. [5, с. 135 – 136].

Наведений вище підхід вбачається дискусійним, оскільки не є зрозумілим, на якій підставі його авторами запропоновано брати до розрахунку вартість електроенергії, що становить 1 грн. за кВт·год.

Законодавством визначено, що кожен споживач має право і можливість встановити обладнання для генерування «сонячної» електроенергії, а її надлишки продавати енергопостачальній компанії. Водночас, для створення виробничої схеми необхідно виконати низку формальностей, але всі ці витрати часу і коштів є такими, що успішно компенсуються: тут варто звернути увагу на те, наскільки вражаючою є різниця у вартості електроенергії – майже в сорок разів (30 копійок проти 10,8 гривень).

Таким чином, споживачі (покупці) сплачують у сорок разів менше, ніж товар коштує на момент виробництва. З огляду на це, постає цілком логічне запитання про те, чи є описаний стан справ можливим на практиці. На перший погляд, може здаватися неймовірним і незбагненим те, як можна торгувати собі у збиток, але при цьому мати надприбутки. Для того щоби відповісти на ці запитання, слід, перш за все, визначити, хто саме покриває всю цю глобальну різницю, а головне – навіщо, з яким наміром, для чого і заради чого, за якими економічними показниками та на яких ідеологічних засадах.

Безумовно, порядок ціноутворення (тарифоутворення) у сфері електроенергетики має власні, притаманні лише йому особливості. У більшості випадків ці особливості виявляються цілком зрозумілими та з'ясовними. Однак усі ми, хто живе на пострадянському просторі, знаємо про існування однієї характерної риси функціонування економіки: якщо діє елемент державного регулювання цін, за якого регульовані ціни різняться в рази, то без зловживань ситуація існувати практично не може. З цього ж випливає і те, що за всі експерименти з цінами і тарифами тією чи іншою мірою сплачує кінцевий споживач.

Так, наприклад, вартість електроенергії у розмірі 1079,50 коп./кВт·год сплачує самотня бабуся, яка помиляється та наївно вважає, що сплачує всього лише 30 коп./кВт·год. І жодного парадоксу тут немає: створена вітчизняним олігархатом система ціноутворення і розрахунків у сфері електроенергетики дозволяє під красивими, псевдосоціальними гаслами обдурювати споживачів, роблячи бідних ще біднішими.

Цьому сприяє катастрофічно низька правова культура населення, що посилена, з одного боку, браком фахових знань у більшості чиновників, а з іншого – холоднокровним розрахунком і тотальною корумпованістю керівників галузі та службових осіб, які приймають відповідні управлінські рішення.

## 2. Корупційна складова

Не існує в Україні галузі більш політизованої, більш значущої, більш «грошової» та більш корупційної, ніж електроенергетика.

Промислова інфраструктура виробників електроенергії є вельми різноманітною, а тому різняться й собівартість електроенергії. Енергоресурси є дефіцитними, вони обмежені у застосуванні, та внаслідок цього у найближчому майбутньому не вбачається можливим досягнути повного заміщення або домінування одного ресурсу (одного способу виробництва) над іншими.

Вірогідно, так склалося історично, бо електроенергетика як галузь промисловості виникла всього лише близько ста років тому. Протягом цього часу було переглянуто десятки концепцій енерговиробництва, винайдено та запроваджено нові технології (наприклад, атомна електроенергетика), але разом з тим залишилися і старі – «класичні» виробничі структури (електроенергія з вугілля).

Капітальний характер галузі та її орієнтування на значну інтегрованість до інфраструктури не дозволяють легко і швидко відмовитися від одних технологічних ліній «старого» виробництва й перейти на інші.

Неможливо (не є економічно виправданим), а значить, недоцільно зупинити, зокрема теплові станції, які виробляють електроенергію з вугілля (виключно заради таких свого часу було побудовано цілі міста й навіть утворено регіони, а також налагоджено виробництво копалин, логістику, задіяно трудові резерви), і перейти на атомну енергетику за рік-два (навіть десятиліття), оскільки це потребує капітальних вкладень транснаціонального масштабу. Так само неможливо на сучасному рівні розвитку технологій «обнулити» тих же атомників і налагодити виробництво «зеленої» електроенергії.

