

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

UDC 519.866:658.264

УДК 519.866:658.264

N. L. Yushchenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Н. Л. Ющенко, к. е. н., доцент

CURRENT STATE OF DEVELOPMENT IN THE FIELD OF ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL POWER

СУЧАСНИЙ СТАН РОЗРОБОК В ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Urgency of the research. To overcome the image of one of the most energy-intensive countries in Europe, to reduce gas consumption in Ukraine, the need for compensation from the state budget the difference in tariffs for communal heat-generating and heat supply companies may decrease if the cost of services, to take into account and eliminate heat loss. The priority of the Government of Ukraine has been the introduction of new mechanisms to promote energy efficiency on the consumer side (in particular, the payment of the loan, which the inhabitants of the house take for its thermo-or to go to alternative heating, etc.), while according to experts 80% of heat loss it occurs in areas generating and transporting. Tasks relating to the modernization and reorientation of the country's heating systems in order to reduce consumption of natural gas are those that actually increase national, primarily the energy security of Ukraine and are highly relevant and important state.

Target setting. Creating application of economic and mathematical tools for decision support in the process of modernization and renewal of generating capacity of thermal generation, construction of replacement facilities using modern technologies to achieve European standards for emissions of pollutants and the use of other fuels, renovation of trunk and distribution heat networks allow perform analysis of alternative management actions and will boost the development of energy-efficient, technically reliable and safe operation of heating systems of society with minimal economic burden on end users.

Actual scientific researches and issues analysis. Scientific, methodological and applied aspects of economic and mathematical modelling of power system development processes are devoted to the study Y. Bakhshan, S. Motadayen Aval, F. Kamel and A. Hajhossini, J. Okrajni, K. Mutwil and M. Cieřla, B. Yakovlev, A. Sapuhina, V. Kurochkina and S. Novikov, S. Orlovsky, V. Volkov and O. Timofeenko, B. Polovnikova and V. Huzeeva, V. Klimenko and Y. Orlov, D. Chernikov, A. Aleksakhina and A. Boblovskogo, A. Bujak, O. Havrysyia, K. Mahkotilo and other domestic and foreign scientists.

Uninvestigated parts of general matters defining. However, until now no one has proposed to apply the models and methods of the theory of planning and network management, as well as still have not developed a science-based system of economic and mathematical models of decision support with respect to the modernization of communal heat power.

The research objective. The main objective of this work is to systematize and review of scientific works of foreign and domestic scientists, containing analogues and prototypes, which are the basis for further improvement of the concept of rational functioning of the market of energy materials and products based on the creation of a complex of economic and mathematical models of resource management and costs in

Актуальність теми дослідження. Подолання іміджу однієї з найбільш енергоінтенсивних країн у Європі, скорочення споживання газу в Україні, необхідності у покритті з бюджету різниці в тарифах для теплокомуненерго можна досягти, коли зменшувати собівартість послуг, обліковувати і прибирати втрати тепла. Ключовим пріоритетом Уряду України стало запровадження нових механізмів стимулювання підвищення енергоефективності на стороні споживання (зокрема, це компенсація частини кредиту, яку мешканці будинків беруть для його термомодернізації чи переходу на альтернативне опалення, та ін.), у той час як за оцінками експертів 80% втрат тепла відбувається в місцях його генерування і транспортування. Завдання щодо модернізації та переорієнтації систем теплопостачання країни з метою скорочення споживання природного газу є такими, що фактично підвищують національну, в першу чергу енергетичну безпеку України, і є вкрай актуальними та державно важливими.

Постановка проблеми. Створення прикладного економіко-математичного інструментарію для підтримки прийняття рішень у процесі модернізації та оновлення генеруючих потужностей теплової генерації, будівництва заміщуючих потужностей з використанням сучасних технологій, які дозволяють досягати європейських стандартів по викидах забруднюючих речовин та використання інших видів палива, оновлення магістральних і розподільчих мереж теплопостачання, дозволить виконувати аналіз альтернативних варіантів управлінських дій та сприятиме активізації енергоефективного розвитку, технічно надійного та безпечного функціонування систем теплозабезпечення суспільства з мінімальним економічним навантаженням на кінцевих споживачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковим, методичним і прикладним аспектам економіко-математичного моделювання процесів розвитку теплоенергетики присвячені дослідження Y. Bakhshan, S. Motadayen Aval, F. Kamel та A. Hajhossini, J. Okrajni, K. Mutwil і M. Cieřla, B. Yakovleva, A. Sapuhina, V. Kurochkinoi і S. Novikova, S. Orlovskogo, V. Volkova і O. Timofeenka, B. Polovnikova і V. Huzeeva, V. Klimenka та Ю. Орлова, Д. Чернікова, А. Алексахіна і А. Бобловського, А. Буяка, О. Гаврисія, К. Махотило та інших вітчизняних і зарубіжних науковців.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проте досі ніхто не пропонував застосовувати моделі і методи теорії планування і управління мережами, а також досі не розроблено науково обґрунтованої системи економіко-математичних моделей підтримки прийняття рішень щодо модернізації комунальної теплоенергетики.

