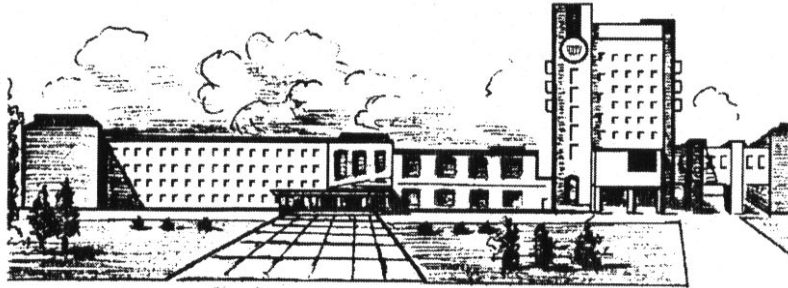


ISSN 2411-5363

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (1)

Чернігів 2015

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6
Т38

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 7 від 31.08.2015 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології», який є новою назвою «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”», включено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р. № 747.

З 2013 року входить до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU (ліцензійний договір № 246-04/2013 від 29 квітня 2013 року).

Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. Т38 нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (1). – 240 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: механіки, інтегрованих технологій машинобудування та автотранспорту, технологій зварювання, інформаційно-комп'ютерних технологій, енергетики, технологій деревообробної та легкої і харчової промисловості, технологій охорони праці та природокористування. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів та закладів НАН України.

Журнал «Технічні науки та технології» буде корисним для науковців різних галузей технічних наук, науково-технічних працівників, аспірантів, магістрантів та студентів вищих технічних навчальних закладів.

УДК 62:67.05
ББК 30.1:30.6

Головний редактор:

Казимир В.В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи.

Заступник головного редактора:

Пилипенко О.І., доктор технічних наук, професор.

Члени редакційної колегії:

Болотов Г.П., доктор технічних наук, професор;

Вархола Міхал, професор, Президент Академічного співтовариства Михайла Балудянського, Словаччина;

Волков І.В., доктор технічних наук, професор;

Денисов Ю.О., доктор технічних наук, професор;

Дубенець В.Г., доктор технічних наук, професор;

Дудла І.О., доктор технічних наук, доцент;

Кальченко В.І., доктор технічних наук, професор;

Кальченко В.В., доктор технічних наук, професор;

Литвинов В.В., доктор технічних наук, професор;

Сенько В.І., доктор технічних наук, професор;

Сиза О.І., доктор технічних наук, професор;

Скоробогатова В.І., доктор технічних наук, професор;

Харченко Г.К., доктор технічних наук, професор;

Чередніченко П.І., доктор технічних наук, професор;

Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal “Electrical, Control and Communication Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia;

John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;

Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.

ISSN 2411-5363

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
CHERNIHIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 1 (1)

Chernihiv 2015

UDC 62:67.05
LBC 30.1:30.6

Published by the decision of the Academic Council of the University (protocol № 7 dated 31.08.2015). Scientific journal “Technical sciences and technology” which is the new name of “Visnyk of the Chernihiv State Technological University. Series «Technical sciences»” is included in the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of education and science of Ukraine dated July 13, 2015 № 747.

Since 2013 has been included in the international scientometric database eLIBRARY.RU (license agreement № 246-04/2013 dated April 29, 2013).

Technical sciences and technology : scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2015. – № 1 (1). – 240 p.

The articles on theoretical and experimental research in the field of Technical science: mechanics, integrated technologies of machinebuilding and motor transport, welding technologies, information and computer technologies, power engineering, technologies of woodworking, light and food industry and technologies of labor protection and natural resource management have been published in this issue of the Scientific journal “Technical sciences and technology”. The articles are written by the scientists, postgraduates, masters students, students and are reviewed by the leading scientists of higher technical educational establishments and the institutions of the National Academy of Sciences of Ukraine (NAS).

Journal “Technical sciences and technology” will be useful for the scientists in different fields of technical sciences, scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of higher technical educational establishment.

UDC 62:67.05
LBC 30.1:30.6

Editor in chief:

Kazymyr V.V., Vice-rector for scientific work, Doctor of Technical Sciences, Professor.

Deputy Editor in chief:

Pilipenko O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor.

Members of the Editorial Board:

Bolotov H.P., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Varchola Michel, Professor, President of the Academic society of Michal Baludansky, Slovakia;

Volkov I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Denysov Yu.A., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Dubenets V.H., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Dudla I.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

Kalchenko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Kalchenko V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Lytvynov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Senko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Syza O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Skorobohatova V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Kharchenko H.K., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Cherednichenko P.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal “Electrical, Control and Communication Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia;

John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;

Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

<i>Грицюк В.Ю.</i> Розрахунок удару тілом по консольній балці	9
<i>Савченко О.В., Деркач О.Л., Ющенко С. М.</i> Визначення ефективних динамічних характеристик електров'язкопружних композиційних матеріалів	14
<i>Харжевський В.О.</i> Числовий синтез несиметричних важільних прямолінійно-напрямних механізмів з дотиком 5-го порядку.	24

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Степанов М.С., Иванова М.С.</i> Исследование влияния термомеханических явлений и параметров комбинированного осевого инструмента на силу резания.	31
<i>Хрестін Р.М.</i> Розроблення структури математичної моделі енергетичного балансу дугової сталеплавильної печі	37

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

<i>Артюх Т.М.</i> Використання алюмінієвих сплавів у виробництві велосипедних рам.	44
<i>Болотов Г.П., Олексієнко С.В., Болотов М.Г.</i> Ручне дугове зварювання будівельних сталей малоамперною дугою модульованим струмом.	48
<i>Иванов В.П., Лаврова Е.В., Солидор Н.А., Моргай Ф.В.</i> Исследование процесса электродуговой наплавки коррозионностойкого слоя ленточным электродом с управляемым механическим переносом.	53

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Казимир В.В., Посадська А.С.</i> Мережеве планування в режимі реального часу з використанням апарату темпоральних логік	61
<i>Трофимчук О.М., Кряжич О.О.</i> Кусково-поліноміальна апроксимація яружних функцій.	67
<i>Боханов І.І.</i> Застосування геоінформаційних систем у військовій справі	76
<i>Волокита А., Каплунов А., Лупинос А.</i> Використання алгоритму поведінки бактерій для моделювання навантаження на клієнт-серверну мережу.	80
<i>Зайцев С.В.</i> Параметрична адаптація турбокодів в умовах апіорної невизначеності	85
<i>Зарицький О.В.</i> Застосування основ теорії комунікацій для розроблення інформаційних систем моделювання професійної діяльності	94
<i>Корнієнко І.В.</i> Ефективність функціонування автоматизованої кадастрової системи.	98
<i>Корнієнко І.В., Корнієнко С.П.</i> Дискретизація геоінформаційного простору під час моделювання електромагнітного забруднення довкілля	103
<i>Корнієнко І.В., Кошма А.І.</i> Декомпозиція задачі формування просторової структури мережі збору побутових відходів	113
<i>Крячок С.Д., Мамонтова Л.С.</i> Розроблення просторової математичної моделі постійної поправки електронних віддалемірів	118
<i>Мельник О.О.</i> Дослідження властивостей алгоритму складання розкладів за критерієм сумарного випередження і запізнення із налагодженнями, що залежать від послідовності.	126
<i>Терещук О.І., Нисторяк І.О.</i> Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV) у мережі EPN	130
<i>Чедия Н.Л., Чхартишвили М. В.</i> Отделение для разгрузки сети операторского класса на основе технологии Wi-Fi	141
<i>Осідач А.О.</i> Математична модель електронного документа.	146
<i>Сергієнко О.А., Топал А.В., Вислоух С.П.</i> Розпізнавання образів як ефективний інструмент під час вирішення задач у приладобудуванні.	152

<i>Nesterenko S., Nesterenko Yu.</i> Model oriented method of bit error rate measurement in 802.11 wireless networks	156
--	-----

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

<i>Синчук О.Н., Михайличенко Д.А., Бойко С.Н., Городний А.Н.</i> Анализ электромагнитных процессов в системе: синхронный электрический двигатель – IGB транзисторный преобразователь частоты тока в цепи статора и ротора.....	161
<i>Алексеевский Д.Г.</i> Объяснение эффекта автооптимизации электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.....	170

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Дудла І.О.</i> Актуальність імпортозаміщення целюлозовмісної сировини у виробництві паперової продукції в Україні.....	177
<i>Асланян С.А., Антюшко Д.П., Кучинська А.М.</i> Суспільна значущість від розроблення та впровадження продуктів для ентерального харчування.....	181
<i>Денисенко Т.М.</i> Органолептичні та фізико-хімічні методи оцінювання якості питного молока, яке реалізується в торговельній мережі м. Чернігова.....	185

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<i>Іванова І.М., Котельчук А.Л., Семака О.М., Крупко В.А.</i> Розроблення рекомендацій щодо збереження земель завдяки утилізації вмісту мулових карт.....	191
<i>Коваленко О.В.</i> Моделювання події радіоактивного забруднення тритієм.....	199
<i>Коваленко С.В.</i> Особливості підготовки фахівців професійного спрямування «Геодезія, картографія та землеустрій» у Чернігівському національному технологічному університеті..	205
<i>Терещук О.І., Наровлянська О.Ю.</i> Побудова кусково-лінійної моделі для ґрунтових проб....	211
<i>Мовенко В.І., Новик П.П.</i> Деякі проблеми прибережних захисних смуг річок України.....	216
<i>Сидоренко І.І.</i> Державний контроль за раціональним використанням та охороною земель.....	220
<i>Воронюк Ю.Ю., Беспалько Р.І.</i> Актуальні проблеми деградації земель у Карпатському регіоні та перспективи їх вирішення засобами системного підходу	225
<i>Щербак Ю.В., Іванов В. М., Бринь М.Я.</i> Про обґрунтування параметрів теодолітних ходів під час виконання кадастрових зйомок.....	230

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ....	234
---	------------

CONTENT

SECTION I. MECHANICS

<i>Hrytsiuk V.</i> Calculation of a body impact on a cantilever beam.....	9
<i>Savchenko O., Derkach O., Yushchenko S.</i> Determination of effective dynamic characteristics of the electro-viscoelastic composite materials.....	14
<i>Kharzhevskiy V.</i> Numerical synthesis of the unsymmetric linkage straight-line mechanisms with 5 th order of tangency	24

SECTION II. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT

<i>Stepanov M., Ivanova M.</i> Research of the influence of thermomechanical phenomena and combined axial tool parameters on cutting force	31
<i>Khriestin R.</i> Design of the structure of the mathematical model of the energy block electric arc furnace.....	37

SECTION III. WELDING TECHNOLOGIES

<i>Artiukh T.</i> Usage of aluminium alloy in the manufacture of frames.....	44
<i>Bolotov H., Oleksiienko S., Bolotov M.</i> Hand arc welding of builds steels by a littleampere arc with modulation of current	48
<i>Ivanov V., Lavrova Ye., Solidor N., Morgay F.</i> Study of electric arc overlaying process of corrosion-resistant layer by strip electrodes with a controlled mechanical transfer	53

SECTION IV. INFORMATION COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Kazymyr V., Posadska A.</i> Network planning in real time mode using the temporal logic	61
<i>Trofymchuk O., Kriazhych O.</i> Piecewise polynomial approximation of gully features	67
<i>Bokhanov I.</i> Application of geographic information systems in military affairs	76
<i>Volokyta A., Kaplunov A., Lupynos A.</i> Using an algorithm bacteria of behavior to simulate load on a client-server network	80
<i>Zaitsev S.</i> Parametrical adaptation of turbocodes under a priori uncertainty	85
<i>Zaritskyi O.</i> Using basis of communication theory for developing of professional activity modeling informational systems	94
<i>Korniienko I.</i> Efficiency of functioning of the automated cadastral system.....	98
<i>Korniienko I., Korniienko S.</i> The geoinformation space discretization in the simulation of electromagnetic pollution	103
<i>Korniienko I., Koshma A.</i> Decomposition of the issue of formation of the space system of the network of household waste disposal	113
<i>Kriachok S., Mamontova L.</i> The development of a spatial mathematical model of a permanent amendment of electronic rangefinders	118
<i>Melnyk O.</i> Reseach of characteristics of the algorithm in scheduling by the criteria of the total earliness-tardiness with one device adjustment depending on the sequence	126
<i>Tereshchuk O., Nystoriak I.</i> Experience of functioning of the permanent GNSS-station «Chernihiv» (CNIV) in EPN network.....	130
<i>Chediya N., Chkhartishvili M.</i> Solution for network unload of operator's category based on Wi-Fi technology	141
<i>Osidach A.</i> Mathematical model of electronic document	146
<i>Serhiienko O., Topal A., Vysloukh S.</i> Pattern recognition as an efficient tool for resolving tasks of instrument engineering	152
<i>Nesterenko S., Nesterenko Yu.</i> Model oriented method of bit error rate measurement in 802.11 wireless networks	156

SECTION V. POWER ENGINEERING

<i>Sinchyk O., Mikhaylichenko D., Boyko S., Gorodniy A.</i> Analysis of high-voltage processes in the system synchronous electric motor with IGB transistor inverters in the circuit of stator and rotor.....	161
<i>Alekseyevskiy D.</i> Explanation of the auto optimization effect of a wind power plant electromechanical system with an aerodynamic multiplication.....	170

SECTION VI. TECHNOLOGIES OF WOODWORKING, LIGHT AND FOOD INDUSTRY

<i>Dudla I.</i> Actuality of import substitution of cellulose raw material in the production of paper products in Ukraine.....	177
<i>Aslanian S., Antiushko D., Kuchynska A.</i> Social significance of the products' for enteral nutrition development and adoption.....	181
<i>Denysenko T.</i> Organoleptic and physicochemical methods of evaluation of quality of drinking milk offered by in the network of the city of Chernihiv.....	185

SECTION VII. TECHNOLOGIES OF LABOUR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

<i>Ivanova I., Kotelchuk A., Siemaka O., Krupko V.</i> Development of recommendations land of conservation through recycling sludge cards.....	191
<i>Kovalenko O.</i> Modeling of the event of radioactive contamination by tritium.....	199
<i>Kovalenko S.</i> Peculiarities of training of specialists in "Geodesy, Cartography and Land Management" in Chernihiv National University of Technology.....	205
<i>Tereshchuk O., Narovlianska A.</i> Construction of piecewise linear model for soil samples.....	211
<i>Movenko V., Novyk P.</i> Some issues of of-shore defence river zones of Ukraine.....	216
<i>Sydorenko I.</i> State control over rational use and protection of land.....	220
<i>Voroniuk Yu., Bepalko R.</i> Actual issues of land degradation in the carpathian region and their solving prospects by system approach.....	225
<i>Shcherbak Yu., Ivanov V., Bryn M.</i> The substantiation of parameters of theodolite lines when performing cadastral survey.....	230

BASIC REQUIREMENTS FOR SUBMITTING MANUSCRIPTS AND SCIENTIFIC ARTICLES.....	234
---	------------

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

УДК 539.3:539.4

В.Ю. Грицюк, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРАХУНОК УДАРУ ТІЛОМ ПО КОНСОЛЬНІЙ БАЛЦІ

В.Е. Грицюк, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РАСЧЁТ УДАРА ТЕЛОМ ПО КОНСОЛЬНОЙ БАЛКЕ

Vitalii Hrytsiuk, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

CALCULATION OF A BODY IMPACT ON A CANTILEVER BEAM

Існують різні моделі ударної взаємодії тіл. Найбільш досконалою можна вважати модель С.П. Тимошенка, яка проілюстрована ударом тіла по шарнірно опертій балці. Враховуються не тільки деформації балки, але й місцеві деформації обох тіл, які взаємодіють. У цій роботі розглянуто удар тілом по консольній балці.

Ключові слова: розрахунок, балка, тіло, удар.

Существуют различные модели ударного взаимодействия тел. Наиболее совершенной можно считать модель С.П. Тимошенко, которая проиллюстрирована ударом тела по шарнирно опертой балке. Учитываются не только деформации балки, но и местные деформации обоих взаимодействующих тел. В данной работе рассмотрен удар телом по консольной балке.

Ключевые слова: расчёт, балка, тело, удар.

There are various models of the impact of bodies. The most perfect can consider model of S. P. Timoshenko which is illustrated with impact of a body on a beam on hinge supports. Are considered not only deformations of a beam, but also local deformations of both interacting bodies. In this work the impact to a console beam is considered by a body.

Key words: calculation, beam, body, impact.

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій, мета статті.

Широко відомою є модель С.П. Тимошенка розрахунку балки на дію поперечного удару тілом [1]. Ця модель враховує місцеві деформації під час взаємодії тіла і балки. Проілюстрована розрахунком удару по шарнірно опертій балці (рис. 1, а). У монографії [2] справедливо відзначено, що «случай, подвергнутый многочисленным исследованиям, относится к центральному упругому удару сферы о свободно опертую балку с постоянным прямоугольным поперечным сечением...». Можна стверджувати, що це твердження залишається справедливим до наших часів. Щоб заповнити прогалину, у цій роботі розглянуто удар тілом по консольній балці (рис. 1, б).

Математична модель

Розглянемо удар тілом по балці (рис. 1).

Силу контактної взаємодії $F(t)$ тіла і балки можна знайти з рівняння

$$d(F) = \alpha(F) + w_F(x_F, F), \quad (1)$$

де d – вертикальні переміщення тіла;

α – вертикальні переміщення тіла, викликані контактними деформаціями у місці взаємодії тіл (тіла і балки);

w_F – вертикальні переміщення балки у місці знаходження тіла;

x_F – горизонтальна координата цього місця.

Рівняння (1) є відомим рівнянням поперечного удару тілом по балці, запропонованого С.П. Тимошенком [1].

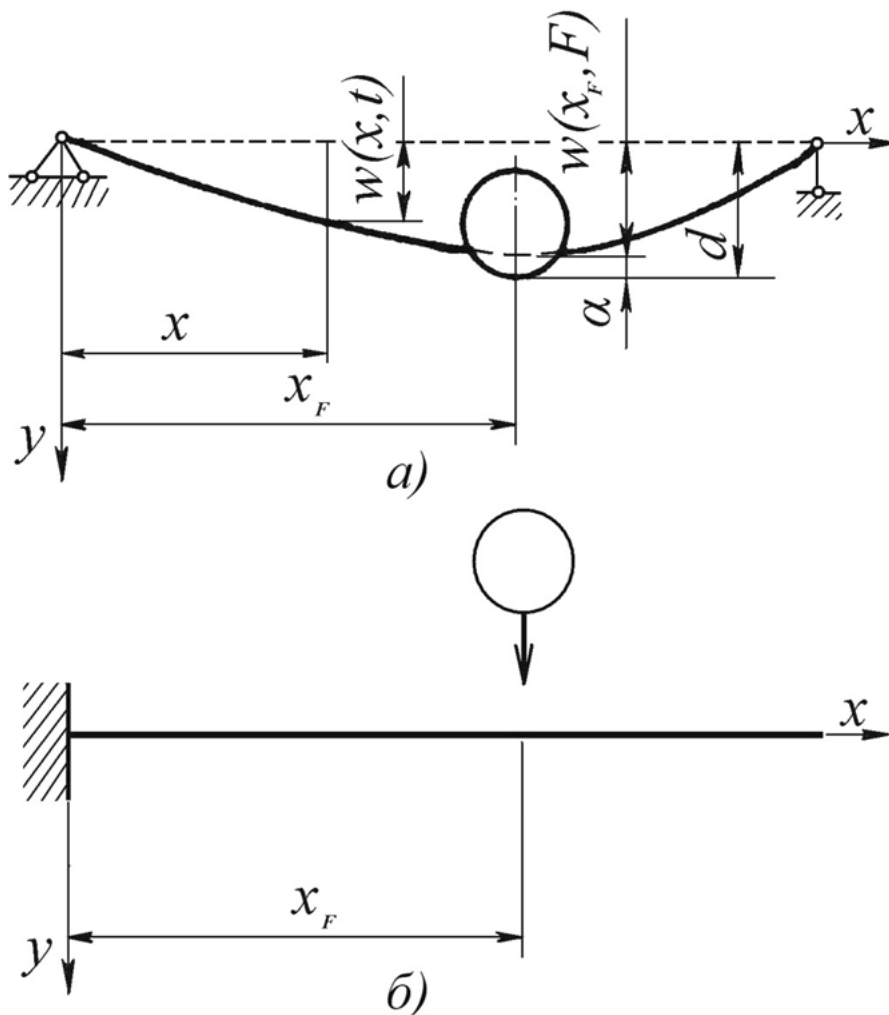


Рис. 1. Розрахункові схеми

Вертикальні переміщення тіла d можна визначити за допомогою формули

$$d(t) = d_0 + \dot{d}_0 t + g \frac{t^2}{2} - \frac{1}{M} \int_0^t F(t_1)(t-t_1) dt_1, \quad (2)$$

де d_0 , \dot{d}_0 – початкові вертикальні переміщення і швидкість тіла;

g – прискорення земного тяжіння;

M – маса тіла;

t – час.

Якщо удар не вертикальний, а боковий, то третій доданок у формулі (2) не враховується.

Переміщення a можна визначити за допомогою відомої статичної контактної задачі Герца.

Для врахування розсіювання енергії у матеріалі балки пружні характеристики її матеріалу запишемо у комплексній формі

$$E = E(1 \pm i\beta), \quad (3)$$

де E – модуль Юнга матеріалу балки;

β – коефіцієнт розсіювання енергії у матеріалі балки;

i – уявна одиниця.