З урахуванням цього, економіка будь-якої держави є приреченою на залежність від енергетики, а управління економікою має враховувати поліструктурний характер ринку. За таких умов, м'яко кажучи, не вбачається економічно доцільним усіяко підносити «зелені» тарифи й надавати їм переваги.

## 3. Розрахунки вартості електроенергії, що відпускається за «зеленим» тарифом

Електроенергія продається виробником за ціною більш ніж за 1079,50 коп./кВт·год, а купується споживачем за 30 коп. за цей саме обсяг товару. Продає електроенергію за подібною ціною «сонячний» споживач, який використовує «зелений» тариф (своєрідна екологічна «мода»). Тим, хто купує електричну енергію за ціною 30 коп./кВт·год, є звичайний пересічний споживач. При цьому такий споживач не знає і не може знати, яку електроенергію він придбав – звичайну або «сонячну» (природним чином у мережі електроенергія знеособлюється, змішується).

Однак, уявімо собі своєрідну умовну «темну смугу» (закриту територію), доступ на яку для нас закрито. На «темній території» знаходиться якась особа, яка виробляє електроенергію шляхом використання сонячних батарей і має право отримувати 1079,50 коп./кВт·год. З цієї території на «велику землю» йде кабель, на якому стоїть прилад обліку і показує, що по кабелю

здійснена поставка (умовно) 100 кВт електроенергії (для спрощення розуміння, так само, достатньо уявити електроенергію у вигляді звичайної води, що тече по трубах). Виробник має право вимагати від держави (енергоринку) за вироблену електроенергію таку суму коштів (грн.):

$$10,80 \times 100 = 1080$$

Слід взяти до уваги й те, що такий само обсяг електричної енергії (100 кВт) з іншого боку «темної зони» надійшов і був урахований побутовим лічильником для пересічних споживачів, які зобов'язані сплачувати по 30 (з невеликим) коп./кВт·год:

$$0,30 \times 100 = 30$$

Разом сума 30 грн. становить розмір коштів, які сплатив користувач.

Тепер уявімо, що кабель на вході до «темної зони» і на виході з «темної зони» є монолітним, цілісним і безперервним. Іншими словами, це одна і та само електроенергія, однак вона пройшла крізь різні лічильники за різними тарифами. Йдеться про тарифи, котрі було розроблено і впроваджено під екологічними гаслами та деклараціями про гарантування соціальної справедливості. Споживач і виробник – це одна й та саме особа, якщо додатково не брати до уваги невеликий ланцюжок інших осіб, які є підставними та афілійованими між собою злочинною змовою. На «прогоні» тільки 100 кВт електроенергії «зароблено» все, що заявлено для отримання з енергоринку. «Копійчані» витрати за купівлю при цьому до розрахунку можна не брати.

Як бачимо, цей вид бізнесу характеризується надвисокою рентабельністю: фактично кошти надходять від «дармового» Сонця чи просто з повітря. По суті, за такого стану справ величезні обсяги коштів одночасно вилучаються (унаслідок їх викрадення) у нації, держави, суспільства.

При цьому варто нагадати про те, що Закон України «Про електроенергетику» забороняє робити взаємозаліки, тобто припиняти однорідні зобов'язання шляхом заліку взаємних однорідних вимог за придбану електроенергію.

Ситуація, за якої, наприклад, виробник справив 100 кВт·год електроенергії (продав її енергокомпанії) і спожив стільки ж (купив у енергокомпанії) не є можливою: це пов'язано з відсутністю правових підстав для зарахування обсягів, а для оплати необхідно відобразити і виконувати обидві угоди. Крім того, у випадку нульового виробництва (на виході, за певний проміжок часу) такого роду суб'єкт правовідносин завжди буде здійснювати такий своєрідний «дерібан» грошей, не виробивши нічого.

Наведений нами приклад може виглядати перебільшенням, але така ситуація не позбавлена реалістичності. Система енергопостачання є складною та заплутаною, вона поєднує десятки магістралей, кабелів, проводів, перемичок, підстанцій, трансформаторів. Технічно не становитиме труднощів створити саме таку «технічну» конструктивну схему прогонки одного і того ж обсягу електроенергії у межах навіть невеликого селища, забезпеченого сонячними батареями, що нібито виробляють електроенергію і віддають її в «загальний казан» енергоринку, попередньо взявши її з цього самого «загального казана» енергоринку.