Постановка завдання. Головною метою цієї роботи

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

the process of modernization of communal heat energy in Ukraine.

The statement of basic materials. The paper systematically analyses and scientific works of foreign and domestic scientists, containing analogues and prototypes, serve as the basis for further improvement of the functioning of the concept of sustainable market for energy materials and products based on the creation of a complex of economic-mathematical models of management of resources and costs in the process of modernization municipal power system in Ukraine. It is proved that the idea of adapting the methods of graph theory, as well as deterministic and probabilistic network models taking into account the time, cost and resources for planning and management practice, modernization, reconstruction and replacement of process equipment heating stations and thermal networks enterprises of power in Ukraine, characterized by scientific novelty and is a tool inform decisions heat generating and heat supply companies, investment companies, the legislative bodies regarding the technically reliable and safe functioning of the energy supply company systems.

Conclusions. The use of modern information technology and network of economic and mathematical models and methods to simultaneously consider all the economic and physical conditions and to determine the best option in the process of modernization of communal thermal power will become one of the components forming a system of support for the introduction of new management systems to the innovative development of the energy sector of Ukraine, will provide decision-making in favour of the power supply systems, which are the most beneficial to the safety position, the reliability (continuity), the quality of energy supply and the provision of affordable and attractive for the environmental consequences of energy services.

Keywords: heating; energy efficiency; economic and mathematical modeling; methods and models of project management; network planning and management.

є систематизація і огляд наукових праць закордонних і вітчизняних вчених, що містять аналоги та прототипи, є основою для подальшого вдосконалення концепції раціонального функціонування ринку енергетичних матеріалів та продуктів на підґрунті створення комплексу економіко-математичних моделей регулювання ресурсів і витрат у процесі модернізації комунальної теплоенергетики в Україні.

Виклад основного матеріалу. У статті систематизовані та проаналізовані наукові праці закордонних і вітчизняних вчених, що містять аналоги та прототипи, є основою для подальшого вдосконалення концепції раціонального функціонування ринку енергетичних матеріалів та продуктів на підґрунті створення комплексу економіко-математичних моделей регулювання ресурсів і витрат у процесі модернізації комунальної теплоенергетики в Україні. Обґрунтовано, що ідея адаптації методів теорії графів та детермінованих і ймовірнісних мережевих моделей з урахуванням часу, вартості й ресурсів до практики планування і управління теплоенергетики, реконструкцією та заміною технологічного обладнання теплових пунктів і теплових мереж підприємств теплоенергетики України, характеризується науковою новизною і є інструментом обґрунтування рішень теплогенеруючими і теплопостачальними підприємствами, інвестиційними компаніями, а також законотворчими органами, щодо технічно надійного та безпечно функціонування систем енергозабезпечення суспільства.

Висновки. Застосування сучасних інформаційних технологій та мережевих економіко-математичних моделей і методів, що дозволяють одночасно врахувати усі економічні та фізичні умови і знаходити найкращий варіант під час модернізації комунальної теплоенергетики, стане однією зі складових формування системи підтримки впровадження новітніх систем управління з метою інноваційного розвитку енергетичного сектору України, забезпечуватиме прийняття рішень на користь систем енергопостачання, які є найвигіднішими з позицій безпеки, надійності (безперебійності), якості постачання енергії і надання енергетичних послуг, доступних за ціною та привабливих за екологічними наслідками.

Ключові слова: теплопостачання; енергоефективність; економіко-математичне моделювання; методи і моделі управління проектами; мережеве планування і управління.

Relevance of the research topic. Modernization and reorientation tasks of the heat supply systems of the country for the purpose of reducing natural gas consumption are those which actually improve the national, first of all, energy security of Ukraine, and are extremely urgent and of the utmost importance to the state [1]. A key priority of the Government of Ukraine is an implementation of new mechanisms for the stimulation of energy efficiency on the demand side (in particular, it is a compensation of a credit part which the householders take for the thermal modernization or conversion to the alternative heating, etc.) while according to the experts 80% of heat losses arise in places of its generation and transportation.