Розкладаючи переміщення балки і навантаження у тригонометричні ряди, одержуємо вертикальні переміщення балки

$$w(x, t) = \sum_{j=1}^{\infty} X_j(x) \cdot T_j(t). \quad (4)$$

Переміщення α можна визначити за допомогою відомої статичної контактної задачі Герца.

Для шарнірно опертої по кінцях балки довжиною l (рис. 1, а) власні форми коливань балки

$$X_j(x) = \sin \alpha_j x, \quad \alpha_j = \frac{j\pi}{l}. \quad (5)$$

Для консольної балки довжиною l (рис. 1, б) власні форми коливань балки

$$X_j(x) = (sh \alpha_j l + \sin \alpha_j l)(ch \alpha_j x - \cos \alpha_j l) - (ch \alpha_j l + \cos \alpha_j l)(sh \alpha_j x - \sin \alpha_j l). \quad (6)$$

Числа α_j треба визначати з рівнянь

$$\cos \alpha_j l \cdot ch \alpha_j l + 1 = 0. \quad (7)$$

Мабуть, завдяки простоті запису власних форм коливань для шарнірно опертої по кінцях балки (відповідно, порівняно більш простих розрахунків) наводять приклади розрахунків саме для такої балки.

Функції часу

$$T_j(t) = e^{-\mu_j t} \left[T(0) \left(\frac{\mu_j}{\omega_j} \sin \omega_j t + \cos \omega_j t \right) + \frac{\dot{T}_j}{\omega_j} \sin \omega_j t \right] + \frac{X_j(x_F)}{m \cdot \int_0^l X_j(x)^2 dx \cdot \omega_j} \int_0^t F(t_1) \cdot e^{-\mu_j(t-t_1)} \cdot \sin \omega_j(t-t_1) dt_1, \quad (8)$$

$$\omega_j = \alpha_j^2 \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{m}}, \quad \mu_j = \frac{\beta}{2} \omega_j = \frac{\psi}{4\pi} \omega_j, \quad (9)$$

де ω_j – частоти власних коливань балки;

m – маса одиниці довжини балки;

I_z – осьовий момент інерції поперечного перерізу балки.

Найбільші нормальні напруження у довільному поперечному перерізі балки визначаються таким чином

$$\sigma(x, t) = \frac{EI_z}{W_z} \cdot \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} = \frac{EI_z}{W_z} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{d^2 X_j(x)}{dx^2} \cdot T_j(t), \quad (10)$$

де W_z – осьовий момент опору поперечного перерізу балки.

Реалізація задачі

Рівняння (1) дозволяє визначити силу $F(t)$. Це робиться чисельно на послідовних малих кроках часу τ . Існують різні алгоритми чисельної реалізації [3]. У цій роботі застосовувалася ступінчаста апроксимація ядра інтеграла $F(t)$ у формулі (7).

Реалізація задачі виконувалася за допомогою математичного пакета MathCAD.

Для наочності на рис. 2 наведено фрагмент програми.

$$\begin{aligned}
 X(i, x) &:= \left[(\sinh(\alpha_i \cdot l) + \sin(\alpha_i \cdot l)) \cdot (\cosh(\alpha_i \cdot x) - \cos(\alpha_i \cdot x)) \right] \dots \\
 &\quad + (-1) \cdot \left[(\cosh(\alpha_i \cdot l) + \cos(\alpha_i \cdot l)) \cdot (\sinh(\alpha_i \cdot x) - \sin(\alpha_i \cdot x)) \right] \\
 B_i &:= \int_0^1 X(i, x)^2 dx \quad xF := 0.5 \cdot 1 \quad x := 0 \quad Y(i, x) := \frac{d^2}{dx^2} X(i, x) \\
 T(i, t, T0, T10, F) &:= e^{-\mu_i t} \cdot \left[T0_i \cdot \left(\frac{\mu_i}{\omega_i} \cdot \sin(\omega_i \cdot t) + \cos(\omega_i \cdot t) \right) \dots \right] \dots \\
 &\quad + \frac{T10_i}{\omega_i} \cdot \sin(\omega_i \cdot t) \\
 &\quad + \frac{X(i, xF)}{m \cdot B_i \cdot \omega_i} \cdot \int_0^t F \cdot e^{-\mu_i(t-t_1)} \cdot \sin[\omega_i \cdot (t-t_1)] dt_1 \\
 T1(i, t, T0, T10, F) &:= \frac{d}{dt} T(i, t, T0, T10, F) \\
 d(t, F, d0, d10) &:= d0 + d10 \cdot t + \frac{g1 \cdot t^2}{2} - \frac{1}{M} \cdot \int_0^t F \cdot (t-t_1) dt_1 \\
 d1(t, F, d0, d10) &:= \frac{d}{dt} d(t, F, d0, d10)
 \end{aligned}$$

Рис. 2. Фрагмент програми

Приклад розрахунку

Розглянемо боковий удар (горизонтальний удар, тоді у формулі (2) $g = 0$, тобто вага тіла не враховується) по середині сталевій консольній балці (рис. 1, б) довжиною $l = 20,0$ см прямокутного поперечного перерізу 1×1 см. Ударяє сталева куля, радіус якої $1,0$ см, з початковою швидкістю $1,0$ см/с.

Вибраний крок часу (крок інтегрування рівнянь) τ дорівнює $1/180$ періоду першого тону власних коливань балки. Сила F визначалася із точністю до 1 %. Під час визначення переміщень і напружень були враховані 12 форм коливань балки. Коефіцієнт розсіяння енергії $\psi = 0,2$.

Результати розрахунку наведено на рис. 3.

На рис. 3, а представлена сила контактної взаємодії між тілом і балкою $F(t)$.

На рис. 3, б – переміщення тіла d ; прогин перерізу балки, у якому відбувається удар, w_F ; величина цього прогину при статичному прикладанні навантаження w_F^{cm} ; прогин вільного кінця балки w_l .

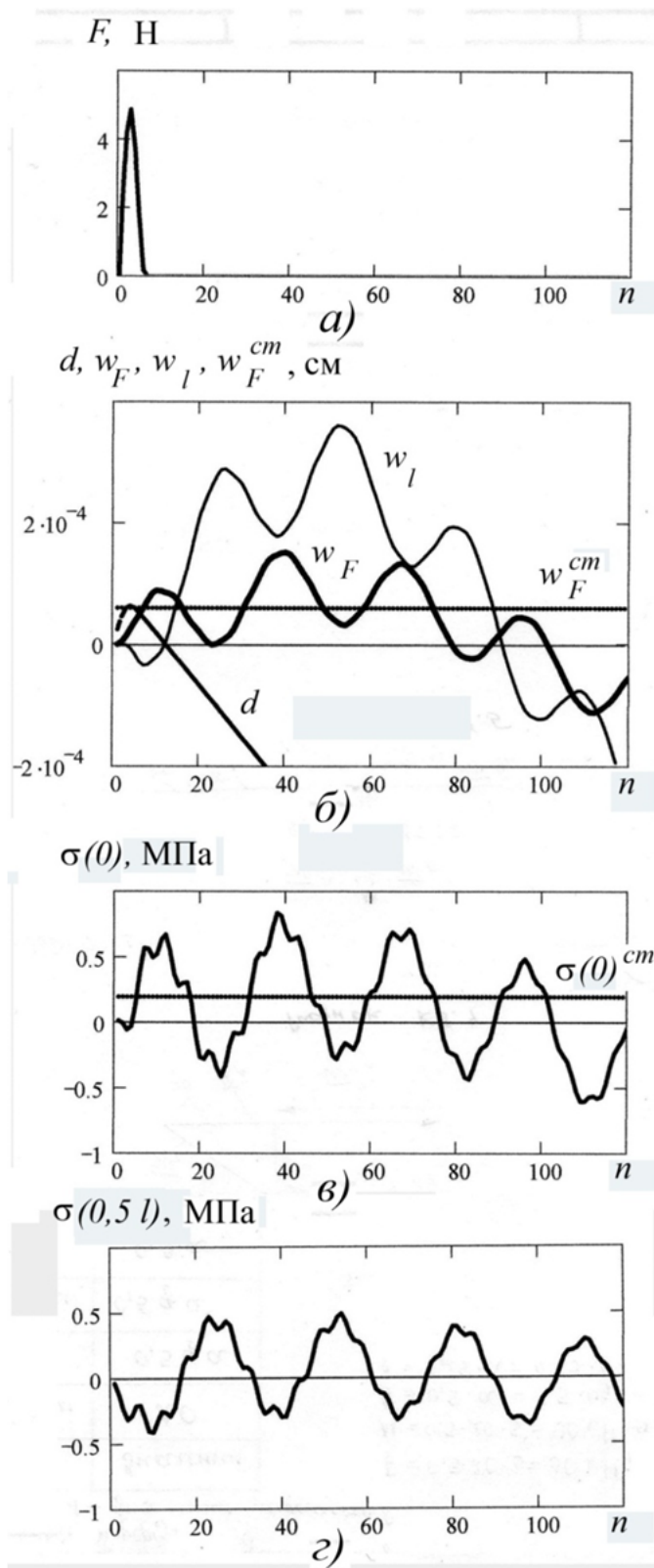


Рис. 3. Результати розрахунку

На рис. 3, в – напруження $\sigma(0)$ на лівому кінці балки і напруження $\sigma(0)^{cm}$ у цьому місці при статичному навантаженні балки.

На рис. 3, г – напруження $\sigma(0,5l)$ у перерізі середини балки.

Висновки. Наведено розрахунки удару тілом по консольній балці. Це може бути цікавим з наукового погляду і корисним в інженерній практиці. Розрахунки проілюстрували нові можливості сучасної обчислювальної техніки. Але конструкція, до якої прикладається ударне навантаження, може бути суттєво складнішою. В цьому випадку рух конструкції зручно описувати, застосовуючи метод скінченних елементів. Для наведеного у цій роботі прикладу такі розрахунки були виконані та одержані результати. З одного боку, ці розрахунки перевірили правильність одержаних результатів. З іншого – застосування методу скінченних елементів розкриває широкі можливості для розрахунку досить складних конструкцій на різні види динамічних навантажень.

Список використаних джерел

1. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М. : Наука, 1967. – 444 с.
2. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел / В. Гольдсмит ; пер. с англ. М. С. Лужиной, О. В. Лузина. – М. : Стройиздат, 1965. – 447 с.
3. Грицюк В. Ю. Алгоритми чисельного розрахунку малих коливань механічних систем / В. Ю. Грицюк // Вісник Чернігівського держ. техн. ун-ту. – 2001. – № 12. – С. 43–46.

УДК 534.1:539.3

О. В. Савченко, канд. техн. наук

О. Л. Деркач, аспірант

С. М. Ющенко, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОВ'ЯЗКОПРУЖНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

О. В. Савченко, канд. техн. наук

О. Л. Деркач, аспірант

С. М. Ющенко, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОВЯЗКОУПРУГИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Olena Savchenko, PhD in Technical Sciences

Oleh Derkach, PhD student

Svitlana Yushchenko, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

DETERMINATION OF EFFECTIVE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE ELECTRO-VISCOELASTIC COMPOSITE MATERIALS

Розглянуто дві методики визначення ефективних в'язкопружних, п'єзоелектричних та діелектричних динамічних характеристик композиційного матеріалу з п'єзоелектричними шарами. За першою методикою композиційна структура розглядається як квазіоднорідний матеріал з використанням гіпотез Фойхта-Рейсса; за другою – проводиться чисельний аналіз ефективних характеристик композиційного макронеоднорідного матеріалу за допомогою методу скінченних елементів. Результати досліджень порівнюються.

Ключові слова: п'єзоелектричний матеріал, композиційний матеріал, ефективні характеристики, декремент коливаний, метод скінченних елементів.

Рассмотрено две методики определения эффективных вязкоупругих, пьезоэлектрических и диэлектрических динамических характеристик композиционного материала с пьезоэлектрическими слоями. По первой методике композиционная структура рассматривается как квазиоднородный материал с использованием гипотез Фойхта-Рейсса; по второй – проводится численный анализ эффективных характеристик композиционного макронеоднородного материала с помощью метода конечных элементов. Проводится сравнение результатов исследования.

Ключевые слова: пьезоэлектрический материал, композиционный материал, эффективные характеристики, декремент колебаний, метод конечных элементов.

Two methods for determining the effective viscoelastic, piezoelectric and dielectric dynamic characteristics of composite material with piezoelectric layers are considered. According to the first method composite structure is regarded as a quasi-

homogeneous material using Voigt and Reuss hypotheses. According to the second the numerical analysis of effective characteristics of macro-inhomogeneous composite material using finite element method is performed. The results of research are compared.

Key words: piezoelectric material, composite material, effective characteristics, decrement of vibrations, finite element method.

Вступ. Для керування переміщеннями елементів конструкції останнім часом все частіше використовуються п'єзоелектричні матеріали, зокрема, як активні і пасивні елементи конструкцій у поєднанні з іншими конструкційними матеріалами у вигляді композита. Використання структурно-неоднорідних матеріалів з п'єзоелектричними елементами дозволяє підвищити разом з іншими і дисипативні характеристики композитного матеріалу. Важливим фактором для конструювання та впровадження активних і пасивних п'єзоелектричних композитних елементів конструкцій є розроблення методів оптимального проектування, заснованих на коректних з фізичного погляду математичних моделях.

Математична модель композиційного матеріалу будується за допомогою уведення припущень про взаємодію його компонентів і отримання деяких ефективних характеристик, після чого матеріал розглядається як гомогенний. Ефективні характеристики визначаються через порівняння напружено-деформованих станів або енергій деформування, що може проводитись як за допомогою точного визначення полів напружень і деформацій, так і з використанням більш або менш достовірних гіпотез [1; 2]. Для п'єзокомпозитів задача визначення ефективних характеристик ускладнюється через зв'язаність механічних та електричних полів.

Методика одержання ефективних в'язкопружних, п'єзоелектричних та діелектричних характеристик композиційних матеріалів розглядається у значній кількості робіт [1-8], однак питання визначення ефективних дисипативних характеристик залишається поза увагою дослідників, що дивно, зважаючи на виключно важливе їх практичне значення для роботи конструкцій в умовах динамічних навантажень.

З огляду на перспективи використання п'єзоелементів як пасивних і активних елементів конструкцій виникає необхідність побудови коректної методики врахування дисипативних характеристик структурно неоднорідних матеріалів.

Варіант гіпотези Фойхта-Рейсса для електров'язкопружного композиційного матеріалу. Для п'єзокомпозиційних матеріалів, які працюють при невисоких рівнях напружень, переважно, характерним є частотно-залежне розсіяння енергії. Залежності компонент композиційного матеріалу від частоти одержують з експериментальних досліджень.

Фізичні рівняння електров'язкопружного матеріалу мають вигляд [9]:

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= \int_{-\infty}^t R_C(t-\tau)\dot{\epsilon}(\tau)d\tau - \int_{-\infty}^t R_e(t-\tau)\dot{E}(\tau)d\tau, \\ D(t) &= \int_{-\infty}^t R_e(t-\tau)\dot{\epsilon}(\tau)d\tau + \int_{-\infty}^t R_k(t-\tau)\dot{E}(\tau)d\tau,\end{aligned}\quad (1)$$

де $R_C(t-\tau)$, $R_e(t-\tau)$, $R_k(t-\tau)$ – відповідно матриці функцій релаксації в'язкопружних, п'єзоелектричних і діелектричних властивостей матеріалу; $\sigma(t)$, $D(t)$, $\dot{\epsilon}(\tau)$, $\dot{E}(\tau)$ – вектори напруження, електричного зміщення, швидкостей деформації і напруженості електричного поля відповідно, t – час.

Залежності (1) запишемо в частотному просторі, застосувавши інтегральне перетворення Фур'є до релаксаційних інтегралів у (1):

$$\tilde{\sigma}(i\omega) = \tilde{C}(i\omega)\tilde{\varepsilon} - \tilde{e}(i\omega)^T \tilde{E}, \quad \tilde{D}(i\omega) = \tilde{e}(i\omega)\tilde{\varepsilon} + \tilde{\kappa}(i\omega)\tilde{E}, \quad (2)$$

де $\tilde{C}(i\omega)$ – матриця комплексних модулів, $\tilde{e}(i\omega)$ – матриця комплексних п'єзоконстант, $\tilde{\kappa}(i\omega)$ – матриця комплексних діелектричних модулів; $\tilde{\sigma}(i\omega)$, $\tilde{D}(i\omega)$, \tilde{E} , $\tilde{\varepsilon}$ – інтегральні перетворення відповідно векторів $\sigma(t)$, $D(t)$, $E(\tau)$, $\varepsilon(\tau)$ ^{*}; ω – частота, $i = \sqrt{-1}$; $\sigma = (\sigma_1 \ \sigma_2 \ \sigma_3 \ \sigma_4 \ \sigma_5 \ \sigma_6)^T$, $\varepsilon = (\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \varepsilon_3 \ \varepsilon_4 \ \varepsilon_5 \ \varepsilon_6)^T$ – вектори напружень і деформацій відповідно; $D = (D_1 \ D_2 \ D_3)^T$, $E = (E_1 \ E_2 \ E_3)^T$ – вектори електричного зміщення і напруженості електричного поля відповідно;

C – матриця комплексних модулів, яка для матеріалу з однією площиною симетрії (xOy) має вигляд

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & C_{36} \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & C_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{54} & C_{55} & 0 \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & 0 & 0 & C_{64} \end{pmatrix}; \quad (3)$$

e – матриця комплексних п'єзоконстант, яка для матеріалу з однією площиною симетрії (xOy) і поляризацією вздовж осі z має вигляд

$$e = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & e_{14} & e_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{24} & e_{25} & 0 \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & 0 & 0 & e_{36} \end{pmatrix}; \quad (4)$$

κ – матриця діелектричних модулів

$$\kappa = \begin{pmatrix} \kappa_{11} & \kappa_{12} & 0 \\ \kappa_{21} & \kappa_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{33} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Для k -го шару матеріалу, який складається з n шарів в'язкопружних і п'єзоелектричних анізотропних матеріалів, фізичні залежності у просторі інтегральних перетворень Фур'є (2) запишемо у вигляді одного узагальненого рівняння [9]

$$\sigma^{(k)} = C^{(k)}\varepsilon^{(k)}, \quad (k=1, \dots, n), \quad (6)$$

де $\sigma^{(k)}$, $\varepsilon^{(k)}$ – зображення, відповідно, векторів узагальнених напружень і деформацій у точках k -го шару:

$$\sigma^{(k)} = \left(\sigma_1^{(k)} \ \sigma_2^{(k)} \ \sigma_3^{(k)} \ \sigma_4^{(k)} \ \sigma_5^{(k)} \ \sigma_6^{(k)} \ \sigma_7^{(k)} \ \sigma_8^{(k)} \ \sigma_9^{(k)} \right)^T; \quad (7)$$

$$\varepsilon^{(k)} = \left(\varepsilon_1^{(k)} \ \varepsilon_2^{(k)} \ \varepsilon_3^{(k)} \ \varepsilon_4^{(k)} \ \varepsilon_5^{(k)} \ \varepsilon_6^{(k)} \ \varepsilon_7^{(k)} \ \varepsilon_8^{(k)} \ \varepsilon_9^{(k)} \right)^T; \quad (8)$$

$\sigma_1^{(k)} \dots \sigma_6^{(k)}$, $\varepsilon_1^{(k)} \dots \varepsilon_6^{(k)}$ – компоненти векторів напружень і деформацій відповідно;

$\sigma_7^{(k)} \equiv D_1^{(k)}$, $\sigma_8^{(k)} \equiv D_2^{(k)}$, $\sigma_9^{(k)} \equiv D_3^{(k)}$ – компоненти векторів електричної індукції;

^{*}) Оскільки усі подальші дії виконуються у просторі перетворень Фур'є, далі аргумент $i\omega$ і знак \sim опущено.

$\varepsilon_7^{(k)} \equiv E_1^{(k)}$, $\varepsilon_8^{(k)} \equiv E_2^{(k)}$, $\varepsilon_9^{(k)} \equiv E_3^{(k)}$ – компоненти векторів напруженості електричного поля;

$C^{(k)}$ – матриця сталих матеріалу:

$$C^{(k)} = \begin{pmatrix} C_{11}^{(k)} & C_{12}^{(k)} & C_{13}^{(k)} & 0 & 0 & C_{16}^{(k)} & 0 & 0 & e_{31}^{(k)} \\ C_{21}^{(k)} & C_{22}^{(k)} & C_{23}^{(k)} & 0 & 0 & C_{26}^{(k)} & 0 & 0 & e_{32}^{(k)} \\ C_{31}^{(k)} & C_{32}^{(k)} & C_{33}^{(k)} & 0 & 0 & C_{36}^{(k)} & 0 & 0 & e_{33}^{(k)} \\ 0 & 0 & 0 & C_{44}^{(k)} & C_{45}^{(k)} & 0 & e_{14}^{(k)} & e_{24}^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{54}^{(k)} & C_{55}^{(k)} & 0 & e_{15}^{(k)} & e_{25}^{(k)} & 0 \\ C_{61}^{(k)} & C_{62}^{(k)} & C_{63}^{(k)} & 0 & 0 & C_{66}^{(k)} & 0 & 0 & e_{36}^{(k)} \\ 0 & 0 & 0 & e_{14}^{(k)} & e_{15}^{(k)} & 0 & \kappa_{11}^{(k)} & \kappa_{12}^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{24}^{(k)} & e_{25}^{(k)} & 0 & \kappa_{21}^{(k)} & \kappa_{22}^{(k)} & 0 \\ e_{31}^{(k)} & e_{32}^{(k)} & e_{33}^{(k)} & 0 & 0 & e_{36}^{(k)} & 0 & 0 & \kappa_{33}^{(k)} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Розглянемо наближений метод, який полягає у процедурі усереднення полів напружень і деформацій неоднорідного матеріалу. Для прикладу розглянемо двокомпонентний багатошаровий матеріал з в'язкопружною матрицею і п'єзоелектричними шарами (рис. 1).