Запропоновану схему можна умовно назвати «малим колом» обігу «сонячної» електроенергії, де гроші вилучаються дуже просто навіть з погляду технології. Разом з тим, існує ще й «велике коло», під яким ми пропонуємо розуміти оперування промисловими обсягами електроенергії «зеленого» походження – в такому випадку суми коштів будуть у сотні й тисячі разів більшими, хоча вони вилучатимуться з ринку за такою ж самою ідеологією і в аналогічний спосіб.

Природно, що подібна ситуація не могла виникнути і стійко існувати без корупційної складової. Представники політичних кіл висловлюють заклики до боротьби з корупцією, яка в даних умовах є лише «верхівкою айсбергу», однак далі практично нічого не робиться для усунення економічних основ корупції. Навіть якщо мають місце поодинокі спроби обмежити «зелений тариф», то в силу масштабного лобіювання та емоційних криків про екологію та «зелене» (що часто походять від нерозуміння проблеми і обумовлені відсутністю чіткого методологічного підходу) ці спроби не мають успіху.

«Зелені» тарифи (що насправді такими не є) продовжують висмоктувати гроші з загальнодержавного енергоринку.

Доцільно розглянути «зелену філософію» з її підґрунтям. Прийнято вважати, що «зелену електроенергію» необхідно підтримувати, тобто створювати їй штучні преференції, і всіляко утискати конкурентів. Разом з цим, законодавство всіх країн світу визнає найбільшою шкодою для будь-якої економіки саме монополізм і преференції в будь-яких їх видах і проявах. Десятками ухвалюються нормативно-правові акти (в Україні можна нарахувати чимало відповідних законів, які спрямовані на обмеження монополізму і, як наслідок – недобросовісної конкуренції), результати досліджень у галузі економічних і юридичних наук об'єктивно репрезентують висновки про шкоду від монополій, незалежно від їх характеру, проте головну мету, – підтримати розвиток «зелених» технологій в Україні, – досягнуто не було. На практиці все відбувається навпаки. Причина в тому, що для споживача-виробника на «зеленому тарифі» немає сенсу вигадувати щось інноваційне та економічно корисне, якщо він і так отримає свої надприбутки, просто прогнавши по лічильнику (відобразивши в обліку) один і той само обсяг електроенергії.

Вся історія цивілізації показує, що розвиток нових технологій відбувався не завдяки штучній підтримці суспільства і держави чи встановленню монопольного становища, а всупереч їм або принаймні без їхньої участі. Від колеса до електричної лампочки, від винаходу телевізора до розробки електромобілів – усе було здійснено на ентузіазмі, праці, вірі в результати, на основі використання передових наукових розробок. Більше того, провідний виробник електромобілів взагалі пішов від монополізму і відкрив свої патенти всім бажаючим, усунувшись від стогонів за шаблоном «ми бідні, у нас позитивні виключно «зелені» ідеї, дайте нам грошей і пільг». І попри все, виробник електромобілів, перебуваючи в явно обмежених і складних умовах на ринку (його потрібно завойовувати, плюс контри нафтового лобі), зміг втілити свої ідеї і вийти на транснаціональний рівень. Візьмемо на себе сміливість припустити, що якби йому дали певні пільги та державну підтримку, то жодного електромобіля ми би не побачили. Натомість тривали би нескінченні розмови, «творчі шукання», вдавання видимості роботи і здійснення розробок, а результатом були би невдалі, але «багатообіцяючі дослідні зразки» та інші непотрібні речі, які завжди супроводжують подібні

проекти. Справжня мета цих проектів – боротьба за можливість доступу до участі у перерозподілі грошових коштів за рахунок альтернативних сусідів-виробників, які не опинилися в модному «зеленому» тренді.

## Висновки

На енергоринку України виник дисбаланс. Покриття збитків і фінансування подібних витівок і бізнес-проектів здійснюється з кишень тих же споживачів і альтернативних «класичних» виробників електроенергії шляхом коригування й перенаправлення фінансових потоків у «потрібні русла». Дисбаланс, який при цьому виникає, буде закрито всілякими дотаціями, субсидіями, пільгами, преференціями, але фактично – за рахунок пересічних споживачів.

«Зелені» тарифи в Україні, в тому вигляді, в якому вони існують – глобальне економічне, соціальне, технологічне і політичне зло.