Image overcoming of one of the energy intensive countries in Europe, reducing a gas consumption in Ukraine, need for a covering from the budget of a difference in rates for district heating companies can be reached via reducing costs of services, accounting and control of heat losses that make possible the modernization of boiler stations and heating systems, moreover, the International Energy Agency declares that each dollar invested in an energy efficiency will become 4 dollars of economy, and such project will completely pay off approximately in four years [2].

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

Problem statement. Creation of applied economic-mathematical tools for the decision making support in the course of modernization and renovation of the generating capacities of the thermal generation, a construction of replacement capacities with the use of modern technologies which allow to reach the European standards on pollution emissions and use of other types of fuel, renovation of the transmission and distribution heat supply networks, will allow to analyze the alternative types of management activities and promote activation of the energy efficient development, technically reliable and safe operation of the heat supply systems of society with the minimum economical impacts on final consumers.

Analysis of the last researches and publications. The researches of Y. Bakhshan, S. Motadayen Aval, F. Kamel and A. Hajhossini [3], J. Okrajni, K. Mutwil and M. Cieřla [4], B. Yakovlev [5], A. Sapukhin, V. Kurochkina and S. Novikov [6], S. Orlovsky, V. Volkov and O. Timofeenko [7], V. Polovnikov and V. Khuzeev [8], V. Klimenko and Y. Orlov [9], D. Chernikov [10], A. Aleksakhin and A. Boblovsky [11], A. Buyaka [12], A. Havrys [13], K. Makhotilo [14] and other domestic and foreign scientists are dedicated to scientific, methodical and applied aspects of economic-mathematical modeling of the heat power industry development.

Open parts of a shared problem. However nobody still suggested applying models and methods for network planning and management theory, and also the scientifically-based system of the economic-mathematical models of decision making support regarding municipal power system modernization isn't developed yet.

Problem definition. A key objective of this research is a systematization and a scientific works overview of foreign and domestic scientists containing analogs and prototypes, is a basis for further enhancement of the concept of the rational functioning the energy materials and products market on the basis for creation of a economic-mathematical model complex for resources and costs regulation in the course of municipal power system modernization in Ukraine.

Statement of the main material. Ensuring energy security and transition to energy efficient and energy saving use and consumption of energy resources with implementation of innovative technologies, infrastructure modernization of the fuel and energy complex and introduction of modern power - and ecologically effective equipment and technologies for the loss reduction of fuel energy resources are by Strategy on Sustainable Development „Ukraine – 2020” [15] in preference manner determined as a top-priority within implementation of the power reform and the energy efficiency program according to the vector of development and programs of energy independence and preservation of the environment according to the safety vector. Thereby the task of the effective analysis methods development using modern information technologies is critical in case of decision making for the municipal power system modernization in Ukraine.

District heat supply system of the residential and public facilities in Ukraine, which generally were created during mass housing construction in the 60s - the beginning of the 80s of the past century and since then were practically not renovated, cover heat requirements of about 55% of the population. The main and auxiliary equipment of many boiler rooms was used up the allowable working period; low-efficiency and obsolete boilers, obsolete automatic equipment and burner devices operate there that causes considerable fuel consumption, unacceptably high environmental pollution and results the loss in reliability and quality of the heat supply.

Total length of heat pipes in Ukraine makes about 47 000 km in two-pipe calculation; there are 20,8 thousand km of heat distribution networks on balance of the enterprises of the municipal heat power industry. There is one of the highest in the world saturations of heat distribution networks in the cities in Ukraine. According to the different data more than 80% of the heat distribution networks are amortized, and more than 40% are worn-out in service. The specified circumstances are substantially the fact that in Ukraine the heat consumption for heating of facilities of the same area exceeds the level of WEC by 2-3 times [16].

Over many years the housing and communal services enterprises and first of all heating supply enterprises performed and still perform a function of „the social buffer”. In the last 15-20 years almost all internal technical reserves of systems and the equipment were used, they are technically obsolete. Investments in a modernization of the existing heat supply systems make only a part from the neces-

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

sary and are insufficient not only for energy efficient modernization, but even for the maintenance of systems in good repair [1].

The use of economic-mathematical models and methods is rational in the performance of tasks of the resources sharing and using necessary for the modernization, reconstruction and replacements of the equipment of heat points and heat distribution networks of the enterprises of heat power industry of Ukraine, the reduction of time for the performance of work items for reduction of a general duration of the project and determination of admissible delays for further coordination of the project execution.

The most complete and significant researches of network planning and management models by means of which it is possible to determine duration of works, intensity of the resource consumption, rationally and in a balanced way to allocate labor, material and financial resources by each type of the interconnected works which performance requires the compliance with a specific technological sequence, belong to the American scientists, to D. Phillips and A. Garcia-Díaz [17].