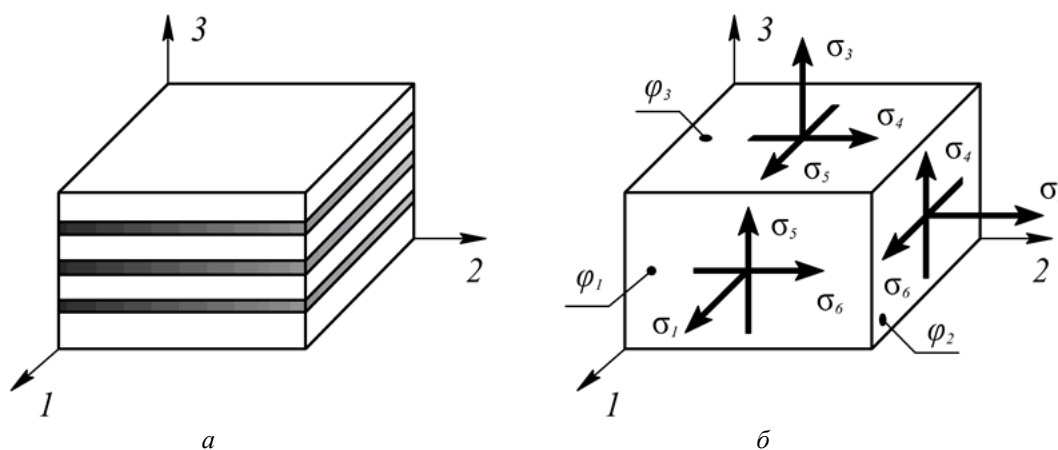


Рис. 1. Елемент об'єму багатошарової структури (а), напружений стан (б); ($\sigma_1 \dots \sigma_6$ – напруження, $\varphi_1 \dots \varphi_3$ – електричні потенціали еквіпотенціальних граней одиничного об'єму)

Введемо середні по об'єму елемента композиційного матеріалу узагальнені напруження і деформації. Для цього використаємо систему гіпотез Фойхта-Рейсса, згідно з якими для деякого представницького об'єму квазіоднорідного матеріалу багатошарової структури (рис. 1, а) можна записати умови однорідності і неперервності відповідних узагальнених напружень і деформацій:

$$\bar{\sigma}_r = \sum_{k=1}^n \eta_k \sigma_r^{(k)}, \quad \bar{\varepsilon}_s = \sum_{k=1}^n \eta_k \varepsilon_s^{(k)}, \quad \bar{\sigma}_s = \sigma_s^{(k)}, \quad \bar{\varepsilon}_r = \varepsilon_r^{(k)}, \quad (r=1, 2, 6, 7, 8; \quad s=3, 4, 5, 9), \quad (10)$$

де $\eta_k = V/V_m$ – коефіцієнти армування; V , V_m – об'єми армуючого матеріалу і матриці.

Відповідно до прийнятої нумерації узагальнених напружень і деформацій (7), (8) матрицю сталих матеріалу (9) запишемо у вигляді блочних матриць:

$$C^{(k)} = \begin{pmatrix} C_{rr}^{(k)} & C_{rs}^{(k)} \\ C_{sr}^{(k)} & C_{ss}^{(k)} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

де

$$\begin{aligned}
\mathbb{C}_{rr}^{(k)} &= \begin{pmatrix} C_{11}^{(k)} & C_{12}^{(k)} & C_{16}^{(k)} & 0 & 0 \\ C_{21}^{(k)} & C_{22}^{(k)} & C_{26}^{(k)} & 0 & 0 \\ C_{61}^{(k)} & C_{62}^{(k)} & C_{66}^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \kappa_{11}^{(k)} & \kappa_{12}^{(k)} \\ 0 & 0 & 0 & \kappa_{21}^{(k)} & \kappa_{22}^{(k)} \end{pmatrix}, & \mathbb{C}_{rs}^{(k)} &= \begin{pmatrix} C_{13}^{(k)} & 0 & 0 & e_{31}^{(k)} \\ C_{23}^{(k)} & 0 & 0 & e_{32}^{(k)} \\ C_{63}^{(k)} & 0 & 0 & e_{36}^{(k)} \\ 0 & e_{14}^{(k)} & e_{15}^{(k)} & 0 \\ 0 & e_{24}^{(k)} & e_{25}^{(k)} & 0 \end{pmatrix}, \\
\mathbb{C}_{sr}^{(k)} &= \begin{pmatrix} C_{31}^{(k)} & C_{32}^{(k)} & C_{36}^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e_{14}^{(k)} & e_{24}^{(k)} \\ 0 & 0 & 0 & e_{15}^{(k)} & e_{25}^{(k)} \\ e_{31}^{(k)} & e_{32}^{(k)} & e_{36}^{(k)} & 0 & 0 \end{pmatrix}, & \mathbb{C}_{ss}^{(k)} &= \begin{pmatrix} C_{33}^{(k)} & 0 & 0 & e_{33}^{(k)} \\ 0 & C_{44}^{(k)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{55}^{(k)} & 0 \\ e_{33}^{(k)} & 0 & 0 & \kappa_{33}^{(k)} \end{pmatrix}, \tag{12}
\end{aligned}$$

після чого визначальні рівняння для матеріалу k -го шару можна записати у вигляді

$$\begin{pmatrix} \sigma_r^{(k)} \\ \sigma_s^{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbb{C}_{rr}^{(k)} & \mathbb{C}_{rs}^{(k)} \\ \mathbb{C}_{sr}^{(k)} & \mathbb{C}_{ss}^{(k)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_r^{(k)} \\ \varepsilon_s^{(k)} \end{pmatrix}, \text{ або } \sigma^{(k)} = \mathbb{C}^{(k)} \cdot \varepsilon^{(k)}. \tag{13}$$

Далі введемо середні по об'єму елемента багатошарового матеріалу напруження і деформації згідно з (10) і припустимо, що фізичні залежності для такого матеріалу можна записати у вигляді рівняння, аналогічного рівнянню (13):

$$\begin{pmatrix} \bar{\sigma}_r \\ \bar{\sigma}_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{\mathbb{C}}_{rr} & \bar{\mathbb{C}}_{rs} \\ \bar{\mathbb{C}}_{sr} & \bar{\mathbb{C}}_{ss} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \bar{\varepsilon}_r \\ \bar{\varepsilon}_s \end{pmatrix}, \text{ або } \bar{\sigma} = \bar{\mathbb{C}} \cdot \bar{\varepsilon}. \tag{14}$$

Задача побудови математичної моделі квазіоднорідного матеріалу багатошарової структури полягає у визначенні компонент матриці модулів у рівнянні (14) за відомими компонентами матриці у (13). Одержані залежності мають вигляд [5]:

$$\begin{aligned}
\bar{\mathbb{C}}_{rr} &= \sum_{k=1}^n \eta_k \mathbb{C}_{rr}^{(k)} - \sum_{k=1}^n \eta_k \mathbb{C}_{rs}^{(k)} \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \mathbb{C}_{sr}^{(k)} + \\
&+ \left(\sum_{k=1}^n \eta_k \mathbb{C}_{rs}^{(k)} \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \right)^{-1} \cdot \left(\sum_{k=1}^n \eta_k \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \mathbb{C}_{sr}^{(k)} \right), \\
\bar{\mathbb{C}}_{rs} &= \left(\sum_{k=1}^n \eta_k \mathbb{C}_{rs}^{(k)} \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \right) \left(\sum_{k=1}^n \eta_k \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \right), \\
\bar{\mathbb{C}}_{sr} &= \left(\sum_{k=1}^n \eta_k \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \right) \left(\sum_{k=1}^n \eta_k \mathbb{C}_{sr}^{(k)} \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \right), \quad \bar{\mathbb{C}}_{ss} = \left(\sum_{k=1}^n \eta_k \left(\mathbb{C}_{ss}^{(k)} \right)^{-1} \right)^{-1}. \tag{15}
\end{aligned}$$

Декремент коливань для одиничного об'єму матеріалу (рис. 1, б) визначається для n -ї форми коливань у випадку пасивного п'єзоелектричного елемента за формулою [5]

$$\Delta^{(n)} = \pi \frac{\bar{\varepsilon}^{(n)H} \operatorname{Im}(\bar{\mathbb{C}}) \bar{\varepsilon}^{(n)}}{\bar{\varepsilon}^{(n)H} \operatorname{Re}(\bar{\mathbb{C}}) \bar{\varepsilon}^{(n)}}. \tag{16}$$

Вектори узагальнених переміщень формуються з елементів вектора середніх деформацій (8) відповідно до прийнятої форми деформації одиничного об'єму квазіоднорідного матеріалу.

На рис. 2 наведено результати визначення залежностей декрементів коливань для деяких значень вектора деформацій (рис. 2, а) та дійсних компонент комплексних мо-

дулів в'язкопружних, п'єзоелектричних і діелектричних характеристик композиційного матеріалу від коефіцієнта армування (рис. 2, б-г).

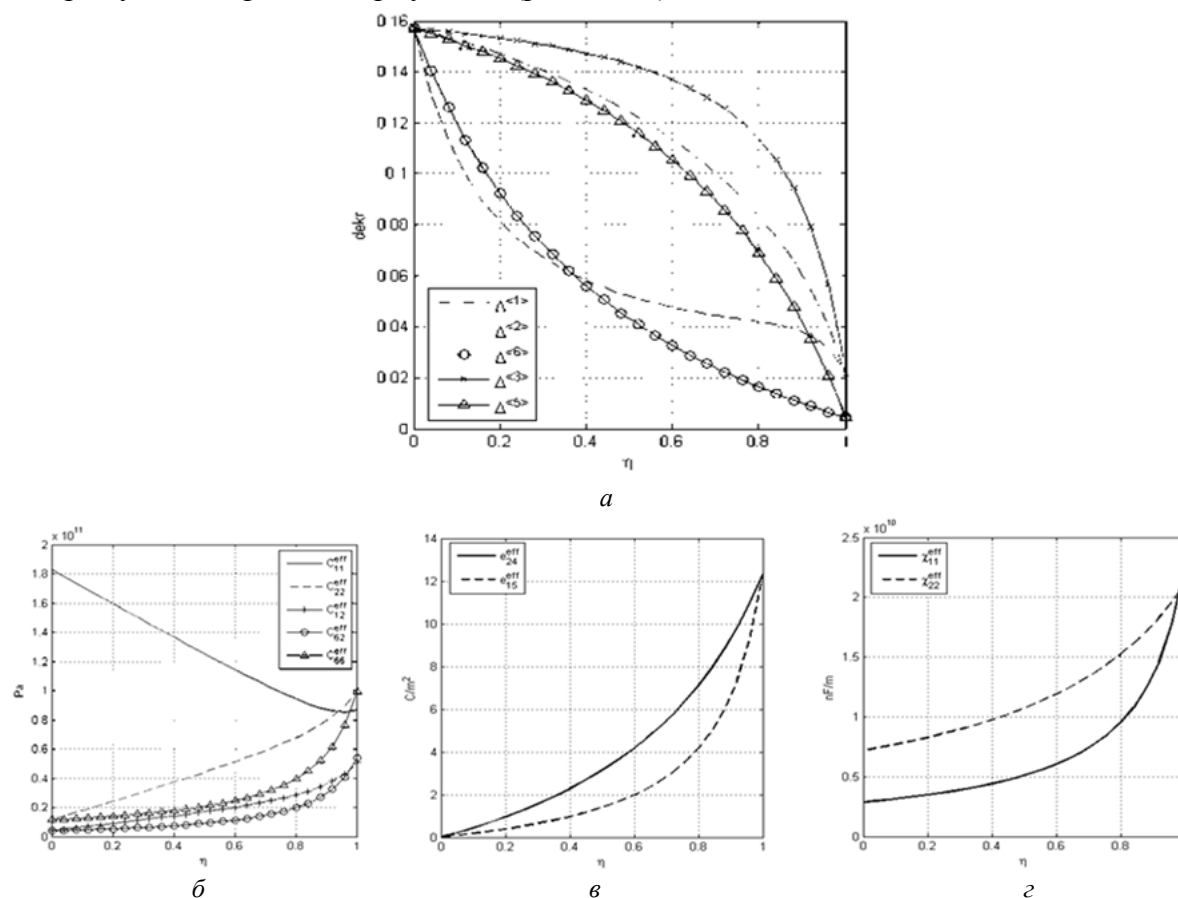


Рис. 2. Залежність дисипативних, в'язкопружних, п'єзоелектричних та діелектричних ефективних характеристик композиційного матеріалу від коефіцієнта армування: а – декременти коливань

для різних значень вектора деформації: $1 - \bar{\epsilon}^{(1)} = [\bar{\epsilon}_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \bar{\epsilon}_9]^T$,

$2 - \bar{\epsilon}^{(2)} = [0 \ \bar{\epsilon}_2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \bar{\epsilon}_9]^T$, $3 - \bar{\epsilon}^{(3)} = [0 \ 0 \ \bar{\epsilon}_3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$

$5 - \bar{\epsilon}^{(5)} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \bar{\epsilon}_5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ $6 - \bar{\epsilon}^{(6)} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \bar{\epsilon}_6 \ 0 \ 0 \ \bar{\epsilon}_9]^T$;

б – в'язкопружні; в – п'єзоелектричні; г – діелектричні компоненти матриць ефективних характеристик

Варіант методу енергетичної континуалізації. Визначимо ефективні характеристики матеріалу, скориставшись методикою енергетичної континуалізації [1–3]. Побудову математичних моделей представницького елемента об'єму проведемо за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ). Енергетичні методи визначення ефективних характеристик композиційних матеріалів ґрунтуються на рівності енергій неоднорідного (гетерогенного) і еквівалентного йому однорідного (гомогенного) середовищ. Точність значень ефективних характеристик залежить від точності знайдених усереднених тензорів напружень і деформацій. Врахувати складні граничні умови, структурну неоднорідність і реальний розподіл напружень та деформацій у матеріалі можна тільки за допомогою чисельних методів розрахунку.

Максимальне значення питомої потенціальної енергії деформації п'єзоелектричного тіла у випадку прямого п'єзоелектричного ефекту визначається за формулою

$$ReU_{(m+e)} = \frac{1}{2} \epsilon_0^T Re(C + e^T \kappa^{-1} e) \epsilon_0, \quad (17)$$

де ε_0 – амплітуда деформації.

За відсутності п'єзоелектричного ефекту (неполяризована кераміка) дійсна частина енергії матиме вигляд

$$\operatorname{Re}U_{(m)} = \frac{1}{2} \varepsilon_0^T \operatorname{Re}(C) \varepsilon_0. \quad (18)$$

Середнє значення розсіяної енергії за цикл коливань в одиниці об'єму:

$$\operatorname{Im}U_{(m+me)} = \int_0^{2\pi/\omega} \sigma \frac{d\varepsilon}{dt} dt = \pi \varepsilon_0^T \operatorname{Im}(C + e^T \kappa^{-1} e) \varepsilon_0, \quad (19)$$

$$\operatorname{Im}U_{(m)} = \int_0^{2\pi/\omega} \sigma \frac{d\varepsilon}{dt} dt = \pi \varepsilon_0^T \operatorname{Im}(C) \varepsilon_0. \quad (20)$$

Декремент коливань визначається за формулами

$$\Delta_{(m+me)}(\omega) = \frac{\operatorname{Im}U_{(m+me)}}{2 \operatorname{Re}U_{(m+me)}} = \pi \frac{\varepsilon_0^T \operatorname{Im}(C + e^T \kappa^{-1} e) \varepsilon_0}{\varepsilon_0^T \operatorname{Re}(C + e^T \kappa^{-1} e) \varepsilon_0}, \quad (21)$$

$$\Delta_{(m)}(\omega) = \frac{\operatorname{Im}U_{(m)}}{2 \operatorname{Re}U_{(m)}} = \pi \frac{\varepsilon_0^T \operatorname{Im}(C) \varepsilon_0}{\varepsilon_0^T \operatorname{Re}(C) \varepsilon_0}. \quad (22)$$

З умов еквівалентності гетерогенного і гомогенного матеріалів прирівнюємо пружні і дисипативні енергії [3]:

$$- \text{для поляризованої кераміки: } \operatorname{Re}U_{(m+me)} \cong \operatorname{Re}U_{(m+me)}^{eff}, \quad \operatorname{Im}U_{(m+me)} \cong \operatorname{Im}U_{(m+me)}^{eff}; \quad (23)$$

$$- \text{для неполяризованої: } \operatorname{Re}U_{(m)} \cong \operatorname{Re}U_{(m)}^{eff}, \quad \operatorname{Im}U_{(m)} \cong \operatorname{Im}U_{(m)}^{eff}.$$

Метод скінченних елементів. Розглянемо скінченно-елементну апроксимацію полів переміщень і електричної напруженості.

При нульових початкових умовах рівняння динаміки, одержані з використанням варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського, після інтегрального перетворення Фур'є мають вигляд рівнянь лінійної теорії пружності з комплексними модулями [11]:

$$(i\omega)^2 Mu + K_{uu}u + K_{u\varphi}\varphi = F(i\omega), \quad K_{\varphi u}u + K_{\varphi\varphi}\varphi = 0, \quad (24)$$

де

$$M = \int_V N_u^T \rho N_u dV, \quad K_{uu} = \int_V (AN_u)^T C(i\omega) AN_u dV, \quad K_{u\varphi} = \int_V (AN_u)^T e(i\omega)^T \nabla N_\varphi dV,$$

$$K_{\varphi u} = K_{u\varphi}^T, \quad K_{\varphi\varphi} = \int_V (\nabla N_\varphi)^T \chi(i\omega) \nabla N_\varphi dV, \quad F(i\omega) = \int_{S_1} N_u^T \mathcal{F}[p_S(S, t)] dS.$$

З рівнянь динаміки (24) виключаємо потенціал φ :

$$\left(K_{uu} + K_{u\varphi} K_{\varphi\varphi}^{-1} K_{\varphi u} + (i\omega)^2 M \right) u_0 = F(i\omega), \quad (25)$$

Ліву і праву частини рівняння (25) помножимо на $1/2$ та спряжено-транспонований вектор u_0^H :

$$\frac{1}{2} u_0^H \left(K_{uu} + K_{u\varphi} K_{\varphi\varphi}^{-1} K_{\varphi u} + (i\omega)^2 M \right) u_0 = \frac{1}{2} u_0^H F(i\omega). \quad (26)$$

За відсутності зовнішніх сил ($F = 0$) при квазістатичному деформуванні умовою еквівалентності характеристик композиційного і квазіоднорідного матеріалів є рівність енергій деформацій

$$u_0^H \operatorname{Re}(K_{EM}(i\omega))u_0 \cong u_0^H \operatorname{Re}(C_{EM}^{eff}(i\omega))u_0, \tag{27}$$

$$u_0^H \operatorname{Im}(K_{EM}(i\omega))u_0 \cong u_0^H \operatorname{Im}(C_{EM}^{eff}(i\omega))u_0, \tag{28}$$

де $K_{EM} = K_{uu} + K_{u\phi}K_{\phi\phi}^{-1}K_{\phi u}$.