За кожне благо і кожен товар необхідно платити. І плата ця повинна бути розумною, сумірною і обґрунтованою: тільки в такому випадку вдасться досягти балансу між природними потребами суспільства, можливостями технічного прогресу і уникнути дисбалансу, що породжує корупцію – гальмо технічного прогресу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Богатчук Д.П. Альтернативна енергетика в Україні: правове регулювання та перспективи / Д.П. Богатчук // Реформування законодавства України та розвиток суспільних відносин в Україні: питання взаємодії : Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, м. Ужгород, 24–25 квітня 2015 р. – Ужгород: Ужгородський національний університет, 2015. – С. 93–96.
2. Джабраїлов Р.А. Перспективи вдосконалення чинного законодавства, що регулює платіжно-розрахункові відносини у сфері житлово-комунального господарства / Р.А. Джабраїлов // Актуальні питання публічного та приватного права: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції (25 жовтня 2013 р.) / за ред. В.М. Огаренка, А.О. Монаєнко та ін. – Запоріжжя: КПУ, 2013. – С. 95–97.
3. Кременовська І.В. Оцінка можливостей створення в Україні Єдиних розрахункових центрів для оплати житлово-комунальних послуг / І.В. Кременовська // Актуальні проблеми публічного та приватного права: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 25 жовтня 2013 р.) / за ред. В.М. Огаренка, А.О. Монаєнко та ін. – Запоріжжя, КПУ, 2013. – С. 160–163.
4. Кременовская И.В. Тарифная «простота» хуже воровства / И.В. Кременовская, А.А. Святогор // Міжнародне та національне законодавство: способи удосконалення: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 3–4 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський гуманітарний університет, 2015. – С. 92–94.
5. Стеценко І.В. Оцінка ефективності впровадження альтернативних джерел електроенергії / І.В. Стеценко, Ю.А. Зав'ялець, О.М. Яцько // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2015: тези доповідей Десятої міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 22–26 червня 2015 р.) / М-во осв. і наук. України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернігів: ЧНТУ, 2015. – С. 134–136.

*Стаття надійшла до редакції 30.03.2015*

## РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY

УДК 330.101 + 330.532

**Внутрішньосистемне коригування глобальної економічної моделі** / Ведута О.М. // Математичне моделювання в економіці. – 2015. – №2. – С. 5 – 14.

У статті досліджені стратегія і механізм функціонування сучасної глобальної економічної моделі. Доведено, що запущена у роки першої світової війни циклічність економічного розвитку за фазами циклу «інфляція-дефляція», обслуговуючи концентрацію і централізацію світового капіталу, посилює розгортання глобальної кризи і наближає світ до катастрофи. Вихід з кризи полягає у ліквідації її першоджерела – диспропорційності економічного розвитку, яка є наслідком ручного керування і призводить до підсилення хаосу в економічних і політичних процесах. Для оптимізації управлінських рішень необхідне впровадження сучасних ІТ у процес розрахунку виробничих ланцюгів, які забезпечують випуск продукту на замовлення кінцевих споживачів (домашніх господарств, держави, експортерів). Майбутнє належить тим, хто «встигне» впровадити економічну кіберсистему, засновану на динамічній моделі міжгалузевого балансу, яка ітеративно узгоджуватиме замовлення кінцевих споживачів та можливості виробників.

УДК 330.101 + 330.532

**Внутрисистемная корректировка глобальной экономической модели** / Ведута Е.Н. // Математическое моделирование в экономике. – 2015. – №2. – С. 5 – 14.

В статье исследуются стратегия и механизм функционирования современной глобальной экономической модели. Доказано, что запущенная в ходе первой мировой войны цикличность экономического развития по фазам цикла «инфляция – дефляция», обслуживая концентрацию и централизацию мирового капитала, усиливает развертывание глобального кризиса и приближает мир к катастрофе. Выход из кризиса состоит в ликвидации его первопричины - диспропорциональности экономического развития, порождаемой ручным управлением, усиливающим хаос в экономических и политических процессах. Для оптимизации управленческих решений требуется внедрение современных ИТ в процесс расчета производственных цепочек, обеспечивающих выпуск продукта, заказанного конечными потребителями (домашними хозяйствами, государством, экспортерами). Будущее принадлежит тем, кто «успеет» внедрить экономическую киберсистему, основанную на динамической модели межотраслевого баланса, итеративно согласующей заказы конечных потребителей и возможности производителей.