The British scientists Y. Bakhshan, S. Motadayen Aval, F. Kamel and A. Hajhossini for the purpose of heat characteristics improvement investigate the use of various types of nanoliquids in heat pipes [3] analytically and numerically.

The Polish scientists J. Okrajni, K. Mutwil and M. Cieśla developed models for the description and calculations of strength and durability of steam pipes under the conditions of mechanical and thermal influence [4].

Scientific activities of the Belarusian researcher Yakovlev B. V. are connected with creation of the new theoretical and practical approaches and bases promoting increase in functioning of district heating and heat supply systems [5]. Methods and models generalization of the graph theory as the bases of network planning and management is performed by Sakovych V. A. [18].

Based on mathematical models the Russian researchers Sapukhin A. A., Kurochkin V. A., Novikov S.O. analyze the efficiency of polyethylene and steel pipes use from the point of view of economic and other components [6], Averyanova O. V. studies thermodynamic processes and interrelation regularities [19], Akhmedov A. M. investigates the condition and quality of capital repairs of main pipelines [20], Orlovsky S. Y., Volkov V. N., Tymofeyenko A. P. calculate in terms of quantity the pipeline corrosion control methods of heat networks and various increases of pipe wall thicknesses [7], Kocheshkova L. G., Kocheva M. A. - sufficiency of the pipeline cathode protection [21]. Skapyntsev A. Y., Potapov O. D., Lavrusevych A. O. developed the mathematical model of the hazard evaluation of pipeline erosion [22]. Polovnykov V. Y. carried out the mathematical modeling of the heat transfer in a trenchless pipe laying zone in case of earth freezing and the analysis of heat losses in similar conditions [8]. Klymenko V. A. and Orlov Y. N. constructed an optimization mathematical model allowing to analyze the market of heat and quality of services provided to consumers [9]. Chernikov D. M. developed an information technology for the support of planning processes and carrying out repair of heating mains which component was a synthesized simulation model for the factor evaluation, which is essential in reaching the decision about modernization and reconstruction of the existing sites of heat networks for the increase in their operational reliability [10].

The Energy strategy will be in effect till 2030 in Ukraine [23], regional and town programs of designing, construction and reconstruction in the sphere of heat supply taking into account implementation of energy-saving technologies and the principle of an optimal combination of the centralized, moderate and centralized, decentralized and autonomous systems of heat supply were approved. The body of scientists headed by Havrys O. M. of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» improved an economic-mathematical model for stabilization of the existing rates for heat energy on the basis of optimization of the fuel resources use, developed an economic-mathematical model of a cost optimization for the service provision in the centralized hot water supply for the big city [13]. A complex of economic-mathematical models for the power development of the region of Buyak A. E. [12], a mathematical model and corresponding technique for evaluation of damages of heat pipelines of Lobko O. N. [24], an analysis model of the relationship of heat losses values by pipelines of the micro-district heat network from a method of their laying, heat insulation parameters, a length and an arrangement of weatherproof houses relative to the central heat supply station of the residential district of Aleksakhin A. A. [11], a neuro-fuzzy model of the return temperature of the combined heat and

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

power station of Makhotylo K. V. [14], and other developments are of current interest. Due to the declaration of 2012 by the United Nations General Assembly as the International year of the sustainable energy for all, Bondar O. V. offered the overview of scientific publications, professional literature, the legislation concerning power and energy saving [25].

At the same time, the development of theoretical and methodical approaches to the network growth of heat and hot water supply in the process of the municipal heat power system modernization of Ukraine on the basis of creation of a economic-mathematical model complex which will become the instrument of grounds for decisions by the heat generating and heat supplying entities, investment companies, and also legislative bodies regarding technically reliable and safe functioning of supply systems of society are necessary. The economic-mathematical modeling based on the graph theory and the network analysis of the technical modernization system of heat supply facilities for the purpose of increase in energy efficiency of the energy-consuming equipment, decrease in the loss value of energy resources in supply networks, decrease in specific expenditures per unit of output (the generated energy unit) and increase in efficiency of final energy consumption positively differs from the existing in Ukraine and foreign analogs. Novelty of approach resides in adaptation of graph theory methods and the determined and probabilistic network models taking into account time, cost and resources to the practice of planning and management of modernization, reconstruction and replacement of processing equipment of heat points and heat networks of the heating enterprises in Ukraine. Such economic-mathematical models will allow to plan work on a project and to foresee the possible sources of problems and delays of its execution in time, to establish probabilistic time rates in the conditions of uncertainty; to regulate resource consumption; to plan the completion of works in the necessary terms according to the necessary sequence of task performance for the purpose of the fastest project implementation; to coordinate and control performance of works with observance of the schedule for timely project completion [26].