Декременти поляризованого і неполяризованого композиційного матеріалу визначаються таким чином:

$$\Delta_{(m+me)}^{(n)} = \frac{\operatorname{Im}U_{(m+me)}^{(n)}}{2\operatorname{Re}U_{(m+me)}^{(n)}} = \pi \frac{u_0^{(n)H} \operatorname{Im}(K_{EM}(i\omega))u_0^{(n)}}{u_0^{(n)H} \operatorname{Re}(K_{EM}(i\omega))u_0^{(n)}}, \tag{29}$$

$$\Delta_{(m)}^{(n)} = \frac{\operatorname{Im}U_{(m)}^{(n)}}{2\operatorname{Re}U_{(m)}^{(n)}} = \pi \frac{u_0^{(n)H} \operatorname{Im}(K_{uu}(i\omega))u_0^{(n)}}{u_0^{(n)H} \operatorname{Re}(K_{uu}(i\omega))u_0^{(n)}}. \tag{30}$$

Граничні умови для механічних переміщень і електричного поля для представницького елемента об'єму (рис. 3) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Механічні й електричні граничні умови для визначення декременту $\Delta^{(1)}$ при розтягу-стиску представницького елемента об'єму (рис. 3)

Грань (рис. 3)	Механічні переміщення	Електрод (рис. 3)	Електричні граничні умови на електродах
ABCD	$u_1 = 0, u_2 = 0, u_3 = 0$	abcd	– (заряд відсутній)
EFGH	$u_1 = 1$	efgh	–
BFGC	–	bfgc	–
AEHD	–	aehd	–
AEFB	$u_3 = 0$	aefb	$\phi = 0$ (заземлення)
DHGC	$u_3 = 0$	dhgc	$\phi = 0$

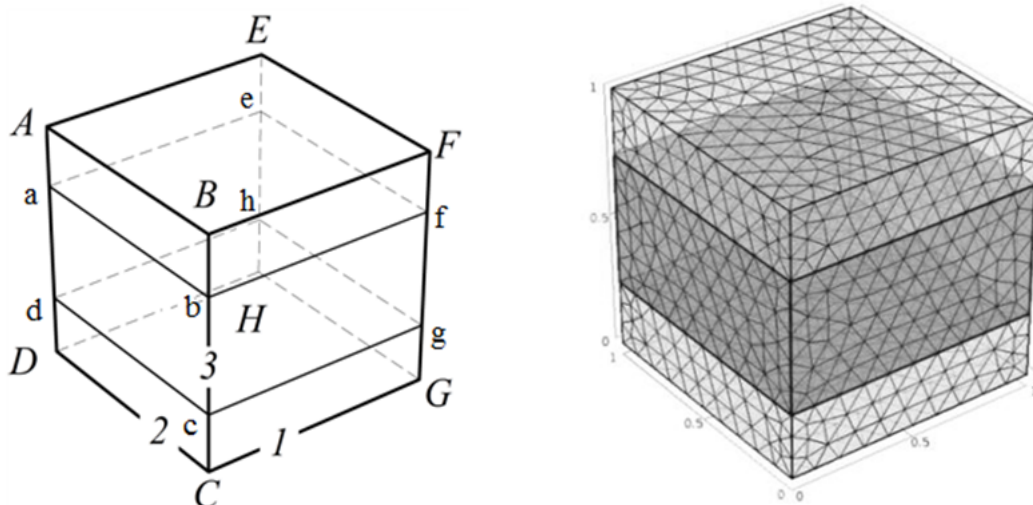


Рис. 3. Представницький елемент і його скінченно-елементна модель

Результати порівняння декрементів коливань. Розрахунки проведемо для поляризованого п'єзоелектричного композиційного матеріалу. Зі збільшенням коефіцієнта армування концентрація п'єзоматеріалу збільшується.

Властивості матеріалів – складових композита – наведено у табл. 2 [8].

Таблиця 2

Характеристики матеріалів матриці і п'єзоелектричного матеріалу

Параметр	Матриця CrEr ₂ O ₇	П'єзоматеріал PZT [5; 6]	
Пружні сталі, ГПа	C_{11}	$183,0 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$86,856 \cdot (1+i \cdot 6,40 \cdot 10^{-3})$
	C_{22}	$11,620 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$99,201 \cdot (1+i \cdot 6,90 \cdot 10^{-3})$
	C_{33}	$11,620 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$99,201 \cdot (1+i \cdot 6,90 \cdot 10^{-3})$
	C_{12}	$4,363 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$50,778 \cdot (1+i \cdot 9,80 \cdot 10^{-3})$
	C_{13}	$4,363 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$50,778 \cdot (1+i \cdot 9,80 \cdot 10^{-3})$
	C_{23}	$3,918 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$54,016 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-3})$
	C_{44}	$2,870 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$22,593 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-3})$
	C_{55}	$7,170 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$21,10 \cdot (1+i \cdot 1,40 \cdot 10^{-3})$
C_{66}	$7,170 \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$21,10 \cdot (1+i \cdot 1,40 \cdot 10^{-3})$	
П'єзоелектричні сталі, Кл/м	$e_{14} = e_{36} = e_{25}$	0	0
	$e_{15} = e_{24}$	0	$12,322 \cdot (1-i \cdot 2,10 \cdot 10^{-5})$
	$e_{31} = e_{32}$	0	$-7,209 \cdot (1-i \cdot 8,30 \cdot 10^{-5})$
	e_{33}	0	15,118
Діелектричні сталі, Ф/м	$\chi_{11} = \chi_{22} = \chi_{33}$	$-153,0 \cdot 10^{-9} \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$	$-153,0 \cdot 10^{-10} \cdot (1+i \cdot 5,0 \cdot 10^{-2})$
Густина, кг/м ³	ρ	$1,850 \cdot 10^3$	$6,850 \cdot 10^3$

Прослідкуємо, як впливає концентрація п'єзоматеріалу у фізичному рівнянні на розсіяння енергії. Для цього визначимо декремент коливань для неполяризованого матеріалу (30) і порівняємо з раніше розрахованим декрементом для поляризованої п'єзокераміки (29). Порівняння результатів розрахунків за допомогою чисельного (МСЕ) і аналітичного (гіпотеза Фойхта-Рейсса) методів наведено на рис. 4.

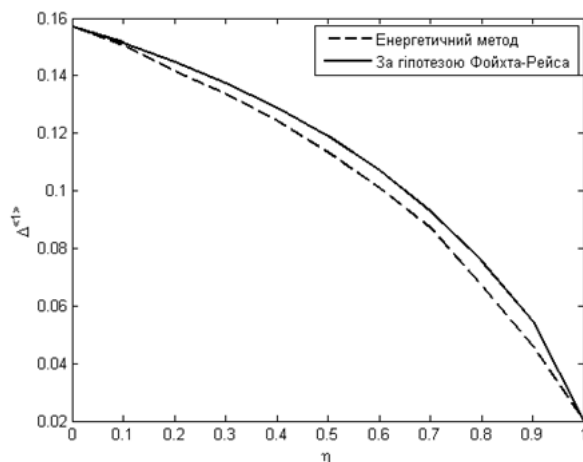


Рис. 4. Залежність декременту коливань від коефіцієнта армування двокомпонентного матеріалу за двома методами

При механічних навантаженнях, коли п'єзоелектричний поляризований елемент використовуємо як сенсор, спостерігається незначне збільшення декременту (рис. 5).

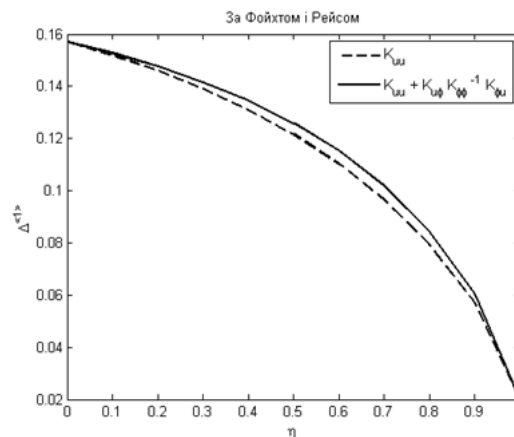


Рис. 5. Залежність декременту коливань від коефіцієнта армування з урахуванням електромеханічного ефекту (—) і без нього (- -)

Висновки. Визначено ефективні в'язкопружні, п'єзоелектричні та діелектричні динамічні характеристики багатошарового композиційного матеріалу за допомогою варіанта гіпотези Фойхта-Рейсса, який дозволяє одержати модель квазіоднорідного матеріалу, та за допомогою уточненої моделі, одержаної за допомогою методу скінченних елементів. Результати порівняння для наближеної й уточненої моделей матеріалу показали достатньо гарний збіг. Наближена модель потребує меншого часу на розрахунки, що є важливою перевагою під час використання методів оптимізації. Уточнена модель дозволяє врахувати особливості напружено-деформованого стану, а також розподілення електростатичного поля у структурно неоднорідному матеріалі.

Використання чисельних методів визначення характеристик п'єзоелектричного матеріалу дозволяє врахувати складну картину полів напружень, пов'язаних зі складною структурою армування композиційного матеріалу, а також зв'язаність полів деформацій і електричної напруженості у п'єзоелектричних елементах та граничні умови на електродах.

Проведений аналіз показав, що розглянуті моделі можна застосовувати для визначення дисипативних характеристик складних структурно-неоднорідних пасивних елементів композитних конструкцій. Водночас результати розрахунку показують, що використання у складі композитів п'єзоматеріалу у вигляді сенсора не приводить до суттєвого збільшення розсіяння енергії. Згідно з [10; 11] цього можна досягнути використанням додаткових шунтуючих пристроїв і оптимальним вибором в'язкопружних демпфіруючих матеріалів.

Список використаних джерел

1. Кристенсен Р. Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. – М. : Мир, 1982. – 334 с.
2. Хорошун Л. П. Прогнозирование эффективных свойств пьезоактивных композитных материалов / Л. П. Хорошун, Б. П. Маслов, П. В. Лещенко ; отв. ред. Н. А. Шульга. – К. : Наук. думка, 1989. – 208 с.
3. Дубенець В. Г. Визначення ефективних характеристик в'язкопружних композиційних матеріалів / В. Г. Дубенець, О. О. Яковенко // Проблеми прочності. – 2009. – № 4. – С. 124–132.
4. Дубенець В. Г. Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенець, В. В. Хильчевский. – К. : Вища школа, 1995. – Т. 1. – 226 с.
5. Савченко Е. В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций : монография / Е. В. Савченко. – Нежин : Аспект-Поліграф, 2006. – 232 с.
6. Berger H. Unit cell models of piezoelectric fiber composites for numerical and analytical calculation of effective properties / H. Berger, S. Kari, U. Gabbert, R. Rodriguez-Ramos, J. Bravo-Castillero, R. Guinovart-Diaz, F. J. Sabina and G. A. Maugin // Smart Mater. and Struct. – 2006. – Vol. 15. – P. 451–458.

7. *Trindade M. A.* Evaluation of effective material properties of thickness-shear piezoelectric macro-fiber composites / M. A. Trindade, A. Benjeddou // 21st International Congress of Mechanical Engineering “Proceedings of COBEM 2011”, October 24–28, 2011, Natal, RN, Brazil.
8. *Odegard G. M.* Constitutive modeling of piezoelectric polymer composites / G. M. Odegard // *Acta Materialia*. – 2004. – 52, № 18. – P. 5315-5330.
9. *Шульга Н. А.* Колебания пьезоэлектрических тел / Н. А. Шульга, А. М. Болкисев ; отв. ред. Б. П. Маслов. – К. : Наукова думка, 1990. – 228 с.
10. *Dubenets V. H.* Optimization of multilayered electro-viscoelastic plates / V. H. Dubenets, O. V. Savchenko // *Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Engineering science”*. – Chernihiv : Chernihiv State Technological University, 2013. – № 2 (65). – P. 59–68.
11. *Hagood N.W., von Flotow A.* Damping of structural vibrations with piezoelectric materials and passive electrical networks / Hagood N.W., von Flotow A. // *J. Sound Vib.* – 1991. – Vol. 146. – P. 243–268.

УДК 621.01

В.О. Харжевський, канд. техн. наук

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

ЧИСЛОВИЙ СИНТЕЗ НЕСИМЕТРИЧНИХ ВАЖІЛЬНИХ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ З ДОТИКОМ 5-ГО ПОРЯДКУ

В.А. Харжевский, канд. техн. наук

Хмельницкий национальный университет, г. Хмельницкий, Украина

ЧИСЛЕННЫЙ СИНТЕЗ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЫЧАЖНЫХ ПРЯМОЛИНЕЙНО-НАПРАВЛЯЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ С КАСАНИЕМ 5-ГО ПОРЯДКА

Viacheslav Kharzhevskiy, PhD in Technical Sciences

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

NUMERICAL SYNTHESIS OF THE UNSYMMETRIC LINKAGE STRAIGHT-LINE MECHANISMS WITH 5TH ORDER OF TANGENCY

Розглянуто синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів, шатунна точка яких описує несиметричні шатунні криві. Синтез таких механізмів є важливим завданням, оскільки вони забезпечують більшу надійність, довговічність, навантажувальну здатність порівняно з іншими типами механізмів, зокрема кулачковими, та застосовуються в різних галузях машинобудування. Для проведення синтезу в роботі використовуються методи кінематичної геометрії шести нескінченно близьких положень, що відповідає дотику максимально можливого 5-го порядку шатунної кривої зі своєю дотичною та забезпечує проектування прямолінійно-напрямних механізмів зі значними ділянками наближення високої точності. Наведено числові результати проведеного синтезу.

Ключові слова: важільні механізми, прямолінійно-напрямні механізми, синтез, випадок Чебишева 5-го порядку, кінематична геометрія.

Рассмотрен синтез рычажных прямолинейно-направляющих механизмов, шатунная точка которых описывает несимметричные шатунные кривые. Синтез таких механизмов является важной задачей, поскольку они обеспечивают лучшую надежность, долговечность и нагрузочную способность по сравнению с другими типами механизмов, в частности кулачковыми, и используются в различных отраслях машиностроения. Для проведения синтеза в работе используются методы кинематической геометрии шести бесконечно близких положений, что соответствует касанию максимально возможного 5-го порядка шатунной кривой со своей касательной и обеспечивает проектирование прямолинейно-направляющих механизмов с продолжительными участками приближения высокой точности. Приведены численные результаты проведенного синтеза.

Ключевые слова: рычажные механизмы, прямолинейно-направляющие механизмы, синтез, случай Чебышева 5-го порядка, кинематическая геометрия.

The article is dedicated to the synthesis of the straight-line linkage mechanisms which coupler point could trace unsymmetric coupler curves. Synthesis of such mechanisms is an important task due to their high durability, reliability, load capacity in comparison with the other types of mechanisms, for example, cam mechanisms, and have wide application in different branches of machine building. For carrying out the synthesis procedure, methods of the kinematic geometry of the six infinitesimally close positions are used, which corresponds to the tangency of 5th order of the coupler curve with the tangent line which is the maximum available. It enables the designing of straight-line linkage mechanisms with large approximation parts with high accuracy. The numerical results of conducted synthesis are given.

Key words: linkages, straight-line mechanisms, synthesis, 5th order Chebyshev's points, kinematic geometry.

Постановка проблеми. Синтез важливих напрямних механізмів являє собою важливе практичне завдання, оскільки внаслідок відсутності вищих кінематичних пар, геометричного замикавання ланок такі механізми мають певні переваги перед іншими типами механізмів, зокрема кулачковими. Основними перевагами є можливість забезпечення значно більших робочих швидкостей машин, більша навантажувальна здатність, надійність та довговічність. Важливі напрямні механізми успішно використовуються в різних галузях машинобудування, однак основною проблемою є досить складна процедура їх синтезу, що обмежує практичне їх використання [1–4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із напрямків синтезу важливих напрямних механізмів є використання алгебраїчних методів наближення функцій за Чебишевим. Розвитку цих методів присвячені, зокрема, роботи Кіницького [4], Саркісяна [10], Гассманна [8]. Іншим напрямком синтезу таких механізмів є використання методів кінематичної геометрії нескінченно близьких положень плоскої фігури, що полягають у використанні вузлів інтерполяції високої кратності (від 3 до 6) [1–3; 6; 7; 9; 13]. Якщо прийняти такий вузол інтерполяції як шатунну точку механізму, то в деякому околі від цієї точки отримаємо ділянку шатунної кривої наближено постійної кривизни. Ці методи отримали розвиток у роботах Бейєра [2], Ліхтенхельдта, Черкудинова [1], Відосіча, Тесара [9], Іна, Хана [11; 12] та ін. Огляд сучасних методів синтезу наведено також у роботі Уанга [13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В цій роботі розглядається питання синтезу прямолінійно-напрямних механізмів з найвищим порядком дотику шатунної кривої зі своєю дотичною прямою – 5-го порядку, що відповідає випадку шести нескінченно близьких положень (наявність шестикратного вузла інтерполяції). У роботі Артоболевського, Левицького, Черкудинова [1] розглядалось питання синтезу таких механізмів для випадку симетричної шатунної кривої, що є частковим випадком. У роботі Відосіча, Тесара [9] розглядалось питання синтезу несиметричних чотириланкових механізмів з дотиком 5-го порядку, проте наведена там методика синтезу має такі недоліки: 1) величина ділянки наближення вибирається з використанням наведених діаграм за заданим максимальним відхиленням, що в багатьох випадках призводить до неточного її вибору – гарантується лише те, що ділянка наближення буде *не менше* наперед заданої величини (дійсна величина ділянки наближення може виявитись більше теоретичної), що призводить до погіршення кінематичних характеристик механізмів; 2) неможливість проведення синтезу за заданими довжинами ланок механізму – кривошипа, шатуна або коромисла; 3) не враховуються всі варіанти співвідношення довжин ланок базового механізму. Як відомо, практичне використання мають як чотириланкові кривошипно-коромислові, двокривошипні, так і двокоромислові механізми. Зокрема, одним із прикладів практичного використання двокоромислових прямолінійно-напрямних механізмів, де вимагається висока точність прямолінійної ділянки, є механізм зв'язку огороження з основою щитової механізованої кріпи шахтного обладнання [5]. Методи синтезу прямолінійно-напрямних механізмів з дотиком 5-го порядку, що наведені в [9], не дозволяють проводити синтез таких механізмів.

Мета статті. Метою цієї роботи є розроблення числового методу синтезу прямолінійно-напрямних механізмів з дотиком 5-го порядку відповідно до умови наявності шестикратного вузла інтерполяції. Це дозволить проводити синтез таких механізмів з ділянками наближення значної тривалості та порівняно високої точності.

Виклад основного матеріалу. На рис. наведено кінематичну схему шарнірного чотириланкового механізму, точка D якого описує деяку шатунну криву. При правильному підборі параметрів механізму, а саме: довжини кривошипа $r = l_{OA}$, шатуна $b = l_{AB}$, коромисла $c = l_{BC}$, а також положення шатунної точки, що визначається довжиною другого

плеча шатуна $k = l_{BD}$ та кутом його злому Ω , шатунна крива буде мати наближено прямо-лінійну ділянку деякої довжини. Під час проведення досліджень відповідно до рекомендацій [1], приймаємо відстань між осями нерухомих шарнірів $d = l_{OC}$ постійною і рівною одиниці, оскільки отримати такі ж механізми з іншими величинами міжосьової відстані завжди можна за допомогою масштабування всіх інших параметрів кінематичної схеми.

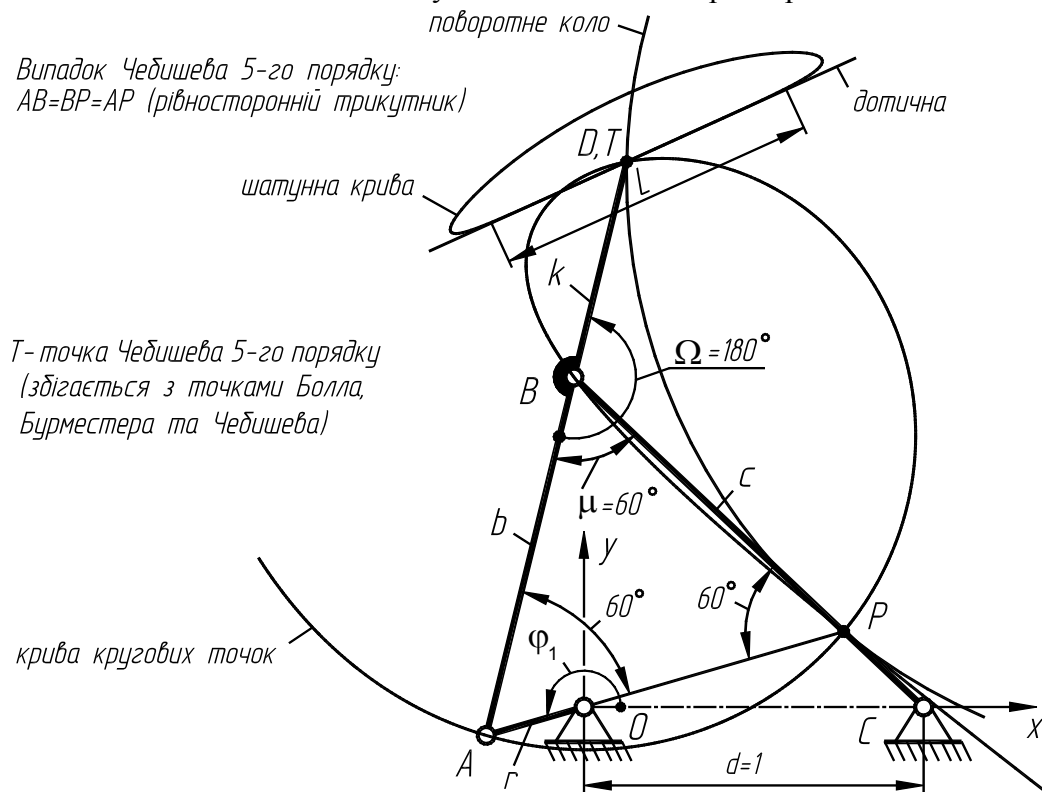


Рис. Прямолінійно-напряаний шарнірний чотириланковий механізм для випадку Чебишева 5-го порядку (загальний випадок – шатунна крива є несиметричною)

Задача полягає у визначенні таких параметрів шарнірного чотириланкового механізму, щоб деяка точка D його шатунної площини описувала шатунну криву, яка в цій точці мала б дотик 5-го порядку зі своєю дотичною прямою. Така особлива точка називається точкою Чебишева 5-го порядку [3], для її знаходження повинні виконуватись такі умови:

1) для того, щоб коло кривизни деякої точки шатунної площини вироджувалось у пряму лінію (тобто коло нескінченного радіуса), ця точка повинна належати поворотному колу (рис.), яке визначається відомими методами кінематичної геометрії для будь-якого положення шатунної площини [1–3];

2) шатунна точка повинна належати кривій, що є геометричним місцем точок, які забезпечують дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами. Крім точки Чебишева 5-го порядку, на цій кривій також знаходяться рухомі шарніри A та B шарнірного чотириланкового механізму, оскільки в цих точках спостерігається дотик не тільки 5-го, але і як завгодно високого порядку (ці точки описують ідеальні кола).