УДК 51:519.8 + 612.53/59:612.57

**Математичне моделювання регіональної мережі Інтернет-економіки** / Бурков С.М., Полумієнко С.К., Савін С.З. // Математичне моделювання в економіці. – 2015. – №2. – С. 15 – 27.

Розглядаються проблеми сталого розвитку віддалених регіонів в умовах розвитку інформаційного суспільства на прикладі Інтернет-економіки. Викладені принципи

математичного моделювання регіональних інфокомунікаційних мереж економіко-соціального призначення. Розглянуто проблеми застосування теоретико-множинного підходу при побудові базових мереж Інтернет-економіки для завдань електронної комерції, надання віддалених послуг населенню на основі нових інформаційних технологій, сучасних засобів обчислювальної техніки, глобального інформаційного середовища.

UDC 51:519.8 + 612.53/59:612.57

**Mathematical modeling of the regional network of the Internet economy** / Burkov S., Polumiienko S., Savin S. // *Mathematical modelling in economy*. – 2015. – №2. – P. 15 – 27.

The problems of sustainable development of remote regions in terms of information society development on the example of the Internet economy are considered. Principles of mathematical modeling of regional info-communication networks of economic and social facilities are presented. The problems of the application of the set-theoretic approach to building core networks of the Internet economy for problems of e-commerce, providing remote services to the population on the basis of new information technologies and modern computer technology, the global information environment are considered.

---

УДК 004.942

**Алгоритмический базис ситуационного управления техногенной безопасностью**/ Кряжич О.О. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2015. – №2. – С. 28 – 38.

В работе представлен анализ моделей ситуационного управления и формирования взглядов на организацию процесса ситуационного управления. Обоснована необходимость формирования алгоритмического базиса на основе процедур управления в ситуационном менеджменте. Представлена информационная модель ситуационного управления и приведен пример реализации алгоритмического базиса ситуационного управления химическим предприятием.

UDC 004.942

**The algorithmic basis of situational management of technogenic safety** / Kryazhych O.O. // *Mathematical modelling in economy*. – 2015. – №2. – P. 28 – 38.

In paper the analysis of models of situational management is presented. Also the sight at the organisation of process of situational management is presented. Necessity of formation of algorithmic basis on the basis of management procedures in situational management is proved. The information model of situational management is presented. The example of realisation of algorithmic basis of situational management of the chemical enterprise is resulted.

---

## МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ MATHEMATICAL AND INFORMATIONAL MODELS IN ECONOMY

---

УДК 004.8:519.85:656.7

**Динамическая задача поиска кратчайшего пути с дополнительными условиями для задачи построения маршрута авиAPERелетов** / Гуляницкий Л.Ф., Павленко А.И. // *Математическое моделирование в экономике*. – 2015. – №2. – С. 39 – 50.

Рассмотрена задача поиска оптимального маршрута путешественника между заданными пунктами с дополнительными условиями в сети авиасообщений определенного региона. Предлагается и исследуется подход к решению задачи поиска пути между заданными вершинами на известном графе, который



представляет схему возможных авиаперелетов, с учетом стоимости перелета в зависимости от времени. При этом путь может формироваться с учетом ограничений по времени, стоимости, желательным или запрещенным промежуточным пунктам. Для поиска пути минимальной стоимости разработан и исследован специальный алгоритм оптимизации муравьиными колониями с динамическим поколением муравьев. Он позволяет оптимизировать использование ресурсов, а естественный параллелизм вычислительной схемы позволяет получать и уточнять полученное решение с учетом изменений в условиях перелетов. Приводится математическая модель задачи, а также описаны общие особенности предложенного алгоритма. Для оценки практической эффективности разработанного алгоритма проведены вычислительные эксперименты, а также сравнение с классической схемой оптимизации муравьиными колониями по времени и точности решений.

UDC 004.8:519.85:656.7

**Dynamic problem of finding the shortest path with additional conditions for the problem of constructing flight route airplanes** / Hulianytskyi L., Pavlenko A. // *Mathematical modelling in economy.* – 2015. – №2. – P. 39 – 50.