Conclusions. Application of the modern information technologies and network economic-mathematical models and methods allowing to consider at the same time all economic and physical conditions and to find the best option during modernization of municipal heat power industry will become one of components of support system forming of the latest management system implementation for the purpose of innovative development of the energy sector of Ukraine, will provide decision making for the benefit of power supply systems which are the most profitable from the point of view of safety, reliability (continuity), quality of energy supply and provision of energy services, which are budget-friendly and attractive on ecological consequences.

References

1. Prohrama modernizatsiyi system teplopостачannya na 2014-2015 roky : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy № 948 vid 17.10.2013 r. [The program of modernization of heating systems in the years 2014-2015: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from October 17, 2013 № 948]. Retrieved from : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/948-2013-%D0%BF>. [in Ukrainian].
2. Bezsub, I. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti – zaporuka zabezpechennia enerhetychnoi nezalezhnosti Ukrainy [Energy efficiency - the key to ensuring energy independence of Ukraine]. *Soceal Communications Research Center*. - Retrieved from : http://nbuviap.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=746:pidvishchennya-energoefektyvnosti-2&catid=71&Itemid=382. [in Ukrainian].
3. Bakhshan, Y., Motadayen Aval, S., Kamel, F. And Hajhossini, A. „Using of Multiwall Carbon Nanotube Based Nanofluid in the Heat Pipe to Get Better Thermal Performance”, *Advances in Mechanical Engineering*, volume 2014, Article ID 407218, 7 pages. Retrieved from : <http://ade.sagepub.com/content/6/407218.full.pdf+html> [in English].
4. Okrajni, J., Mutwil, K., Cieřla, M. „Steam pipelines’ ef

Література

1. Програма модернізації систем теплопостачання на 2014-2015 роки : Постанова Кабінету міністрів України № 948 від 17.10.2013 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/948-2013-%D0%BF>.
2. Беззуб І. Підвищення енергоефективності – запорука забезпечення енергетичної незалежності України [Електронний ресурс] / І. Беззуб // *Soceal Communications Research Center*. – Режим доступу : http://nbuviap.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=746:pidvishchennya-energoefektyvnosti2&catid=71&Itemid=382.
3. Bakhshan, Y., Motadayen Aval, S., Kamel, F. and Hajhossini, A. „Using of Multiwall Carbon Nanotube Based Nanofluid in the Heat Pipe to Get Better Thermal Performance”, *Advances in Mechanical Engineering*, volume 2014, Article ID 407218, 7 pages [Electronic resource]. - Retrieved from : <http://ade.sage-epub.com/content/6/407218.full.pdf+html>.
4. Okrajni, J., Mutwil, K., Cieřla, M. „Steam pipelines’ effort and durability”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 22, pp. 63-66, 2007 [Electronic resource]. - Retrieved from : http://www.journalamme.org/papers_vol22_2/1075.pdf.

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

fort and durability”, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 22, pp. 63-66, 2007. Retrieved from : http://www.-journalamme.org/papers_vol22_2/1075.pdf [in English].

5. Yakovlev, B. V. (2004). Povyshenye effektivnosti sistem teplofikatsii i teplosnabzheniia [Improving the efficiency of district heating systems and heating]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Mynsk. Retrieved from : <http://rep.bntu.by/bitstream/-/handle/data/2158/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [in Russian].

6. Sapukhyn, A. A., Kurochkyina, V. A. & Novykov, S. O. (2013). Analiz effektivnosti primeniamykh tekhnologii pri vybere podkhodov organizatsii stroitelstva i remonta truboprovodov [Analysis of the effectiveness of the technologies used in selecting approaches the organization of construction and repair of pipelines]. *Vestnyk Moskovskogo gosudarstvennogo unyversyteta – The Bulletin of Moscow State University*, no. 7, pp. 96-105. Retrieved from : <http://vestnikmgsu.ru/ind-ex.php/ru/archive/article/display/51/12> [in Russian].

7. Orlovskyy, S. Ya., Volkov, V. N., Tymofeenko, O. P. & druhye (2015). Korroziia teplovykh setei i pribavka k tolschine stenki [Corrosion of heat networks and increase the thickness of the wall]. *Evrasiyskiy Soiuz Uchenykh (ESU) – Eurasian Union of Scientists (ESU)*, no. 10 (19). Tekhnicheskyye nauky, pp. 77-78. Retrieved from : <http://cyberleninka.ru/article/n/korroziya-teplovyh-setey-i-pribavka-k-tolschine-stenki> [in Russian].