Випадок, для якого при певному співвідношенні розмірів ланок шарнірного чотириланкового механізму та положенні шатунної площини можна знайти точку Чебишева 5-го порядку, називається випадком Чебишева 5-го порядку [3]. Відомий частковий випадок [1], коли положення точки Чебишева 5-го порядку можна визначити аналітично – цей випадок відповідає симетричній формі шатунної кривої, для якого розміри механізму такі: $r = 1/3 = 0,333(3)$; $b = c = k = 4/3 = 1,333(3)$; $\Omega = 180^\circ$, причому точка Чебишева 5-го

порядку визначається у положенні шатунної площини, що визначається кутом повороту кривошипа $\varphi_1 = 180^\circ$.

У загальному випадку, для того, щоб у шатунній площини механізму можна було знайти точку Чебишева 5-го порядку, співвідношення між розмірами ланок шарнірного чотириланкового механізму має задовольняти таким рівнянням, що називаються умовами Мюллера [2]:

$$\left. \begin{aligned} & c^3 r^3 + r^3 b^3 + b^3 c^3 - 3crb [c^2 (r+b) + r^2 (b+c) + b^2 (c+r)] + 15c^2 r^2 b^2 = 0; \\ & d = \frac{c^2 r^2 + c^2 b^2 + r^2 b^2 - crb (c+r+b)}{3crb}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де r, b, c, d – розміри ланок шарнірного чотириланкового механізму (рис.). У цьому випадку спостерігається така особливість: механізм знаходиться у такому положенні, що полюс P миттєвого обертання шатунної площини утворює рівносторонній трикутник ABP з рухомими шарнірами механізму ($AB = BP = AP$).

Враховуючи, що в нашому випадку $d = 1$, а також провівши деякі спрощення, систему (1) можна переписати таким чином:

$$\left. \begin{aligned} & r^3 (b^3 + c^3) + b^3 c^3 - 3rbc [r^2 (b+c) + b^2 (c+r) + c^2 (r+b)] + 15r^2 b^2 c^2 = 0; \\ & r^2 (b^2 + c^2) + b^2 c^2 - rbc (3+r+b+c) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Як видно, система (2) містить 2 рівняння та 3 невідомих (r, b, c), таким чином, ця система рівнянь не має однозначного розв'язку, тому пошук коренів будемо проводити числовим способом.

Послідовність визначення параметрів механізмів така:

1. Задаємо довжиною кривошипа r базового чотириланкового механізму, для якого будемо проводити синтез прямолінійно-напрямного механізму. Далі розглянемо числовий приклад для випадку $r = 0,3$, шатунна крива якого в загальному випадку буде несиметричною. Приклад такого механізму, як шатунна точка якого прийнята точка Чебишева 5-го порядку, наведено на рис.

2. Підставляємо значення r у систему (2), яка таким чином перетвориться у систему двох рівнянь з двома невідомими (довжини шатуна b та коромисла c):

$$\left. \begin{aligned} & 0,027 (b^3 + c^3) + b^3 c^3 + 1,35b^2 c^2 - 0,081bc \times \\ & \times [0,09 (b+c) + b^2 (c+0,3) + c^2 (b+0,3)] = 0; \\ & 0,09 (b^2 + c^2) + b^2 c^2 - 0,3bc (1,3 + b + c) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3. Розв'язуємо отриману систему рівнянь числовим способом. Як показали проведені дослідження, в загальному вигляді можна отримати 6 пар розв'язків, крім варіанта $(0;0)$, який не визначає механізму. Для прикладу, що розглядається ($r = 0,3$), система рівнянь (3) буде мати такі розв'язки:

$$\begin{pmatrix} b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,84353695; -0,13305139; 1,42226204; 1,17414197; 0,08368989; 1,09649445 \\ -0,13305139; -0,84353695; 1,09649445; 0,08368989; 1,17414197; 1,42226204 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Як видно з (4), перший та другий розв'язки являють собою від'ємні числа та відкидаються, оскільки довжини ланок мають бути додатними величинами. Умова існування кривошипа в шарнірному чотириланковому механізмі, як відомо [5], визначається умовою Грасгофа:

$$l_1 + l_4 \leq l_2 + l_3, \quad (5)$$

де l_1, l_4 – найкоротша та найдовша ланки механізму, l_2, l_3 – дві інші ланки механізму. Отже, третій та шостий розв'язок у (4) визначають кривошипно-коромислові механізми. Якщо у четвертому розв'язку представити ланку r як коромисло, а ланку c – як кривошип, тоді цей розв'язок також визначить кривошипно-коромисловий механізм. П'ятий розв'язок визначає двокоромисловий механізм. Причому, як видно, довжина шатуна у третьому розв'язку є довжиною коромисла у шостому і навпаки. Аналогічна ситуація спостерігається з іншими парами розв'язків.

4. Визначаємо положення шатунної точки механізму. Розв'язки системи рівнянь (3) дозволяють визначити розміри ланок механізму, за якими в шатунній площині можна знайти точку, що забезпечує дотик 5-го порядку. Але нерозв'язаною залишається задача визначення положення шатунної точки шарнірного чотириланкового механізму. Для цього в шатунній площині необхідно знайти точку Чебишева 5-го порядку.

Для знаходження цієї точки будемо використовувати такі положення кінематичної геометрії [3; 9]:

- оскільки точкою шатунної площини, що забезпечує дотик не нижче 3-го порядку з дотичною прямою, є точка Болла, яка визначається як точка перетину кривої кругових точок з поворотним колом (рис.), то у цьому випадку точка Чебишева 5-го порядку буде збігатись з точкою Болла;

- якщо точка Болла забезпечує дотик не тільки 3-го, але й 4-го порядку, то у цьому положенні точка Болла буде збігатись з точкою Бурместера і буде являти собою точку Чебишева;

- якщо точка Чебишева визначена для механізму, розміри ланок якого задовольняють рівнянням (3), то будемо мати випадок Чебишева 5-го порядку [3], а знайдена точка буде точкою Чебишева 5-го порядку.

Таким чином, для знаходження положення точки Чебишева 5-го порядку необхідно для механізму, розміри ланок якого знайдені відповідно до п. 3, знайти положення точки Чебишева, яка у цьому випадку буде точкою Чебишева 5-го порядку. Для цього використовувався метод числового визначення точок Чебишева, що запропонований автором та описаний у роботі [6]. Метод ґрунтується на положенні кінематичної геометрії, що точка Чебишева є точкою шатунної площини механізму, для якої виконується така умова [6]:

$$K = \frac{dK}{d\varphi_1} = \frac{d^2K}{d\varphi_1^2} = 0, \quad (6)$$

де $K = K(\varphi_1)$ – функція кривизни шатунної кривої.

5. Відповідно до розв'язків, знайдених у п. 3, знаходимо всі точки Чебишева 5-го порядку та проектуємо на їх основі прямолінійно-напрямні шарнірно-важільні механізми. Зокрема для прикладу, що розглядався вище ($r = 0,3$), відповідно до методики, описаної у п. 4, були спроектовані механізми, параметри яких вказані у табл. 1. Зазначимо, що наведено параметри тільки кривошипно-коромислових механізмів, що визначаються розв'язками системи (3), зазначеними у (4), а саме – третім, четвертим та шостим. У табл. 1 вказано довжини кривошипа r , шатуна b , коромисла c , а також кут повороту кривошипа φ_1 , що визначає положення шатунної площини, для якого визначалась точка Чебишева 5-го порядку. Це означає, що в деякому околі від цієї точки шатунна крива має ділянку наближено сталої кривизни – тобто спостерігається наближення до прямої лінії, оскільки точка Чебишева 5-го порядку забезпечує дотик 5-го порядку зі своєю дотичною прямою. В табл. 1 також наведено довжину другого плеча

шатуна $k = l_{BD}$, що визначається в результаті синтезу для випадку Чебишева 5-го порядку, довжина ділянки наближення L спроектованого механізму, та максимальне відхилення від прямолінійності E .

Таблиця 1

Порівняння механізмів, синтезованих за умовою дотику 5-го порядку

№	r	b	c	φ_1	k	L	E
3	0,3	1,42226204	1,09649445	164	2,36735978	1,31854	0,0037
4	0,08368989	1,17414197	0,3	131	10,17293527	1,39215	0,0036
6	0,3	1,09649445	1,42226204	196	0,65875176	0,79053	0,0037

Визначення параметрів точок Чебишева 5-го порядку проходить аналогічно до визначення точок Болла [1; 7] з тією різницею, що розміри базового чотириланкового механізму та положення його шатунної площини визначаються з використанням додаткових умов: збіг точки Болла з точкою Чебишева та виконання умов Мюллера (1) щодо наявності дотику 5-го порядку. Слід зазначити, що особливість точок Чебишева 5-го порядку полягає в тому, що вони визначають механізми, в яких кут $\Omega = 180^\circ$. Під час проведення синтезу значення k та Ω є вихідними параметрами синтезу, отже, отримане значення Ω є однією з перевірок правильності проведених розрахунків. Розрахунки проводились з точністю, що дозволяє отримати значення $\Omega = 180^\circ \pm 10^{-8}$.

Довжина ділянки наближення L визначалась за допомогою методики, розробленої автором та наведеної у [7]. Як видно з табл. 1, знайдені механізми забезпечують приблизно однакову точність, різні величини прямолінійних ділянок та різні габаритні розміри, які у випадку 3 та особливо у випадку 4 можна розглядати як неконструктивні, оскільки відношення найдовшої та найкоротшої ланок механізмів є досить великим (відповідно 7,89 та 121).

Результати, наведені у табл. 1, наочно демонструють, що синтез механізмів лише з використанням математичних умов не завжди дозволяє спроектувати раціональні конструкції механізмів, тому метод синтезу, викладений вище, повинен використовуватись для побудови меж існування таких механізмів з урахуванням додаткових критеріїв, що важливі для конструктора.

Для демонстрації описаного методу синтезу в табл. 2 наведено приклади деяких результатів, отриманих з використанням розроблених алгоритмів для довжин кривошипів у діапазоні $r = 0,2 \dots 0,3$. Крім того, для порівняння також наведено результати синтезу механізму із симетричною шатунною кривою ($r = 1/3$).

Таблиця 2

Приклади кривошипно-коромислових механізмів з дотиком 5-го порядку

№	r	b	c	φ_1	k	L	E
1	0,20	0,70570352	1,35185007	214	0,21679525	0,43817	0,00368
2	0,21	0,74152664	1,36351868	213	0,24299821	0,46638	0,00368
3	0,22	0,77771883	1,37448050	211	0,27164232	0,49559	0,00368
4	0,23	0,81435735	1,38467208	210	0,30304479	0,52590	0,00369
5	0,24	0,85153659	1,39401192	208	0,33760396	0,55747	0,00369
6	0,25	0,88937486	1,40239376	206	0,37583399	0,59049	0,00370
7	0,26	0,92802508	1,40967599	205	0,41841447	0,62521	0,00370
8	0,27	0,96769214	1,41566428	203	0,46627363	0,66197	0,00371
9	0,28	1,00866347	1,42008115	201	0,52073616	0,70123	0,00371
10	0,29	1,05136692	1,42250811	199	0,58380275	0,74370	0,00372
11	0,30	1,09649445	1,42226204	196	0,65875176	0,79053	0,00372
12	1/3	1,33333333	1,33333333	180	1,33333333	1,09114	0,00372

Метод, описаний вище, дозволяє проводити синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів, що забезпечують наближення деякої ділянки шатунної кривої до прямої лінії з дотиком 5-го порядку, а оскільки шатунна крива шарнірного чотириланкового механізму є алгебраїчною трициркулярною кривою 6-го порядку, то дотик 5-го порядку є теоретично найвищим та дозволяє проводити синтез механізмів з високою точністю наближення.

Як видно з табл. 2, всі синтезовані прямолінійно-напрямні механізми забезпечують приблизно однакову точність наближення, різні величини прямолінійних ділянок та різні габаритні розміри.

Висновки і пропозиції. У роботі розроблено числовий метод синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів, що ґрунтується на теоретичних положеннях кінематичної геометрії з шестикратним вузлом інтерполяції для випадку Чебишева 5-го порядку. Наведено числові приклади результатів проведеного синтезу. Роботу планується продовжити в напрямку визначення меж існування таких механізмів з метою проведення їх оптимізаційного синтезу за різними критеріями, що важливі для практичного використання цих механізмів.

Список використаних джерел

1. *Артоболевский И. И.* Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. *Бейер Р.* Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов / Р. Бейер. – М. : Машгиз, 1959. – 318 с.
3. *Геронимус Я. Л.* Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов / Я. Л. Геронимус. – М. : Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.
4. *Киницкий Я. Т.* Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
5. *Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт : [монография] / С. С. Гребёнкин, В. В. Косарев, С. Е. Топчий и др.* – Донецк : ВИК, 2009. – 372 с.
6. *Харжевський В. О.* Методика визначення особливих точок Чебишева для синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів / В. О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 34–41.
7. *Харжевський В. О.* Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.02 / В. О. Харжевський ; Хмельницький держ. ун-т. – Хмельницький, 2004. – 262 с.
8. *Gassmann V.* Synthese von Geradführungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
9. *Vidosic J., Tesar D.* Selection of four-bar mechanisms having required approximate straight-line outputs. Part I. The general case of the Ball-Burmester point // *Journal of mechanisms*. – 1967. – 2(1). – Pp. 23–44.
10. *Sarkissyan Y. L.* Approximations in Synthesis of Mechanisms // *State Engineering University of Armenia Proceedings, series "Mechanics, Machine Science, Machine-building"*. – 2012. – Issue 15, No. 2. – Pp. 9–21.
11. *Yin L.* Synthesis method based on solution regions for planar four-bar straight-line linkages / L. Yin, J. Han, C. Mao, J. Huang, T. Yang // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2012. – 26 (10). – Pp. 3159–3167.
12. *Yin L.* Synthesis research of straight-line mechanisms by analyzing solution regions / L. Yin, J. Han // *Journal of University of Science and Technology, Beijing*. – 2011. – 33(2). – Pp. 237–243.
13. *Wang D.* Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages / Wang D., Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 450 p.

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.9.02

М.С. Степанов, д-р техн. наук

М.С. Иванова, асистент

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА НА СИЛУ РЕЗАНИЯ

М.С. Степанов, д-р техн. наук

М.С. Иванова, асистент

Национальний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ЯВИЩ ТА ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ НА СИЛУ РІЗАННЯ

Mikhail Stepanov, Doctor of Technical Sciences

Marina Ivanova, assistant

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THERMOMECHANICAL PHENOMENA AND COMBINED AXIAL TOOL PARAMETERS ON CUTTING FORCE

Рассмотрено формирование суммарной осевой силы резания и крутящего момента при обработке отверстия комбинированным осевым инструментом на примере трехступенчатого сверла в зависимости от принципа работы ступеней. В результате сравнительного анализа суммарных осевых сил резания и крутящих моментов при обработке как трехступенчатым сверлом с различными конструктивными параметрами, так и стандартным спиральным сверлом определен наиболее эффективный вариант соотношения диаметров ступеней комбинированного осевого инструмента.

Ключевые слова: глубина резания, подача, частота вращения, осевая сила, крутящий момент, комбинированный осевой инструмент, температурные деформации.

Розглянуто формування сумарної осьової сили різання і крутного моменту під час оброблення отвору комбінованим осьовим інструментом на прикладі тріступінчастого свердла залежно від принципу роботи ступенів. У результаті порівняльного аналізу сумарних осьових сил різання і крутних моментів під час оброблення як тріступінчастим свердлом з різними конструктивними параметрами, так і стандартним спіральним свердлом визначений найбільш ефективний варіант співвідношення діаметрів ступенів комбінованого осьового інструменту.

Ключові слова: глибина різання, подача, частота обертання, осьова сила, крутний момент, комбінований осьовий інструмент, температурні деформації.

The formation of the total thrust force and torque in hole-making operations with combined axial tool according to the steps principle of operation, for example a three-step drill is considered in the article. A comparative analysis of the total thrust forces and torques in hole-making operations with three-step drill with various design parameters and a standard twist drill was performed. The most effective diameters ratio of stages in combined axial tool was determined.

Key words: cutting depth, feed, cutting speed, thrust force, torque, combined axial tool, thermal deformation.

Постановка проблемы. При механической обработке материалов важными характеристиками этого процесса наряду с другими являются сила резания и крутящий момент. От них зависят условия работы оборудования и инструмента, точность обработки детали, энергетические затраты и другие показатели технологического процесса. Как известно, обработка отверстий более сложный и трудоемкий процесс по сравнению с обработкой наружных цилиндрических поверхностей, который во многом зависит от температурных явлений, происходящих при обработке отверстия осевым инструментом. Процесс обработки отверстия комбинированным осевым инструментом (КОИ) сопровождается еще более сложными условиями по сравнению с обработкой элементарным осевым инструментом. Особенно это проявляется при параллельном и параллельно-последовательном принципе работы ступеней, когда в резании принимают участие одновременно несколько ступеней. Это приводит к концентрации сил резания,

возрастанию температур нагрева как инструмента, так и детали, увеличению объема срезаемого материала, что может стать причиной появления погрешностей обработки, ускорения износа инструмента, усложнения выведения стружки или ее пакетирования. Кроме того, при обработке КОИ характерны также еще более сложные условия подвода СОЖ, трение стружки и инструмента по обрабатываемой поверхности и т. д. Однако общий припуск при обработке отверстий КОИ распределяется между ступенями, а глубина резания каждой ступенью не является постоянной величиной. Причиной этого является то, что после обработки каждой ступенью появляются погрешности, связанные с искажением продольного профиля отверстия, принимающего бочкообразную форму из-за температурных деформаций детали и инструмента в зоне резания, в результате чего результирующие силы резания могут изменяться.

Анализ исследований и публикаций. Значительное количество исследований как отечественных, так и зарубежных авторов посвящено исследованию температурного состояния при обработке отверстий [1–4]. В работе [3] установлены особенности влияния первой ступени комбинированного осевого инструмента на температурное состояние детали в зоне резания второй ступени. В работе [4] на основе энергетического метода, основанного на изучении совместных температурных явлений и процесса изнашивания инструмента при обработке отверстий КОИ, предложен аналитический метод определения режимов резания. Однако данные о влиянии термомеханических явлений, происходящих при обработке КОИ на результирующие силы резания и крутящие моменты, отсутствуют.

Цель статьи. Целью данной статьи является изучение влияния конструктивных параметров КОИ и режимов резания на термомеханические явления, происходящие в зоне резания и влияющие на силовые параметры процесса обработки.

Изложение основного материала. Изменению температурных условий обработки и, как следствие, изменению результирующей осевой составляющей силы резания и крутящего момента способствуют различные факторы (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, влияющие на изменение силы резания и крутящего момента при обработке отверстий КОИ, зависящие от температуры

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

В процессе обработки КОИ осевая составляющая силы резания и крутящий момент зависят от принципа работы ступеней (последовательно, параллельно, параллельно-последовательно). Теплота, генерируемая в зоне резания ступени КОИ, в немалой степени определяется ее подогревом от теплового воздействия впереди идущей ступени. Например, после обработки i -ой ступенью изменяется температура обрабатываемой поверхности, что может повлиять на твердость обрабатываемого материала, изменение глубины резания и т. п. для каждой последующей $i+1$ -ой ступени.

Рассмотрим процесс температурной деформации отверстий, полученных после обработки каждой ступенью инструмента.

Теоретическое значение глубины резания для i -ой ступени КОИ:

$$t_i = \frac{D_{Hi} - D_{Oi}}{2}, \quad (1)$$

где D_{Hi} – диаметр i -ой ступени КОИ, мм;

D_{Oi} – диаметр отверстия до обработки i -ой ступени КОИ, мм.

В наибольшей степени тепловому воздействию подвергается область детали, непосредственно связанная с зоной резания.

После нагрева в результате резания радиус отверстия будет увеличиваться на величину:

$$\Delta_{rO} = r_O \cdot \alpha_t \cdot T, \quad (2)$$

где r_O – радиус обрабатываемого отверстия;

α_t – коэффициент линейного расширения обрабатываемого материала;

T – средняя температура детали, увеличивающаяся за счет тепла, выделяющегося при обработке отверстия.

$$\text{Величина } T \text{ определяется как } T = 0,55 \cdot T_{\max}, \quad (3)$$

где T_{\max} – максимальная температура нагрева детали.

Поэтому фактическую глубину резания i -ой последующей ступенью КОИ можно найти, подставив выражение (2) в выражение (1) и выполнив некоторые преобразования:

$$t_{\phi i} = \frac{1}{2} [D_{Hi} - D_{Oi} \cdot (1 + \alpha_t \cdot T)] = r_{Hi} - r_{Oi} (1 + \alpha_t \cdot T). \quad (4)$$

Выражение (4) справедливо, когда температурными деформациями инструмента пренебрегают. Однако во многих случаях [1] тепловые деформации инструмента следует учитывать, т. к. инструмент расширяется, причем неравномерно по длине рабочей части. Величина расширения инструмента может быть определена:

$$\Delta D(y) = 2\beta \cdot \int_0^{r_H} \theta(r_H, y) \cdot dr, \quad (5)$$

где β – коэффициент линейного расширения материала инструмента;

$\theta(r, y)$ – температура инструмента на расстоянии r_H от оси.