In this paper we introduce a travel planning problem between specified points with additional constraints in a particular region of air transportation network. The research concerns the approach for searching shortest path between specified nodes in a given graph that represents scheme of possible flights with time-dependent price. The path can be formed taking into account the constraints of time, cost, desired or prohibited points. Described shortest path problem is solved by developed and investigated sophisticated ant colony optimization based algorithm with dynamic population size. It allows to optimize the use of resources and reduce the processing time. Natural parallelism of ant colony optimization scheme allows to receive and update the obtained solution with respect to flights conditions changes. The paper includes mathematical model of the problem, as well as describes the general features of the proposed algorithm. To assess the practical effectiveness of the algorithm some computational experiments and comparison with classical ant colony optimization scheme on time and solutions accuracy were held.

---

УДК 629.039.58 + 004.942

**Моделирование миграции трития в окружающей среде** / Коваленко А.В. // *Математическое моделирование в экономике.* – 2015. – №2. – С. 51 – 64.

В работе проведено исследование измерений накопления трития в окружающей среде исследовательского ядерного реактора Института ядерных исследований НАН Украины. На основе фактических измерений содержания трития в талой воде снегового покрова проведено моделирование миграции трития с учетом внешних условий окружающей среды. Акцентировано внимание на недопущение нарушений санитарно-защитной зоны извне. Сделаны выводы в отношении безопасности работы исследовательского ядерного реактора и тритиевых лабораторий.

UDC 629.039.58 + 004.942

**Modeling the migration of tritium in the environment** / Kovalenko O.V. // *Mathematical modelling in economy.* – 2015. – №2. – P. 51 – 64.

In the article, a study of the measurements of tritium accumulation in the environment. This is done to research nuclear reactor of Institute of Nuclear Research of NAS of Ukraine. On the basis of actual measurements of the tritium content in the melt water of snow cover simulations of the migration of tritium with the light of external environmental conditions. Emphasis on preventing violations of the sanitary protection zone from the outside. The findings in respect of the safe operation of nuclear research reactor and tritium laboratories are confirmed.

УДК 3462

**Моделирование взаимоотношений между городскими ККП и партнерами (с учетом имеющейся хозяйственной компетенции) / Мельникова М.В., Тарасевич Е.В., Нестеров Г.Г. // Математическое моделирование в экономике. – 2015. – №2. – С. 65 – 74.**

В статье рассмотрены проблемы принятия решений на основе моделирования взаимоотношений коммунальных коммерческих предприятий (ККП) с партнерами. Охарактеризованы особенности деятельности ККП города, включая хозяйственную компетенцию, взаимоотношения с органами местного самоуправления, поставщиками, потребителями. Определено, что ККП имеет признаки производственно-хозяйственного комплекса (ПрХК). Разработана модель взаимодействия ПрХК с экономическими агентами на основе использования игровых методов. Модель может быть включена в компьютерную систему принятия решений по управлению ресурсами и коммуникационными отношениями ПрХК. Это позволяет согласовывать интересы участников при формировании и реализации различных проектов развития ККП.

UDC 3462

**Modeling the relationship between urban MCE and partners (taking into account existing economic competence) / Melnikova M.V., Tarasevich O.V., Nesterov G.G. // Mathematical modelling in economy. – 2015. – №2. – P. 65 – 74.**

The article deals with the problem of making decisions on the basis of modeling relationships of MCE (municipal commercial enterprise) with partners. They were characterized by features of urban MCE, including the economic competence, relationships with local authorities, suppliers, customers. It was determined that the MCE has the attributes of the economic production complex (EPC). A model that describes the interaction of EPC with economic agents based on the use of gaming techniques has been developed. The model can be incorporated into the computer system of decision-making on resource management and communication relationships. This allows you to align the interests of participants in the formulation and implementation of various development projects of the MCE.

---

## **АНАЛІЗ, ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ ANALYSIS, EVALUATION AND FORECASTING IN ECONOMY**

---

УДК 32.1:303.4:711.122

**Индикатор могущества как интегральный показатель безопасности государства / Качинский А.Б. // Математическое моделирование в экономике. – 2015. – №2. – С. 75 – 91.**

В исследованиях с единых методологических позиций рассмотрено применение системного анализа к решению проблемы определения индикатора могущества государства. Его расчеты показали, что ведущие страны мира делятся на четыре основные группы, а характер изменений среды международной безопасности существенно изменился. С помощью регрессионных моделей сделаны прогнозы на следующие годы.