8. Polovnykov, V. Yu. & Khuzeev, V. A. (2013). Chislennyi analiz vliianiia promerzaniia grunta v zone prokladki na teplovye poteri beskanalnykh truboprovodov [Numerical analysis of the influence of soil freezing in the gasket area on the heat loss channel-free pipelines]. *Magazine of Civil Engineering – Magazine of Civil Engineering*, no. 2. Retrieved from : http://engstroy.spbstu.ru/index_2013_02/polovnikov.pdf [in Russian].

9. Klymenko, V. A. & Orlov, Yu. N. Matematicheskaia model optimizatsii sistemy teplosnabzheniia [Mathematical model of optimization of the heating system]. Retrieved from : http://www.rosteplo.ru/Tech_stat-stat_shablon.php?id=473.

10. Chernykov, D. N. (2014). Obosnovanie sposobov povysheniia nadezhnosti sistem teplosnabzheniia naselennykh punktov pri planirovanii remontno-vosstanovitelnykh rabot [Substantiation of ways of improving the reliability of heat supply systems of settlements when planning the repair work]. *Candidate's thesis*. Voronezh: Voronezhskyy gosudarstvennyy arkhytekturno-stroytel'nyy unyversytet [in Russian].

11. Aleksakhyn, A. A. & Boblovskyy, A. V. (2011). Teplopoteri truboprovodami otopitelnoi seti pri izmenenii raschetnoi otopitelnoi zagruzki zdaniy mikrorayona [Heat loss of the heating pipelines network when changing the heating load calculation of the neighborhood buildings]. *Enerho-sberezheniye. Energetyka. Energoaudit – Energy saving. Energy. Energy audit*, no. 9 (91), pp. 20-27. Retrieved from : <http://cyberleninka.ru/article/n/teplopoteri-truboprovodami-otopitelnoy-seti-pri-izmenenii-raschetnoy-otopitelnoy-nagruzki-zdaniy-mikrorayona-1> [in Russian].

12. Buyak, A. Ye. (2010). Ekonomiko-matematychne modeliuвання rozvytku enerhetyky rehionu [Economic-mathematical modeling of energy development in the region]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

13. Havrys, O. M. (eds.) (2015). Optymizatsiya system

5. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения : автореф. дис. на соискание учен. степени докт. техн. наук : спец. 05.14.14 – „Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты” [Электронный ресурс] / Б. В. Яковлев. – Минск, 2004. – 42 с. – Режим доступа : <http://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/2158/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

6. Сапухин, А. А. Анализ эффективности применяемых технологий при выборе подходов организации строительства и ремонта трубопроводов [Электронный ресурс] / А. А. Сапухин, В. А. Курочкина, С. О. Новиков // Вестник МГУ. – 2013. – № 7. – С. 96-105. – Режим доступа : <http://vestnikmgsu.ru/index.-php/ru/archive/article/display/51/12>.

7. Коррозия тепловых сетей и прибавка к толщине стенки [Электронный ресурс] / С. Я. Орловский, В. Н. Волков, О. П. Тимофеевко [и др.] // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Технические науки. – 2015. – № 10 (19). – С. 77-78. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/korroziya-teplovyh-setey-i-pribavka-k-tolschine-stenki>.

8. Половников, В. Ю. Численный анализ влияния промерзания грунта в зоне прокладки на тепловые потери бесканальных трубопроводов [Электронный ресурс] / В. Ю. Половников, В. А. Хузеев // Magazine of Civil Engineering. – 2013. – № 2. – Режим доступа : http://engstroy.spbstu.ru/index_2013_02/polovnikov.pdf.

9. Клименко, В. А. Математическая модель оптимизации системы теплоснабжения [Электронный ресурс] / В. А. Клименко, Ю. Н. Орлов. – Режим доступа : http://www.rosteplo.ru/Tech_stat-stat_shablon.php?id=473.

10. Черников, Д. Н. Обоснование способов повышения надежности систем теплоснабжения населенных пунктов при планировании ремонтно-восстановительных работ : дис... канд. техн. наук : 05.23.08 – „Технология и организация строительства” / Д. Н. Черников, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2014. – 140 с.

11. Алексахин, А. А. Теплопотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной загрузки зданий микрорайона [Электронный ресурс] / А. А. Алексахин, А. В. Бобловский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 9 (91). – С. 20-27. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/teplopoteri-truboprovodami-otopitelnoy-seti-pri-izmenenii-raschetnoy-otopitelnoy-nagruzki-zdaniy-mikrorayona-1>

12. Буюк, А. Є. Економіко-математичне моделювання розвитку енергетики регіону : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук : спец. 08.00.11 – „Математичні методи, моделі і інформаційні технології в економіці” / А. Є. Буюк. – К., 2010. – 20 с.