С учетом вышеизложенного выражение (4) примет вид:

$$t_{\phi i} = r_{Hi} - r_{Oi} \cdot (1 + \alpha_t \cdot T) + \beta \cdot \int_0^{r_H} \theta(r_H, y) \cdot dr. \quad (6)$$

Воспользуемся зависимостью для определения осевой составляющей силы резания, которая учитывает твердость обрабатываемой поверхности при обработке ступенчатым сверлом. Тогда для i -ой ступени

$$P_{oi} = C_i \cdot t_i^x \cdot S_i^y \cdot HB_i^N; \quad (7)$$

где HB_i^N – твердость материала по Бринеллю, обрабатываемого соответствующей ступенью;

S_i – подача, мм/об;

C, x, y, N – эмпирические коэффициенты и показатели степени, учитывающие условия обработки.

Таким образом, учитывая выражения (6) и (7) результирующая осевая сила резания при параллельной работе ступеней КОИ с учетом изменения твердости материала, глубины резания и деформаций инструмента под действием температурного расширения системы инструмент-заготовка:

$$P_{o\Sigma} = C \cdot S^y \cdot \sum_{i=2}^n \left\{ HB_i^N \cdot \left[r_{Ii} - r_{Oi} \cdot (1 + \alpha_t \cdot T) + \beta \cdot \int_0^{r_{II}} \theta(r_{II}, y) \cdot dr \right]^x \right\}. \quad (8)$$

Следует отметить также, что значительное влияние, возможно решающее, оказывает размер перемычки первой ступени (трехступенчатого сверла), который является функцией диаметра и определяется как $(0,08 \dots 0,09)d$ [5].

С учетом вышеизложенных теоретических представлений исследовано влияние некоторых конструктивных параметров КОИ (табл. 1) на силовые характеристики процесса резания. Режимы обработки принимали в соответствии с техническими нормативами [6] и данными [7] для сверления стандартными сверлами.

Результаты суммарной осевой силы резания и крутящего момента, полученные при обработке ступенчатыми сверлами с параллельным принципом работы ступеней, сравнивали с результатами осевой составляющей силы резания, полученными при сверлении стандартными сверлами с диаметрами $D_{св}$, равным диаметру последней ступени ступенчатого сверла D_{In} .

Результаты аналитических исследований представлены на рис. 2–4.

Таблица 1

Исследуемые параметры обработки и конструктивные параметры КОИ

№ инструмента	Диаметр ступеней, мм			Материал		Режим резания	
	D_{I1}	D_{I2}	D_{I3}	Заготовка	Инструмент	Скорость, м/мин	Подача, мм/об
1	5	20	30	Сталь 45X	P6M5	28	0,1...0,2
2	10	20	30				
3	15	20	30				

При исследовании влияния подачи инструмента на суммарную осевую силу резания установили, что при обработке трехступенчатым инструментом, обеспечивающим съем разными глубинами резания, суммарная осевая составляющая силы резания и суммарный крутящий с увеличением подачи инструмента возрастают.

Величина суммарных осевых сил и крутящих моментов при обработке КОИ на 17...28 % меньше, чем при обработке стандартным инструментом, независимо от подачи (рис. 2).

При обработке гладкого отверстия трехступенчатым сверлом с параллельной схемой работы ступеней, когда общая глубина резания распределяется между ступенями инструмента, на величину суммарной осевой силы резания и крутящего момента также влияет величина диаметра первой ступени (рис. 3).

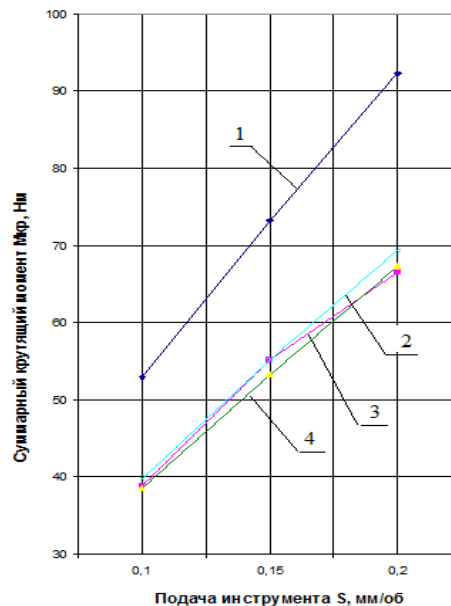
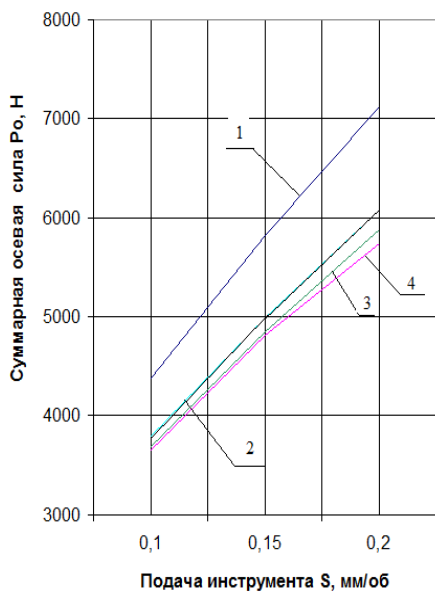


Рис. 2. Влияние подачи инструмента на: а – суммарную осевую составляющую; б – суммарный крутящий момент;

1 – стандартный инструмент $D=30$ мм; 2 – трехступенчатое сверло $D_1/D_1/D_3=15/20/30$ мм; 3 – трехступенчатое сверло $D_1/D_1/D_3=10/20/30$ мм; 4 – трехступенчатое сверло $D_1/D_1/D_3=5/20/30$ мм

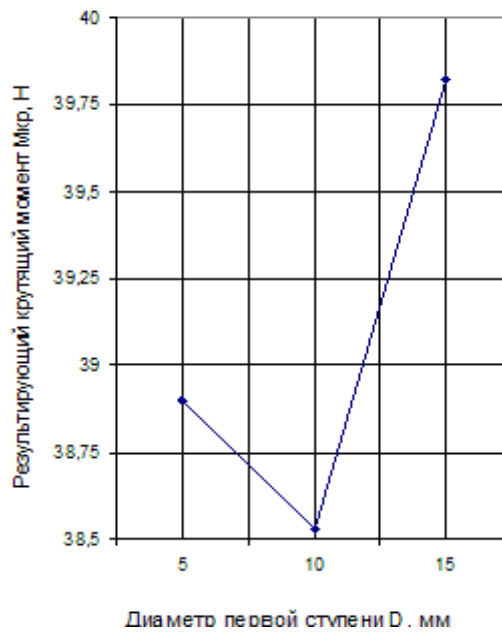
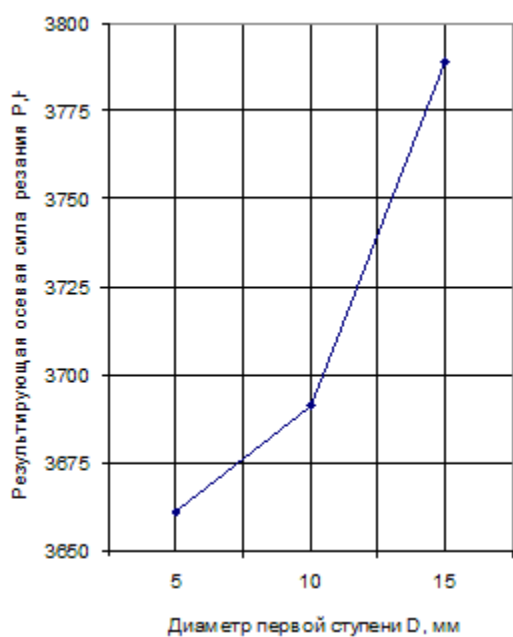


Рис. 3. Влияние величины первой ступени трехступенчатого сверла на: а – суммарную осевую силу резания; б – суммарный крутящий момент;

длина отверстия $L_0 = 20$ мм; скорость $v=28$ м/мин, подача $S=0,1$ мм/об

Анализ графиков (рис. 3) показывает, что с уменьшением диаметра первой ступени суммарная осевая сила резания и крутящий момент уменьшаются. Таким образом, при обработке отверстия диаметром $D_0 = 30$ мм наиболее эффективным из рассмотренных вариантов является использование трехступенчатого КОИ с диаметром первой ступени $D_{ш1} = 5$ мм.

Кроме того, необходимо также исследовать влияние диаметра второй ступени в комплексе с диаметром первой ступени (рис. 4). Исследования проводились для следу-

ющего рода соотношений диаметров D_{II1}/D_{II2} : 1/3; 1/4; 1/5; 2/3; 1/2; 2/5; 1/1; 3/4; 3/5 (табл. 2) при таких начальных условиях: материал заготовки – сталь 45X, материал инструмента – P6M5, скорость резания $v=28$ м/мин, подача $S=0,1$ мм/об.

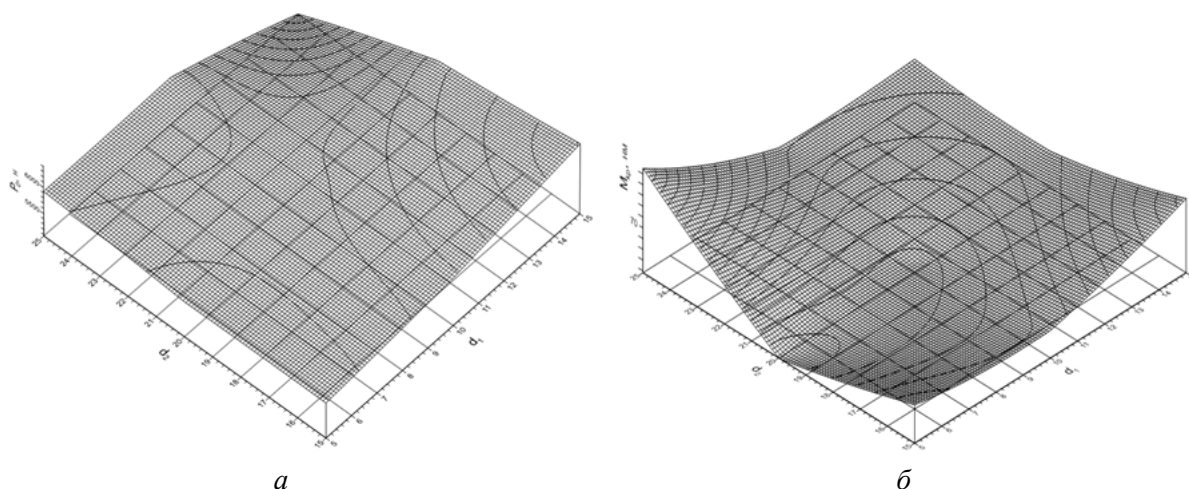


Рис. 4. Область исследуемых значений в зависимости от сочетания диаметров D_{II1}/D_{II2} ступеней трехступенчатого сверла при $D_{III} = 30$ мм: а – суммарных осевых сил; б – суммарных крутящих моментов

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчета

№ п/п	Диаметр ступени КОИ			Силовые параметры		Примечание
	D_{II1}	D_{II2}	D_{III}	$P_{o\Sigma}$	$M_{kp\Sigma}$	
1	5	15	30	5743	69,5	
2	5	20		5741	66,5	min
3	5	25		5922,5	74,6	
4	10	15		5984	68,65	
5	10	20		5877,5	67,25	
6	10	25		5981,3	69,6	
7	15	15		6408	72,27	max
8	15	20		6075	69,34	
9	15	25		6074,5	69,87	

Установлено, что в исследуемом диапазоне диаметров ступеней КОИ наиболее приемлемым является соотношение 1/4 ($D_{II1} = 5, D_{II2} = 20$), а не целесообразным – 1/1 ($D_{II1} = 15, D_{II2} = 15$). Разница в осевых силах может достигать 500 Н, а в моментах – 6 Нм, что составляет около 10 %. Минимальное значение $P_{o\Sigma}$ составляет 5741 Н, а $M_{kp\Sigma}$ 66,5 Нм.

Выводы и предложения. Предложена математическая модель определения суммарной осевой силы резания КОИ с учетом тепловых деформаций инструмента и отверстия, а также изменения механических свойств обрабатываемого материала. В результате аналитических исследований установлено, что при обработке отверстия КОИ величины результирующей осевой силы и крутящего момента ниже, чем при обработке стандартным инструментом, диаметр которого равен диаметру максимальной ступени КОИ. Это объясняется разбиением общего припуска между ступенями, уменьшением ширины перемычки, изменением механических свойств материала и температурных деформаций детали и инструмента из-за нагрева от предыдущей ступени. Таким образом, применение КОИ целесообразно не только с точки зрения повышения производительности обработки, но и для уменьшения усилий резания на 10–28 % в зависимости от соотношения диаметров ступеней.

Список использованных источников

1. *Теплофізика* механічної обробки : підручник / О. В. Якимов, А. В. Усов, П. Т. Слободяник, Д. В. Юргачов. – Одеса : Астропринт, 2000. – 256 с.
2. *Барац Я. И.* Тепловые явления при обработке отверстий / Я. И. Барац, Л. Р. Милованова // *Стин.* – 2008. – № 4. – С. 22–26.
3. *Татьянченко А. Г.* Особенности развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий комбинированным осевым инструментом / А. Г. Татьяначенко, И. Н. Лаппо // *Вестник СевГТУ.* – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. – Вып. 140: Машиноприборостроение и транспорт. – С. 178–183.
4. *Малишко А. О.* Основы теорії проектування осьових комбінованих інструментів : авто-реф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / І. О. Малишко. – Донецьк : ДонДТУ, 1995. – 36 с.
5. *Кириллов К. Н.* Сверла повышенной жесткости для труднообрабатываемых материалов / К. Н. Кириллов // *Спиральные сверла : сборник материалов всесоюзного совещания по сверлам / под ред. К. П. Имшенника.* – М. : Машиностроение, 1966. – С. 38–53.
6. *Общемашиностроительные* нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ : в 2 ч. – М. : Экономика, 1990. – 208 с.
7. *Справочник* технолога машиностроителя : в 2 т. Т. 2 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

УДК 519.711:621.365

Р.М. Хрестін, викладач

Нікопольський технікум Національної металургійної академії України, м. Нікополь, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

Р.Н. Хрестин, преподаватель

Никопольский техникум Национальной металлургической академии Украины, г. Никополь, Украина

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Roman Khriestin, teacher

Nikopol College of National Metallurgical Academy of Ukraine, Nikopol, Ukraine

DESIGN OF THE STRUCTURE OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE ENERGY BLOCK ELECTRIC ARC FURNACE

Розглянуто математичну модель енергетичного блока дугової сталеплавильної печі, яка є складовою частиною для створення системи управління режимами плавлення. Створено блок-схему моделі теплового блока, яка дозволяє визначити динаміку температур, потужностей та енергій плавильного процесу. Проведено аналіз цих параметрів. Аналіз показав відповідність результатів моделювання та результатів, що отримані на діючих печах.

Ключові слова: енергетичні режими дугової печі, керування параметрами плавлення, математична модель, динамічні зміни енергій та потужностей печі, температура шихти, температура дуги.

Рассмотрена структура математической модели энергетического блока дуговой сталеплавильной печи, которая является основой для создания системы управления режимами плавки. Создана блок-схема модели теплового блока, которая позволяет определять динамику температур, мощностей и энергий плавильного процесса. Проведен анализ этих параметров. Анализ показал соответствие результатов моделирования и результатов, полученных на действующих печах.

Ключевые слова: энергетические режимы дуговой печи, управление параметрами плавки, математическая модель, динамические изменения энергий и мощностей печи, температура шихты, температура дуги.

The structure of the mathematical model of the energy block electric arc furnace, which is part for the establishment of a system of management of modes of melting. Created block diagram model of the thermal unit, which allows you to determine the dynamics of temperature, power and energy of the melting process. These parameters are analyzed. Analysis has shown conformity the simulation results and the results obtained on the working furnaces.

Key words: energy regimes arc furnace, control of parameter smelting, the mathematical model, the dynamic changes in the energy and power of the furnace, the temperature of the metal, the temperature of the arc.

Постановка проблеми. Дугові сталеплавильні печі (ДСП) використовуються не тільки на профільних металургійних підприємствах, а й на машинобудівних підприємствах, де вони входять до складу ливарних цехів [1]. При цьому навіть ДСП малої ємності (з обсягом ванни до 6 т) є одними з найбільш потужних споживачів енергії [2]. Зважаючи на вищевикладене, а також на появу нових можливостей покращення керування ДСП, знов і знов виникає необхідність розроблення алгоритмів керування режимами плавлення. Для вирішення цієї задачі необхідна побудова адекватних та, водночас, порівняно простих математичних моделей ДСП. Однією зі складових частин таких моделей має бути блок, що відтворює енергетичні процеси плавлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема побудови конструкції та системи керування ДСП, яка б забезпечувала економію електроенергетичних та матеріальних ресурсів у процесі плавлення, є темою багатьох наукових праць [3; 4; 5; 6].

Найбільш важливі показники ДСП характеризують витрати потужності, геометричні розміри, виробничі показники та технологічні особливості процесу [7]. Для ДСП всі ці показники тією чи іншою мірою визначаються електричними параметрами, оскільки під час розплавлення шихти головним чином витрачається електроенергія. Залишок (10–35 %) становить енергія хімічних процесів екзотермічних реакцій [8].

Складність безпосередніх вимірів багатьох параметрів технологічного процесу плавлення породжує значну кількість різних поглядів на питання визначення складових енергетичного балансу печей та їх співвідношення. Аналіз цих поглядів та порівняння їх з даними, що отримані на реальних печах, дозволяють зупинитися на наступному. Для дугового розряду як головні вхідні величини приймають струм та напругу дуги [9]. Дуга втрачає енергію внаслідок теплопровідності та випромінювання [10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Більшість відомих нині математичних моделей енергетичних процесів ДСП є або достатньо складними (а отже, потребують великих ресурсів ЕОМ), або не повною мірою відтворюють динамічні процеси змін енергетичного стану у просторі ванни ДСП.

Мета статті. Метою цієї роботи є отримання математичної моделі енергетичного блоку ДСП. Отримана модель має стати складовою частиною повної моделі ДСП. З огляду на це отримана модель енергетичного блоку повинна бути достатньо простою, потребувати мінімально можливої кількості ресурсів машинного часу. З іншого боку, модель повинна давати результати, які з достатньою точністю збігаються з параметрами реального процесу плавлення.

Виклад основного матеріалу. Як вказано у роботі [11], енергетичний баланс ДСП складається з прибуткових та видаткових статей. Оскільки безпосередній вимір динамічних змін величини потужності P_h та енергії Q_h , що йде на нагрівання шихти, технічно реалізувати складно, то в моделі запропоновано розраховувати їх як різницю прибуткових W_{h+} та видаткових W_{h-} енергій теплового балансу ДСП. Прибутковими статтями є енергія, що внесена дугою Q_d , та енергія екзотермічних реакцій Q_r . Видатковими статтями втрат вважаємо: теплову енергію, що виноситься з печі газами Q_g ; втрати енергії випромінюванням Q_i ; втрати енергії теплопровідністю Q_t .

Пропонуємо умовний поділ математичної моделі енергетичного блоку печі на контур енергій дуги та контур енергій шихти.

Контур енергій шихти має такий баланс енергій та потужностей.

Потужність та енергія дуги:

$$\begin{aligned} P_d &= U_d \cdot i_d; \\ Q_d &= \int P_d dt. \end{aligned} \tag{1}$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

де U_d та i_d – напруга та струм дуги. Експериментальні та аналітичні дослідження, що викладені в роботі [12], показують складність залежностей процесів виділення енергії у ході екзотермічних реакцій під час плавлення. Тому у процесі моделювання прийняте припущення про усереднення цих залежностей у вигляді експотенційних залежностей вигорання заліза, марганцю, кремнію та вуглецю. Енергії реакцій інших речовин виключаються з огляду на незначність їх величин.

Потужність та енергія екзотермічних реакцій:

$$P_r = \sum_{n=1}^6 S_{\max n} \cdot (1 - e^{-k_{rn} \cdot T_h}) q_n; \quad (2)$$

$$Q_r = \int P_r dt,$$

де $S_{\max n}$ – потік маси окислення речовин; T_h – температура шихти; q_n – тепловий ефект окислення речовин; k_{rn} – коефіцієнт інтенсивності окислення. В моделі запропонована можливість обрання коефіцієнтів інтенсивності окислення окремо для кожної з речовин (відповідно до марки сталі).

Потужність та енергія втрат шихти теплопровідністю (визначається формулами Фур'є та Ньютона – Рихмана):

$$P_t = \frac{F_t}{\frac{x}{k_1} + \frac{1}{a_c}} \cdot (T_h - T_{os}); \quad (3)$$

$$Q_t = \int P_t dt,$$

де T_{os} – температура навколишнього середовища; x – товщина перехідного прошарку між шихтою та навколишнім середовищем; F_t – площа стикання шихти з навколишнім середовищем; k_1 – коефіцієнт теплопровідності; a_c – коефіцієнт конвекційної тепловіддачі. В моделі пропонується прийняти припущення, що коефіцієнт теплопровідності та коефіцієнт конвекційної тепловіддачі незмінні на рівні їх усереднених значень.