UDC 32.1:303.4:711.122

**The indicator of might as an integral indicator of the security of the state / Kachinskiy A.B. // Mathematical modelling in economy. – 2015. – №2. – P. 75 – 91.**

In this work system analysis was used as approach to the problem of state power indicators. Calculations shows that leadership countries divided to the four main clusters and character of changes in field of international security changed a lot. With help of regression models prognoses to the next years have been made.

---

УДК 336.711.(477)

**Применение методов кластеризации для прогнозирования финансовой устойчивости банков** / Дробязко А.А., Любич А.А. // Математическое моделирование в экономике. – 2015. – №2. – С. 92 – 103.

В условиях макроэкономической и финансовой нестабильности у менеджеров компаний с большими финансовыми потоками и у банкиров возникают вопросы к банкам партнерам. Часто банки, в силу различных причин, подают неполную или сознательно искаженную информацию о своей деятельности. Поэтому возникает потребность в понятной и наглядной интерпретации управленческих решений относительно возможности сотрудничества (открытия лимитов) с контрагентами рынка. В работе предлагается применение методов кластеризации к прогнозированию финансовой стабильности банков на основе комплексного анализа информации балансов банков.

UDC 336.711.(477)

**The application of clustering techniques to predict the financial stability of banks** / Drobjazko A., Lubich O. // Mathematical modelling in economy. – 2015. – №2. – P. 92 – 103.

In the conditions of macroeconomic and financial instability managers of companies with large financial flows, as well as bankers erect questions addressed to partners of banks. Banks often, for various reasons, do not provide complete data or disclose deliberately distorted information on its activities. Therefore, there is a need for clear and obvious interpretation of managerial decisions on the possibility of cooperation (opening lines) with counterparties on the market. Authors propose the use of clustering methods for forecasting financial stability of banks on the basis of comprehensive analysis of banks` financial statements.

---

УДК 004.942

**Обоснование экономически оптимального значения расчетного расхода воды малой вероятности превышения на водопропускных сооружениях с учетом риска** / Стефанишин Д.В. // Математическое моделирование в экономике. – 2015. – №2. – С. 104 – 111.

Предложен аналитический метод обоснования экономически оптимального значения расчетного расхода воды малой вероятности превышения на водопропускных сооружениях с учетом риска на основе данных гидрологических наблюдений. Задача решается на примере проекта водопропускных сооружений малой гидроэлектростанции на реке Стрый во Львовской области.

UDC 004.942

**The rationale for cost-optimal values of the design water flow rate low probability of exceedance for culvert structures risk-based** / Stefanyshyn D.V. // Mathematical modelling in economy. – 2015. – №2. – P. 104 – 111.

An analytical method to justify the economically optimum value of design water discharge of low probability of exceedance in weirs based on data of hydrologic observations was proposed. The problem is solved for a project example of spillway of small hydroelectric power plant on the river Stry in the Lviv region.

---

**ДИСКУСІЙНІ ПОВІДОМЛЕННЯ**  
**DISCUSSION**

---

УДК 342.1:338.45.003.5

**Определение реальной стоимости «зеленой» электроэнергии** / Кременовская И.В., Святогор А.А. // Математическое моделирование в экономике. – 2015. – №2. – С. 112 – 118.

В статье аргументирована нецелесообразность установления «зеленых» тарифов на электрическую энергию, вырабатываемую путем преобразования энергии Солнца. Показано наличие коррупционной составляющей в системе производства электрической энергии и выявлены причины возникновения дисбаланса на энергорынке Украины. По результатам расчетов реальной стоимости «зеленой» электроэнергии обосновано, что покрытие убытков и затрат на производство электроэнергии из альтернативных источников происходит за счет рядовых потребителей – населения.

UDC 342.1:338.45.003.5

**Determining the real cost of "green" electricity** / Kremenovska I.V., Svyatogor O.A. // Mathematical modelling in economy. – 2015. – №2. – P. 112 – 118.

The article argued unreasonableness introduction of "green" tariff for electricity produced by converting the sun's energy. Presence corruption component in the system of power generation and identified the causes of the imbalance in the energy market of Ukraine. The calculations of the real cost of "green" electricity proved that the losses and costs of producing electricity from alternative sources at the expense of ordinary consumers - population.

---

## ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ведута Олена Миколаївна** – економіст-кібернетик, доктор економічних наук, професор Московського державного університету. Один з керівників «Наукової школи стратегічного планування М.І. Ведути» (м. Москва, РФ).