13. Оптимізація систем тепло постачання із використанням економіко-математичного моделювання : моногр. / за заг. ред. О. М. Гаврися. – Х. : НТУ „ХПІ”, 2015. – 209 с.

14. Махотило, К. В. Повышение точности моделирования среднечасовой температуры обратного теплоносителя ТЭЦ [Электронный ресурс] / К. В. Махотило. – Режим доступа : <http://dspace.-nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/27074/16-Mahotilo.PDF?sequence=1>.

15. Стратегія сталого розвитку „Україна – 2020” : Указ Президента України № 5/2015 від 12.01.2015 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5/2015>.

16. Аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду ви-

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

teplopostachannya iz vykorystannyam ekonomiko-matematyc-hnoho modelyuvannya [Optimize heating systems using economic and mathematical modeling]. Kharkiv : Natsional'nyy tekhnichnyy universytet „Kharkivskyy politekhnichnyy instytut” [in Ukrainian].

14. Makhotylo, K. V. Povyshenie tochnosti modelirovaniya srednechasovoy temperatury obratnogo teplonositel'ia TETS [Increase the accuracy of modeling the return water temperature hourly thermal power generators (CHP)]. Retrieved from : <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/27074/16Mahotilo.PDF?sequence=1> [in Russian].

15. Stratehiya staloho rozvytku „Ukrayina – 2020” : Ukaz Prezidenta Ukrayiny № 5/2015 vid 12.01.2015 r. [Strategy for Sustainable Development „Ukraine – 2020”, the President of Ukraine decree from January 12, 2015 № 5/2015]. Retrieved from : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5/2015> [in Ukrainian].

16. Sanytskyy, M. A. & Pozniak, O. R. (eds.) (2008). Analiz mizhnarodnoho ta vitchyznianoho dosvidu vykorystannia enerhozberihaiuchykh tekhnolohii u haluzi budivnytstva [Analysis of international and domestic experience in the use of energy efficient technologies in the construction]. Lviv : Ahentsiia rehionalnogo rozvytku ta Yevropeiskoi intehratsii. Retrieved from : cstei.lviv.ua/upload/pub/Energo/1259276548_34.pdf [in Ukrainian].

17. Fyllyps, D. & Harsya-Dyas, A. (1984). *Metody analiza setey* [Network analysis methods]. (E. H. Kovalenko, M. H. Furuhyana & B. H. Sushkova, Trans.). Moscow : Myr [in Russian].

18. Sakovych, V. A. (1984). Yssledovanye operatsyy (determinyrovanny'e metody` y modeli) [Operations Research (deterministic methods and models)]. Mynsk : Vy'sheyshaya shkola [in Byelorussia].

19. Averyanova, O. V. (2009). Energoberezenie v teplovikh setiakh za schet parametrov teplonositel'ia [Energy saving in heat networks at the expense of the coolant parameters]. *Ynzhenerno-stroytelnyy zhurnal – Civil Engineering Journal*, no. 5, pp. 43-46. Retrieved from: http://engstroy.spbstu.ru/index_2009_05/averyanova_parametry_teplonositelya.pdf [in Russian].

20. Akhmedov, A. M. (2013). Sovremennoe sostoianie magistralnykh truboprovodov i tekhnologii naneseniia izolatsionnykh pokrytii pri stroitelstve i kapitalnom remonte [The current state of pipelines and technologies for applying insulating coatings in construction and repair]. *Internet-vestnyk VolgHASU. Seriya : Politematicheskaya – Internet messenger VolgGASU. Series: Polythematic*, Issue 3 (28). Retrieved from [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Akhmedov2013_3\(28\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Akhmedov2013_3(28).pdf) [in Russian].

21. Kocheshkova, L. H. & Kocheva, M. A. (2013). Eksperimentalnye issledovaniia i opredelenie polnoty katodnoi zashchity teploprovodov [Experimental studies and determination of completeness of cathodic protection of heating conduits]. *Modern High Technologies – Modern High Technologies*, no. 8. Retrieved from: <http://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-i-opredelenie-polnoty-katodnoy-zashchity-teploprovodov> [in Russian].

22. Skapyntsev, A. E., Potapov, A. D. & Lavrusevych, A. A. (2013). Inzhenernaia zashchita truboprovodov ot erozionnykh protsessov [Engineering protection of pipelines from erosion]. *Vestnyk Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta – The Bulletin of Moscow State University*, no. 7, pp. 140-151 [in Russian].