Потужність та енергія втрат шихти з газами:

$$P_g = B_{\max} \cdot T_h \cdot (p_{co2} \cdot N_{co2} + p_{o2} \cdot N_{o2} + p_{co} \cdot N_{co} + p_{n2} \cdot N_{n2}); \quad (4)$$

$$Q_n = \int P_g dt,$$

де B_{\max} – потік обсягу вихідних газів окислення; p – відсоток вихідного газу; N – ентальпія вихідного газу. Експериментальні та аналітичні дослідження, що викладені в роботі [13], показують складність залежностей процесів видалення енергії з газами у процесі плавлення. Тому під час моделювання прийняте припущення про усереднення цих залежностей у вигляді монотонних лінійних залежностей витрат енергії з газами CO_2 , CO , O_2 та N_2 .

Потужність та енергія втрат шихти з випромінюванням (визначається законом Стефана – Больцмана):

$$P_i = (2 \cdot h + b) \cdot S \cdot E_h \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_h}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{i0}}{100} \right)^4 \right]; \quad (5)$$

$$Q_i = \int P_i dt,$$

де $F_i = S(2h + b)$ – площа випромінюючої поверхні; C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла; E_h – ступінь чорноти; T_{i0} – початкова температура випромінювання.

Температура шихти:

$$T_h = \frac{Q_h}{m_h \cdot C_h} + T_{h0}, \quad (6)$$

де C_h – теплоємність шихти; m_h – маса шихти.

У контурі енергій дуги баланс енергій та потужностей такий.

Потужність та енергія дуги визначається формулами (1).

Потужність та енергія втрат дуги теплопровідністю:

$$P_{dt} = \frac{F_{td}}{\frac{x_d}{k_{1d}} + \frac{1}{a_{cd}}} \cdot (T_d - T_h); \quad (7)$$

$$Q_{td} = \int P_{dt} dt,$$

де T_d – температура дуги; x_d – товщина перехідного прошарку між дугою та шихтою;

F_{td} – площа стикання дуги та шихти; k_{1d} – коефіцієнт теплопровідності.

Потужність та енергія втрат дуги з випромінюванням:

$$P_{di} = F_d \cdot E_d \cdot C_o \left[\left(\frac{T_d}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_h}{100} \right)^4 \right]; \quad (8)$$

$$Q_{id} = \int P_{di} dt,$$

де F_d – площа випромінюючої поверхні дуги; E_d – ступінь чорноти дуги.

Температура дуги:

$$T_d = \frac{W_d}{m_d \cdot C_d}, \quad (9)$$

де C_d – теплоємність шихти; m_d – маса шихти; W_d – енергія нагрівання дугового проміжку.

Зважаючи на розгалуженість моделі, у ній виділено ряд субблоків Pr1, tk1, ik1, qg1, ikd, tkd, в яких зібрані постійні коефіцієнти. Вихідні параметри T_h та Q_h дозволяють пов'язати модель енергетичного блока з моделлю системи керування приводом переміщення електрода. Вихідний параметр T_d забезпечує пов'язання з блоком дуги [14].
Всі величини наведені в одиницях СІ.

За цією моделлю була складена блок-схема (рис. 1 та рис. 2). Блок-схему реалізовано у середовищі Matlab/Simulink. Блок-схему було параметровано за даними ДСП-5М, що встановлено у ТОВ «ВНЦ НВО «Трубосталь».

Прийнятність цієї блок-схеми підтверджується відповідністю результатів моделювання результатам, що отримані на реальній печі. Наприклад, у разі збільшення маси шихти m_h уповільнюється зростання температури шихти T_h і зростає величина відданої на нагрівання шихти енергії Q_h . Такі ж зміни відбуваються під час реального плавлення у ДСП-5М (це особливо помітно під час підсипання шихти).

У випадку зміни теплопровідності шихти k_1 змінюється інтенсивність зростання температури шихти T_h . Це також відповідає реальному процесу (особливо помітно при порівнянні двох плавлень з різною за складом шихтою). Результати моделювання (рис. 3) показують, що температура дуги на початку процесу різко зростає і, досягши величини 5850 °К, стабілізується. Температура шихти зростає поступово і стабілізується на рівні 1900 °К. Цей результат з достатньою точністю збігається як з результатом вимірів на реальній печі (температури розплавленої шихти лежать у межах 1890–1920 °К для вуглецевої сталі марки 60Л), так і з результатами, що викладені в монографії (температура дуги ДСП становить 5200–5800 °С) [2].

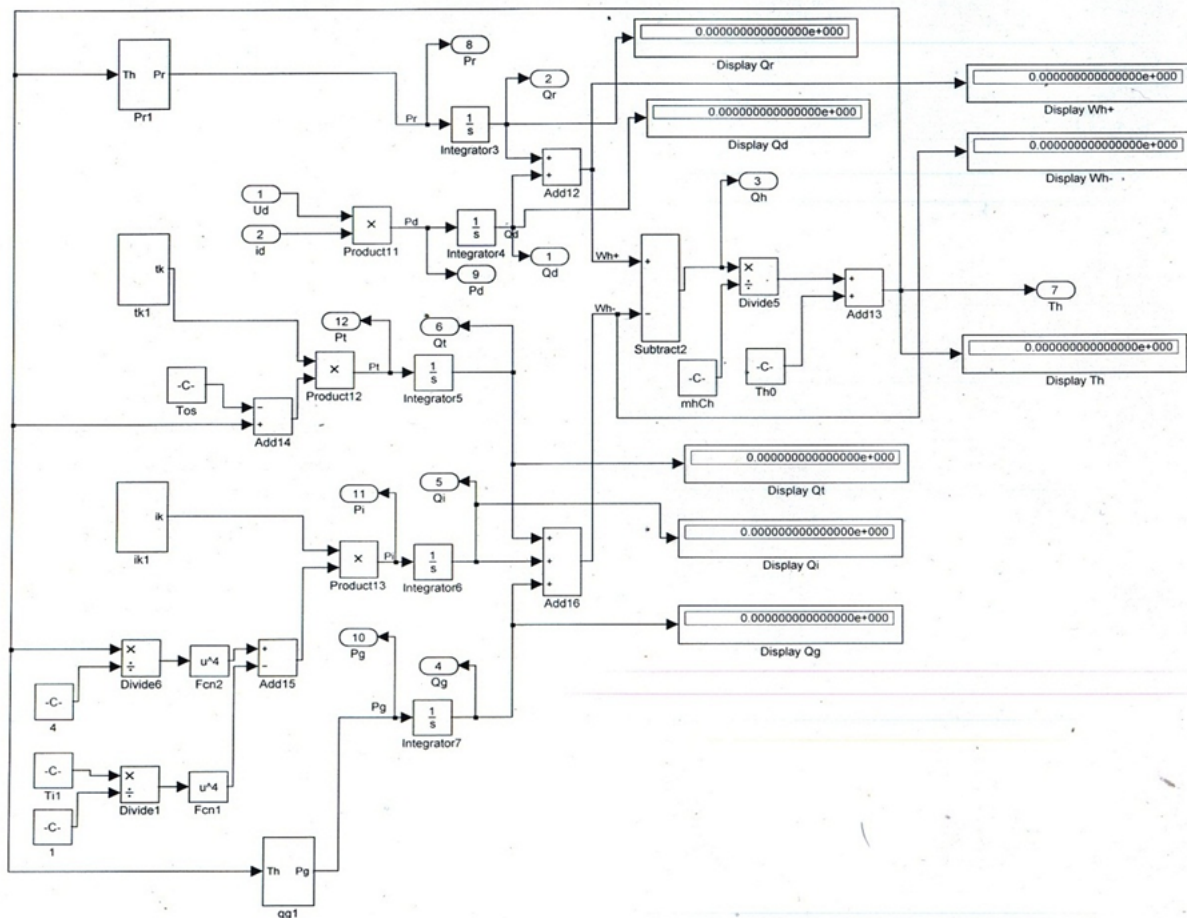


Рис. 1. Блок-схема математичної моделі контуру енергії шихти

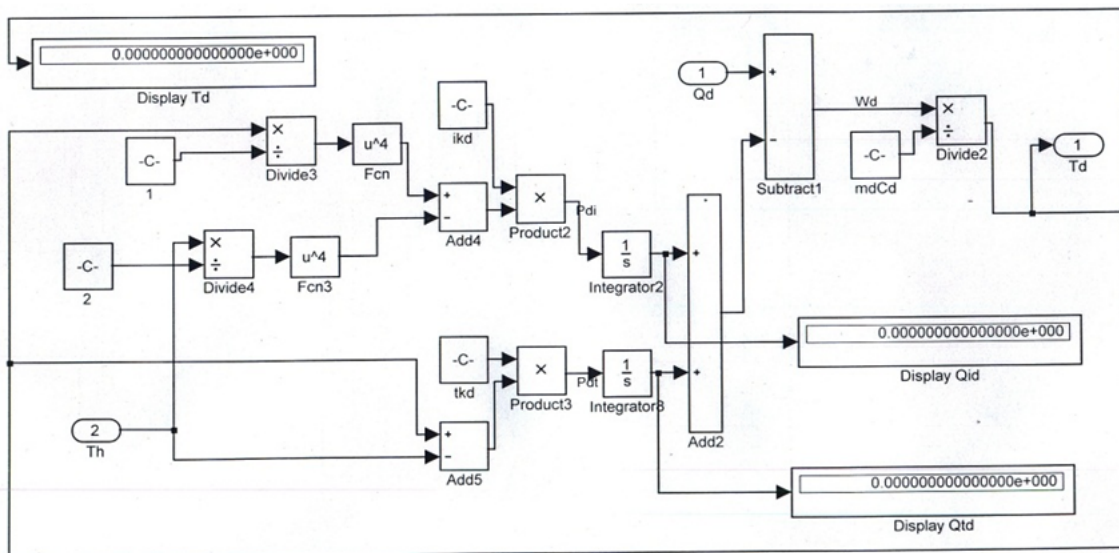


Рис. 2. Блок-схема математичної моделі контуру енергії дуги

Результати, отримані у ході моделювання (рис. 4 та рис. 5), були порівняні з даними, що отримані під час плавлення на печі ДСП-5М (встановлена у ТОВ «ВНЦ НВО Трубосталь»). Порівняння результатів показали, що модельні розрахунки з достатньою точністю збігаються з реальними даними. Це дає змогу вважати отриману модель теплового блока ДСП адекватною до встановленої мети.

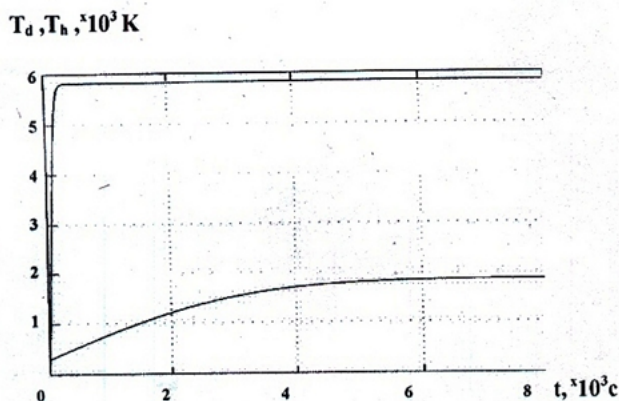


Рис. 3. Осцилограми температур дуги та шихти ДСП

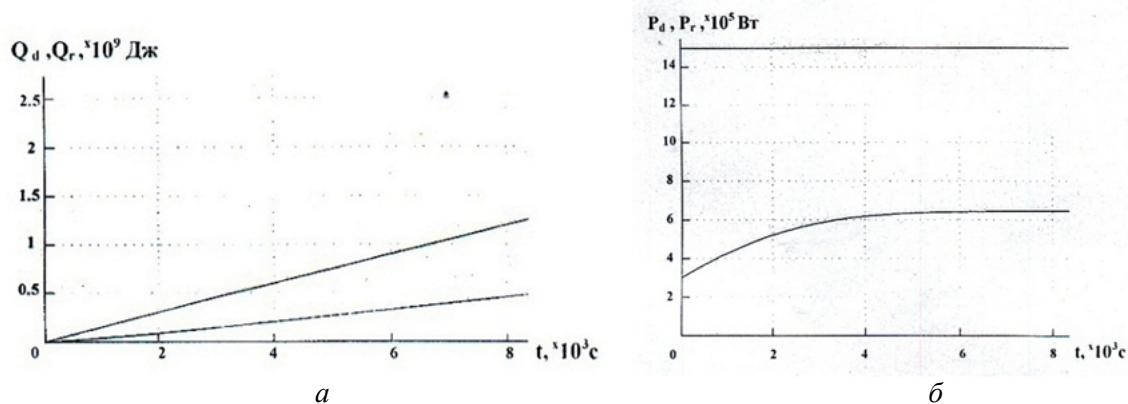


Рис. 4. Осцилограми прибуткових енергій (а) та потужностей (б) ДСП

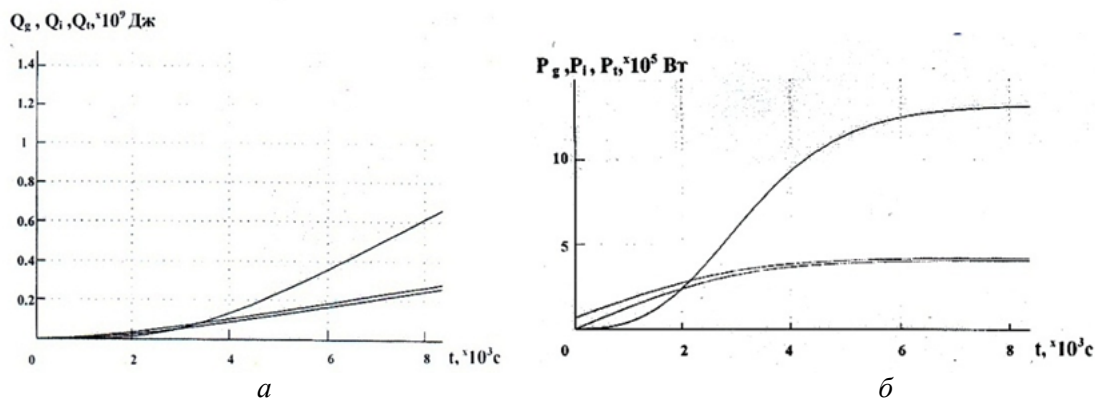


Рис. 5. Осцилограми видаткових енергій (а) та потужностей (б) ДСП

Висновки і пропозиції. Розглянуто математичну модель енергетичного блока — складова частина повної моделі ДСП. Розроблено блок-схему математичної моделі енергетичного блока ДСП. За допомогою побудованої блок-схеми проаналізовано протікання змін температур, енергій та потужностей етапу розплавлення та наведено відповідні осцилограми, які підтверджують адекватність побудованої моделі.

Перевагою моделі є можливість оцінювання величин енергій як у динаміці, так і за кінцевим результатом. Кінцевий результат у порівнянні з результатами розрахунків за реальними вимірами енергій плавлення дозволяє оцінити ступінь адекватності отриманої моделі.

Особливістю розробленої моделі енергетичного блока ДСП є її достатня простота і можливість в умовах реального процесу плавлення порівняно швидко (протягом кіль-

кох секунд) скласти алгоритми керування режимами плавлення. Це видається важливим з огляду на те, що модель є одним зі складових блоків повної моделі ДСП. Повна модель ДСП має бути створена з метою побудови автоматичного регулятора ДСП. Такий регулятор повинен підвищити точність управління енергетичними режимами ДСП. Підвищення точності управління має забезпечити зниження енергоспоживання та матеріалоемності технологічного процесу плавлення.

Список використаних джерел

1. *Влияние дуговых электропечей на системы электроснабжения* / Ю. Л. Рыжнев, Р. В. Минеев, А. П. Михеев, М. Я. Смелянский ; под ред. М. Я. Смелянского и Р. В. Минеева. – М. : Энергия, 1975. – 184 с.
2. *Макаров А. Н. Теория и практика теплообмена в электродуговых и факельных печах, топках, камерах сгорания : монография. Ч. 1* / А. Н. Макаров. – Тверь : ТГТУ, 2007. – 184 с.
3. *Толоконников Л. С. Расчет и конструирование механизмов электрических печей* / Л. С. Толоконников. – М. – Л. : Госэнергоиздат, 1961. – 240 с.
4. *Кацевич Л. С. Теория теплопередачи и тепловые расчеты электрических печей : учебник для техникумов* / Л. С. Кацевич. – М. : Энергия, 1977. – 304 с.
5. *Утегулов В. В. Специальные вопросы электротехнологии* / В. В. Утегулов, И. В. Захаров, А. Д. Ижикова. – М. : Metallurgia, 1985. – 227 с.
6. *Кудрин В. А. Теория и технология производства стали : учебник для вузов* / В. А. Кудрин. – М. : АСТ, 2003. – 528 с.
7. *Самохвалов Г. В. Электрические печи черной металлургии : учебное пособие для вузов* / Г. В. Самохвалов, Г. И. Черныш. – М. : Metallurgia, 1984. – 232 с.
8. *Егоров А. В. Электроплавильные печи черной металлургии* / А. В. Егоров. – М. : Metallurgia, 1985. – 280 с.
9. *Сисоян Г. А. Электрическая дуга в электрической печи* / Г. А. Сисоян. – М. : Metallurgia, 1974. – 304 с.
10. *Манин А. В. Электротехнологические процессы и установки : учебное пособие. Ч. 1* / А. В. Манин. – Рыбинск : РГАТА им. П. А. Соловьева, 2010. – 188 с.
11. *Мастрюков Б. С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей : учеб. для техникумов : в 2 т. Т. 2* / Б. С. Мастрюков. – М. : Metallurgia, 1986. – 376 с.
12. *Logar V., Dovžan D., Škrjanc I. (2012). Modeling and validation of an electric arc furnace: Part 2, thermo-chemistry. ISIJ International, Vol. 52, No. 3, pp. 414–424.*
13. *Logar V., Dovžan D., Škrjanc I. (2012). Modeling and validation of an electric arc furnace: Part 1, heat and mass transfer. ISIJ International, Vol. 52, No. 3, pp. 402–413.*
14. *Хрестін Р. М. Моделювання електричних параметрів дуги дугової сталеплавильної печі* / Р. М. Хрестін // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 40–43.

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 669.715:629.37

Т.М. Артюх, д-р техн. наук

Київський національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ У ВИРОБНИЦТВІ ВЕЛОСИПЕДНИХ РАМ

Т.Н. Артюх, д-р техн. наук

Киевский национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЕЛОСИПЕДНЫХ РАМ

Tetiana Artiukh, Doctor of Technical Sciences

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

USAGE OF ALUMINIUM ALLOY IN THE MANUFACTURE OF FRAMES

Розглянуто асортимент вітчизняних виробників велосипедів за матеріалом рами, проаналізовано хімічні та механічні властивості алюмінієвих сплавів, які використовуються у виробництві рам велосипедів. Зроблено висновки та пропозиції щодо застосування сплавів 6061, 7005 та 7075 у рамах різних типів велосипедів.

Ключові слова: рама велосипеда, тип велосипеда, сплави алюмінію, технологічність, тріщини втоми.

Рассмотрен ассортимент отечественных производителей велосипедов в зависимости от материала рамы, проанализированы химические и механические свойства алюминиевых сплавов, используемых в производстве рам велосипедов. Сделаны выводы и предложения по применению сплавов 6061, 7005 и 7075 в рамах различных типов велосипедов.

Ключевые слова: рама велосипеда, тип велосипеда, сплавы алюминия, технологичность, усталостные трещины.

In the paper, the portfolio of domestic manufacturers by material bicycle frames, chemical analysis and mechanical properties of aluminum alloys used in the manufacture of bicycle frames. The conclusions and proposals for the use of alloys 6061, 7005 and 7075 in various types of bicycle frames.

Key words: bike frame, type of bike, aluminum alloys, manufacturability, fatigue cracks.

Постановка проблеми. Рама велосипеда – це його основний конструктивний елемент, на якому кріпиться все обладнання. Відповідно рама повинна мати високу міцність, мінімальну вагу та при цьому не дуже високу ціну. Виробники велосипедів різними шляхами намагаються досягти балансу між згаданими трьома вимогами для кожного сегмента ринку. Одним із шляхів отримання рами із заданими властивостями є підбір матеріалу рами.

Для виробництва велосипедних рам у світі використовують такі матеріали: сталі, алюмінієві сплави, титанові сплави, вуглепластик та дуже рідко магнієві, алюмінієво-скандієві, берилієві сплави. Кожен з цих матеріалів має свої переваги та недоліки, але найбільш широко використовуються сталь та алюмінієві сплави. Останнім часом виробники велосипедів приділяють увагу виробництву рам зі сплавів алюмінію 6061 і 7005, такі рами легкі, міцні і ціна на них доступна. Властивості згаданих сплавів, а також виконаних з них рам відрізняються. Доцільно порівняти властивості сплавів у розрізі використання їх для виробництва велосипедних рам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш відомим виробником велосипедів в Україні є ТОВ ARDIS [1]. У виробничому асортименті представлені такі типи велосипедів: гірські, міські, для виконання трюків, дорожні, складні та дитячі. Матеріалом для виготовлення рам є низьколеговані, високолеговані хром-молібденові сталі та алюмінієвий сплав 6061. Співвідношення в асортименті сталевих та алюмінієвих рам представлено на рис. 1.

В асортименті українського виробника велосипедів представлено 41,25 % рам з алюмінієвого сплаву, 1,25 % – з хром-молібденової сталі та 57,5 % – з низьколегованої. Відповідно, вітчизняний виробник наближається до світових лідерів Cube, Giant, Scott, Specialized [2], в асортименті яких алюмінієві рами становлять більше двох третин. Звертаючи увагу на використання новітніх технологій, українські виробники обмежені ку-

півельною спроможністю споживачів, тому рами з низьколегованої сталі залишають за собою більшість асортименту.