**Бурков Сергій Михайлович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Тихоокеанський державний університет (м. Хабаровськ, РФ).

**Гуляницький Леонід Федорович** – доктор технічних наук, завідувач відділом Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України (м. Київ, Україна).

**Дробязко Анатолій Олександрович** – кандидат економічних наук, провідний науковий співробітник відділу координації бюджетно-податкової та грошово-кредитної політики ДННУ «Академія фінансового управління» Міністерства фінансів України (м. Київ, Україна).

**Качинський Анатолій Броніславович** – доктор технічних наук, професор, Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України (м. Київ, Україна).

**Коваленко Олександр Васильович** – кандидат технічних наук, заступник директора Інституту ядерних досліджень НАН України (м. Київ).

**Кременовська Ірина Володимирівна** – кандидат юридичних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар Інституту економіко-правових досліджень НАН України (м. Київ, Україна).

**Кряжич Ольга Олександрівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ).

**Любіч Олександр Олексійович** – доктор економічних наук, професор, Заслужений економіст України, завідувач відділу координації бюджетно-податкової та грошово-кредитної політики ДННУ «Академія фінансового управління» Міністерства фінансів України (м. Київ, Україна).

**Мельникова Марина Віталіївна** – доктор економічних наук, доцент, провідний науковий співробітник відділу економіко-правових проблем містознавства, Інститут економіко-правових досліджень НАН України (м. Київ, Україна).

**Нестеров Геннадій Геннадійович** – юрист 1 кат. відділу економіко-правових проблем містознавства, Інститут економіко-правових досліджень НАН України (м. Київ, Україна).

**Павленко Ганна Ігорівна** – аспірант Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України (м. Київ, Україна).

**Полумієнко Сергій Костянтинівич** – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу прикладної інформатики Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ, Україна).

**Савін Сергій Зиновійович** – кандидат технічних наук, завідувач лабораторією, Обчислювальний центр ДСВ РАН (м. Хабаровськ, РФ).

**Святогор Олексій Анатолійович** – адвокат, журналіст, аспірант Інституту економіко-правових досліджень НАН України (м. Київ, Україна).

**Стефанишин Дмитро Володимирович** – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічних споруд Національного

університету водного господарства та природокористування (НУВГП) (м. Рівне, Україна).

**Тарасевич Олена Вікторівна** – кандидат економічних наук, доцент, в.о. завідуючого відділом економіко-правових проблем містознавства, Інститут економіко-правових досліджень НАН України (м. Київ, Україна).

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Інституту економіки і прогнозування НАН України.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Институту кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Институту экономики и прогнозирования НАН Украины.

Copying © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Institute for Economics and Forecasting of NAS of Ukraine. All rights reserved.

## ДО УВАГИ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню журналу. Тематика журналу стосується математичного моделювання у всіх сферах господарської діяльності, тобто, економіки в її широкому розумінні.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова трьома мовами (українською, російською та англійською). Також трьома мовами подаються реферати до статті, які будуть розміщені в електронному варіанті журналу «Математичне моделювання в економіці» на сайті журналу.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються. Автору надсилається відповідне повідомлення. Матеріали, отримані від автора, редакцією не повертаються. Після доопрацювання автор може подати матеріал повторно, з виконанням усіх процедур подачі матеріалу.

Статті, що були представлені в редакцію і прийняті після рецензування, але не попали в поточний номер журналу, будуть надруковані в наступних номерах журналу.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами журналу, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ журналу, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником.

Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія журналу.

Електронна версія журналу, правила оформлення та вимоги до статей, зміни і доповнення до тематичних розділів будуть оперативно подаватися в Інтернеті на сайті журналу «Математичне моделювання в економіці» [www.mmejournal.in.ua](http://www.mmejournal.in.ua)

Журнал також представлений на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність».

*Виконавчий редактор – О.О. Кряжич, канд. техн. наук.*

---

**Надруковано:**

Видавничий дім «Юстон»  
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36.  
Тел.: (044) 360-22-66  
Реєстраційне свідоцтво НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

---

Підписано і здано до друку 22.05.2015. Формат 70X108/16. Папір офсетний.  
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 10.15  
Обл.-вид. арк. 11.4  
Замовлення № \_\_\_\_\_

---

КИЇВ 2015