23. Enerhetychna stratehiya na period do 2030 roku

користання енергозберігаючих технологій у галузі будівництва [Електронний ресурс] // Агенція регіонального розвитку та Європейської інтеграції / під ред. М. А. Саницького, О. Р. Позняк. – Львів, 2008. – Режим доступу : cstei.lviv.ua/upload/pub/Energo/1259276548_34.pdf.

17. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас; пер. с англ. Е. Г. Коваленко, М. Г. Фурюгана; под ред. Б. Г. Сушкова. – М. : Мир, 1984. – 496 с.

18. Сакович, В. А. Исследование операций (детерминированные методы и модели) : справочное пособ. / В. А. Сакович. – Мн. : Выш. шк., 1984. – С. 172-202.

19. Аверьянова, О. В. Энергосбережение в тепловых сетях за счёт параметров теплоносителя [Електронний ресурс] / О. В. Аверьянова // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 5. – С. 43-46. – Режим доступу : http://engstroy.spbstu.ru/index_2009_05/averyanova_parametry_teplonositelya.pdf.

20. Ахмедов, А. М. Современное состояние магистральных трубопроводов и технологий нанесения изоляционных покрытий при строительстве и капитальном ремонте [Електронний ресурс] / А. М. Ахмедов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. : Политематическая. – 2013. – Вып. 3 (28). – Режим доступу : [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Akhmedov-2013_3\(28\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Akhmedov-2013_3(28).pdf).

21. Кочешкова, Л. Г. Экспериментальные исследования и определение полноты катодной защиты теплопроводов [Електронний ресурс] / Л. Г. Кочешкова, М. А. Кочева // Modern High Technologies. – 2013. – №8. – Режим доступу : <http://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-i-opredelenie-polnoty-katodnoy-zashchity-teploprovodov>.

22. Скапинцев, А. Е. Инженерная защита трубопроводов от эрозионных процессов / А. Е. Скапинцев, А. Д. Потапов, А. А. Лаврусевич // Вестник МГУ. – 2013. – № 7. – С. 140-151.

23. Енергетична стратегія на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.

24. Лобко, О. Н. Методика анализа повреждаемости трубопроводов [Електронний ресурс] / О. Н. Лобко // Коммунальное хозяйство городов : научно-технический сборник. – 2010. – № 93. – С. 321-324. – Режим доступу : <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/viewFile/1284/1277>

25. Енергетика у сучасному світі : рекомендаційний список [Електронний ресурс] / уклад. О. В. Бондар. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 55 с. – Режим доступу : <http://library.sumdu.edu.ua>.

26. Ющенко, Н. Л. Математичні моделі визначення резерву часу для збалансованого розподілу трудових, матеріальних і фінансових ресурсів при модернізації комунальної теплоенергетики України / Н. Л. Ющенко // Науковий вісник Полісся. – 2016. – № 2 (6). – С. 16-25.

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОНОМІКА

[Energy Strategy for the period up to 2030]. Retrieved from : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13> [in Ukrainian].

24. Lobko, O. N. (2010). Metodyka analiza pov-rezhdaemosty truboprovodov [The method of analysis of damage to pipelines]. *Kommunalnoie khoziaystvo gorodov nauchno-tekhnycheskyy sbornyk – Utilities cities: scientific and technical collection*, no. 93, pp. 321-324. Retrieved from : <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/viewFile/1284/1277>. [in Russian].

25. Bondar, O. V. (compiled) (2012). Enerhetyka u suchasnomu sviti : rekomendatsiynyi spysok [Power in the Modern World : recommendation list]. Sumy: Sums'kyy derzhavnyy universytet. Retrieved from : <http://library.sumdu.edu.ua> [in Ukrainian].

26. Yushchenko, N. L. (2016). Matematychni modeli vyznachennya rezervu chasu dlya zbalansovanoho rozpodilu trudovykh, material'nykh i finansovykh resursiv pry modernizatsiyi komunal'noyi teploenerhetyky Ukrayiny [Mathematical models to determine the reserve time a balanced distribution of manpower, material and financial resources for modernization of municipal power system of Ukraine]. *Naukovyy visnyk Polissya – Scientific Bulletin of Polissia*, no. 2 (6), pp. 16-25 [in Ukrainian].

Received for publication 15.09.2016

Бібліографічний опис для цитування :

Yushchenko, N. L. Current state of development in the field of economic and mathematical modeling of thermal power / N. L. Yushchenko // Науковий вісник Полісся. – 2017. – № 1 (9). ч. 2. – С. 24–31.