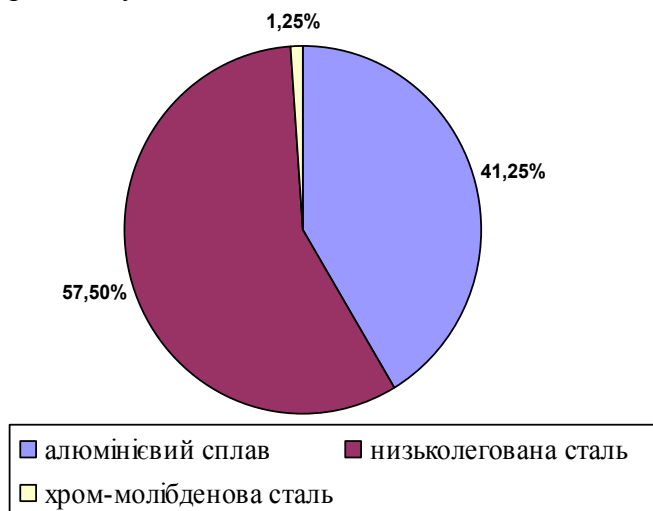


Рис. 1. Розподіл велосипедних рам за матеріалом в українського виробника

Використання сталі та алюмінію для різних типів велосипедів представлено на рис. 2.

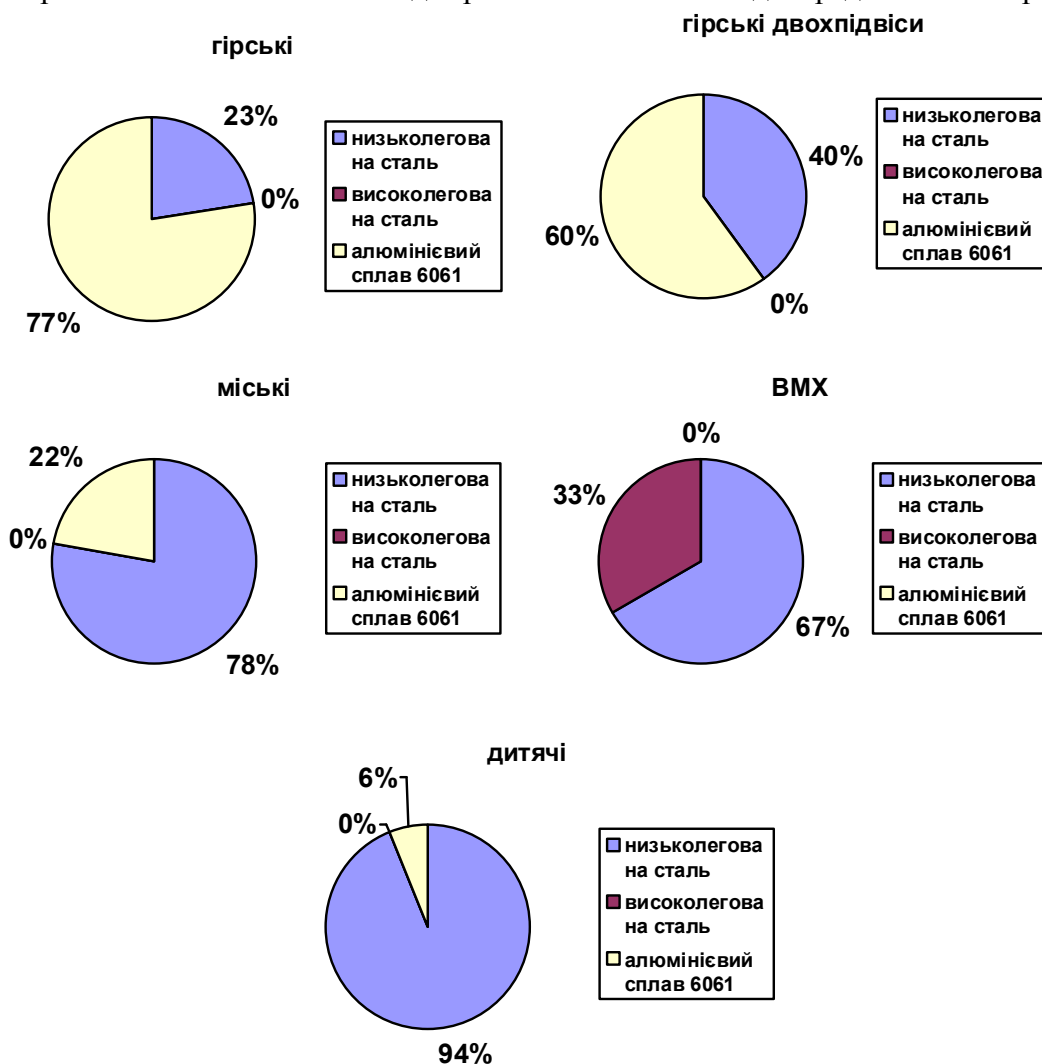


Рис. 2. Розподіл матеріалу рами залежно від типу велосипеда

Найбільш широко алюміній використовується для рам гірських велосипедів (87,4 %), відсутній у дорожніх, дитячих (6,25 %) та трюкових. Обмеження використання алюмінію у рамах дитячих і дорожніх велосипедів вітчизняним виробником пояснюється зростанням ціни готового виробу, а трюкових – схильністю алюмінієвих сплавів до втомного руйнування.

Серед сплавів алюмінію найбільшого поширення у виробництві велосипедних рам набули сплави 6061 та 7005. Українські виробники використовують лише сплав 6061.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Однією з основних проблем застосування алюмінієвих сплавів є недостатнє врахування властивостей сплавів під час використання їх у виготовленні рам велосипедів.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз механічних та технологічних властивостей найбільш широко використовуваних алюмінієвих сплавів та внесення пропозицій щодо їх використання у різних типах велосипедних рам.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо характеристики алюмінієвих сплавів 6061, 7005 та 7075 (табл. 1, табл. 2). На останніх етапах виробництва рами велосипеда проводиться термічне оброблення, тому характеристики сплавів обов'язково розглядаємо у термообробленому стані.

Таблиця 1

Хімічний склад алюмінієвих сплавів 6061, 7005, 7075, у % [3]

Марка сплаву	Елемент								
	Al	Cr	Cu	Fe	Si	Ti	Zn	Mg	Mn
7005-T6; 7005-T63; 7005-T6351	91 - 94.7	0.06 - 0.2	max 0.1	max 0.4	max 0.35	0.01 - 0.06	4 - 5	1 - 1.8	0.2 - 0.7
6061-T6; 6061-T651	95.8 - 98.6	0.04 - 0.35	0.15 - 0.4	max 0.7	0.4 - 0.8	max 0.15	max 0.25	0.8 - 1.2	max 0.15
7075-T6; 7075-T651	87.1 - 91.4	0.18 - 0.28	1.2 - 2	max 0.5	max 0.4	max 0.2	5.1 - 6.1	2.1 - 2.9	max 0.3

Таблиця 2

Механічні властивості алюмінієвих сплавів 6061, 7005, 7075 [3]

Марка сплаву	Твердість, HB	Границя міцності на розтяг, МПа	Границя текучості, МПа	Відносне подовження, %	Модуль пружності, ГПа	Обмежена границя втоми при 500 млн циклів навантаження, МПа	Питома міцність, МПа*см ³ /г
7005-T6; 7005-T63; 7005-T6351	94	350	290	13	72	150	125,90
6061-T6; 6061-T651	95	310	276	12	68,9	96,5	114,81
7075-T6; 7075-T651	150	572	503	11	71,7	159	203,56

Як відомо [4; 5], основними механізмами зміцнення алюмінієвих сплавів є легування твердого розчину та виділення вторинної фази. Механізм зміцнення легуванням твердого розчину полягає у викривленні атомної ґратки алюмінію розчиненими елементами, зниженні рухливості дислокацій та, відповідно, підвищенні механічної міцності та твердості. Розчинні в алюмінії легуючі елементи Cu, Mg, Mn, Si та Zn під час відповідного термічного оброблення призводять до виділення вторинної фази. Переважно, один з механізмів є домінуючим.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Як видно з табл. 2, сплав 6061 має границю міцності на 13 % нижчу за сплав 7005 та на 84,5 % за сплав 7075. При цьому модуль пружності, що характеризує жорсткість матеріалу, для наведених сплавів практично однаковий. Основним недоліком алюмінієвих сплавів є схильність до втомного руйнування, величина обмеженої границі втоми для сплаву 6061 на 35,6 % менша, ніж для сплавів серії 7000, тому він є більш схильним до утворення тріщин.

Таким чином, сплав 7005 має більш високу міцність, ніж сплав 6061 за рахунок більш високого вмісту легуючих елементів, підвищеною корозійною стійкістю. Водночас підвищений вміст легуючих елементів знижує технологічність виготовлення рами зі сплаву 7005.

Сплав 7075 за всіма механічними показниками перевищує 6061, але напівфабрикати з цього сплаву поставляються лише у загартованому та штучно зістареному стані, що значно ускладнює технологічні операції та виключає найбільш розповсюджений спосіб нероз'ємного з'єднання деталей з алюмінієвих сплавів – аргонодугове зварювання.

Можна зробити висновок, що технологічність і схильність до утворення тріщин втоми розглянутих алюмінієвих сплавів знижується від 6061 до 7075, при цьому збільшується питома міцність та жорсткість виробів з них.

Зазначимо, що рами гірських велосипедів повинні витримувати значні ударні навантаження та мати мінімальну вагу. Для цих рам більш доцільним є використання сплавів серії 7000, які менш схильні до утворення тріщин.

Міські та дорожні велосипеди використовуються в умовах невеликих динамічних навантажень, не висувають жорстких умов щодо ваги, тому в їх виробництві буде оптимальним використання сплаву 6061. Він знизить вагу велосипеда, що зменшить навантаження на велосипедиста, та дозволить використати різні конструктивні рішення при виробництві рами.

Використання алюмінієвих сплавів у виробництві рам для виконання трюків ускладнено їх схильністю до втомного руйнування. Застосування алюмінієвих сплавів для виготовлення рам дитячих велосипедів є економічно недоцільним.

За результатами опитувань у соцмережах, найбільш розповсюдженим алюмінієвим сплавом для рам велосипедів є 6061. Тобто споживачі віддають перевагу достатньо низькій вазі, надійності, відносно невисокій вартості та ремонтпридатності рам з цього сплаву.

Висновки і пропозиції. В асортименті українських виробників велосипедів переважають рами з низьколегованої сталі, але кількість моделей з алюмінієвими рамами поступово зростає, наближаючись до світових лідерів Cube, Giant, Scott, Specialized, в асортименті яких алюмінієві рами становлять більше двох третин. Найбільш широко алюміній використовується для рам гірських велосипедів (87,4 %), відсутній у дорожніх, дитячих (6,25 %) та трюкових. Обмеження використання алюмінію у рамах дитячих і дорожніх велосипедів вітчизняним виробником пояснюється зростанням ціни готового виробу, а трюкових – схильністю алюмінієвих сплавів до втомного руйнування.

Серед сплавів алюмінію найбільшого поширення у виробництві велосипедних рам набули сплави 6061 та 7005. Українські виробники використовують лише сплав 6061.

З аналізу механічних властивостей сплав 7005 має більш високу міцність, ніж сплав 6061 за рахунок більш високого вмісту легуючих елементів, підвищеною корозійною стійкістю. Водночас підвищений вміст легуючих елементів знижує технологічність виготовлення рами зі сплаву 7005. Сплав 7075 за всіма механічними показниками перевищує 6061, але напівфабрикати з цього сплаву поставляються лише у загартованому та штучно зістареному стані, що значно ускладнює технологічні операції та виключає найбільш розповсюджений спосіб нероз'ємного з'єднання деталей з алюмінієвих сплавів – аргонодугове зварювання. Технологічність і схильність до утворення тріщин вто-

ми розглянутих алюмінієвих сплавів знижується від 6061 до 7075, при цьому збільшується питома міцність та жорсткість виробів з них.

Залежно від типу велосипеда внесено такі рекомендації щодо застосування сплавів: для рам гірських велосипедів більш доцільним є використання сплавів серії 7000, які менш схильні до утворення тріщин; для рам міських та дорожніх велосипедів буде оптимальним використання сплаву 6061. Використання алюмінієвих сплавів у виробництві рам для виконання трюків ускладнено їх схильністю до втомного руйнування. Застосування алюмінієвих сплавів для виготовлення рам дитячих велосипедів є економічно недоцільним.

Список використаних джерел

1. *Офіційний сайт ТОВ «Ардіс»* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardis.com.ua>.
2. *Рейтинг самых популярных производителей велосипедов* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://menspassion.ru/rejting-samyx-populyarnyx-proizvoditelej-velosipedov>.
3. *ASM Metals Handbook Vol. 2, Properties and Selection of Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, ASM International, p. 222.
4. *Davys J. R., Ed., Alumnium and Aluminum Alloys*, ASM International, 1993. – 784 p.
5. *Мальцева Л. А. Материаловедение / Л. А. Мальцева, М. А. Гервасьев, А. Б. Кутын.* – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. – 339 с.

УДК 69.05

Г.П. Болотов, д-р техн. наук

С.В. Олексієнко, канд. техн. наук

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РУЧНЕ ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ СТАЛЕЙ МАЛОАМПЕРНОЮ ДУГОЮ МОДУЛЬОВАНИМ СТРУМОМ

Г.П. Болотов, д-р техн. наук

С.В. Олексієнко, канд. техн. наук

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ МАЛОАМПЕРНОЙ ДУГОЙ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ

Hennadii Bolotov, Doctor of Technical Sciences

Serhii Oleksiienko, PhD in Technical Sciences

Maksym Bolotov, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

HAND ARC WELDING OF BUILDS STEELS BY A LITTLEAMPERE ARC WITH MODULATION OF CURRENT

Досліджено вплив низькочастотної модуляції зварювального струму на характеристики металу шва при ручному дуговому зварюванні на струмах дуги до 70 А. Встановлено, що частота імпульсів струму в межах 10...30 Гц при шпаруватості 1,5...2 забезпечує збільшення глибини проплавлення основного металу зі зниженням зернистості наплавленого.

Ключові слова: дугове зварювання, малоамперна дуга, модуляція зварювального струму.

Исследовано влияние низкочастотной модуляции сварочного тока на характеристики металла шва при ручной дуговой сварке на токах дуги до 70 А. Установлено, что частота импульсов тока в пределах 10...30 Гц при скважности 1,5...2 обеспечивает увеличение глубины проплавления основного металла со снижением зернистости наплавленного.

Ключевые слова: дуговая сварка, малоамперная дуга, модуляция сварочного тока.

Influence of low-frequency modulation of welding current is investigational on descriptions of metal of guy-sutures at a hand arc/w on the currents of arc to 70 Amp. It is set that frequency of impulses of current within the limits of 10... 30 Hertz at porosity 1,5...2 provides the increase of depth of melted of parent metal with the decline of grittiness of weld metal.

Key words: arc/w, littleampere arc, modulation of welding current.

Вступ. Основними матеріалами, що застосовуються у будівництві, є сталі звичайної якості. Найбільш широко використовують маловуглецеві сталі (0,09...0,22 %С), які мають високу пластичність та гарну здатність до зварювання. Зварні конструкції, що не піддаються безпосередньому впливу рухомих та вібраційних навантажень, виготовляють із відносно дешевих киплячих та напівспокійних будівельних сталей С235 та С245, або аналогічних їм за хімічним складом та механічними властивостями конструкційних вуглецевих сталей звичайної якості Ст. 3 груп Б та В. Для виготовлення легких балкових конструкцій, настилів, драбин, віконних рам застосовують тонкостінні двотаври та швелери, гнуті профілі, безшовні труби зі сталі товщиною 0,5...4 мм [1]. Такі конструкції характеризуються значною кількістю зварних швів малої протяжності, тому для їх виготовлення застосовують, в основному, ручне дугове зварювання.

Ручне дугове зварювання покритими електродами залишається одним із найпоширеніших методів зварювання і широко застосовується під час виготовлення зварних металевих конструкцій, зокрема і будівельних, як у нашій країні, так і за кордоном. Це пояснюється універсальністю процесу, простотою і мобільністю вживаного устаткування, можливістю виконання зварювання в різних просторових положеннях та місцях, важкодоступних для механізованих способів зварювання.

Істотним недоліком ручного дугового зварювання покритими електродами є невисока продуктивність процесу та залежність якості зварного шва від практичних навичок зварника.

Результати попередніх досліджень. Суттєві результати в питаннях підвищення ефективності процесу ручного дугового зварювання електродами з покриттям (РДЗ) пов'язані з появою способів зварювання модульованим струмом (ЗМС) [2; 3]. Перевагами способів ЗМС є: відносно висока продуктивність, можливість отримання зварних з'єднань з підвищеними експлуатаційними властивостями, меншими внутрішніми напруженнями та деформаціями. Основними технічними засобами реалізації способів ЗМС є приставки-модулятори та зварювальні перетворювачі інверторного типу [4].

Зварювання модульованим струмом, одним з яких є імпульсно-дугове зварювання, забезпечує кероване перенесення електродного металу і підвищення стабільності процесу. Зварювання проводять на двох енергетичних рівнях – верхньому (імпульс) та нижньому (пауза). Імпульси струму мають, здебільшого, прямокутну або близьку до неї форму.

Однак, незважаючи на певні отримані позитивні ефекти, ці методи ще не знайшли широкого застосування у виробництві. Основною причиною можна вважати однотипність підходу досліджень, згідно з яким здійснювався будь-який вплив на зварювальну ванну і потім за допомогою оцінювання і порівняння структури шва і властивостей отриманого з'єднання визначався характер цього впливу. Тому більш детальні дослідження і вдосконалення процесу ЗМС, що забезпечать отримання більш якісних з'єднань металів малої товщини, мають актуальне значення.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу параметрів модульованого зварювального струму на якість та характеристики зварного шва.

Викладення основних результатів дослідження. Для проведення досліджень застосовували зварювальний випрямляч ВДГ-303, до вихідних клем якого приєднувалась приставка-модулятор, побудована за схемою тиристорного тригера із паралельною ємнісною комутацією. Необхідна падаюча зовнішня характеристика зварювального поста забезпечувалась вмиканням в анодне коло силового тиристора баластного реостата.

Наплавлення здійснювали на пластини товщиною 1,5...2 мм зі сталі ВСт.3пс, яка є практично аналогом наведених вище будівельних сталей. Наплавлення проводили в нижньому положенні без коливальних рухів електрода. Використовувались електроди для ручного дугового зварювання АНО-36 діаметром 2 мм. Як еталон використовувались зразки, наплавлені РДЗ без модулювання струму.

Приставка забезпечувала прямокутну форму імпульсів струму дуги із регулюванням як їх частоти у межах 0,8...30 Гц, так і тривалості у межах 0,25...0,75 від часу періоду (рис. 1). Для забезпечення достовірних результатів підбирали такі параметри зварювання, згідно з якими потужність дуги при ЗМС дорівнювала потужності при РДЗ без модулювання струму.

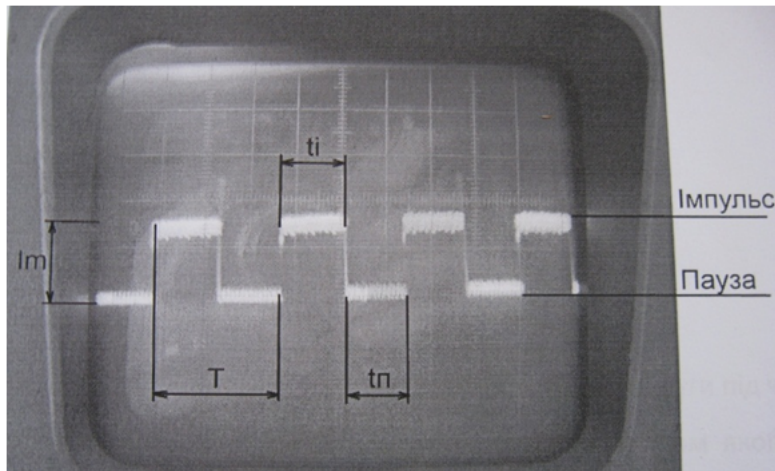


Рис. 1. Форма та основні параметри імпульсів модульованого струму дуги: t_i – тривалість імпульсу; t_n – тривалість паузи; T – період; I_m – амплітуда струму

Дослідження впливу частоти імпульсів модульованого струму на структуру зварного з'єднання, глибину проплавлення та інші геометричні розміри шва здійснювали у наведеному вище діапазоні частот при однаковій тривалості імпульсу і паузи струму в періоді ($t_i = t_n = 0,5T$). Повну потужність дуги у всіх випадках встановлювали на рівні 2000 Вт.

Визначено, що наплавлення на частотах $f = 0,8 \dots 3$ Гц призводить до зниження розбризкування, але супроводжується нерівномірним проплавленням металу. Це може пояснюватись помітною тривалістю паузи струму, коли потужність дуги становила приблизно лише 600 Вт, що недостатньо для повного проплавлення.

Подальше збільшення частоти показало, що рівномірне проплавлення відбувається на частотах $f > 5$ Гц. При цих частотах також спостерігається явне зменшення розбризкування металу, менша лускатість наплавленого валика, а також зменшення зони термічного впливу (ЗТВ) у порівнянні з РДЗ без модулювання струму (рис. 2).

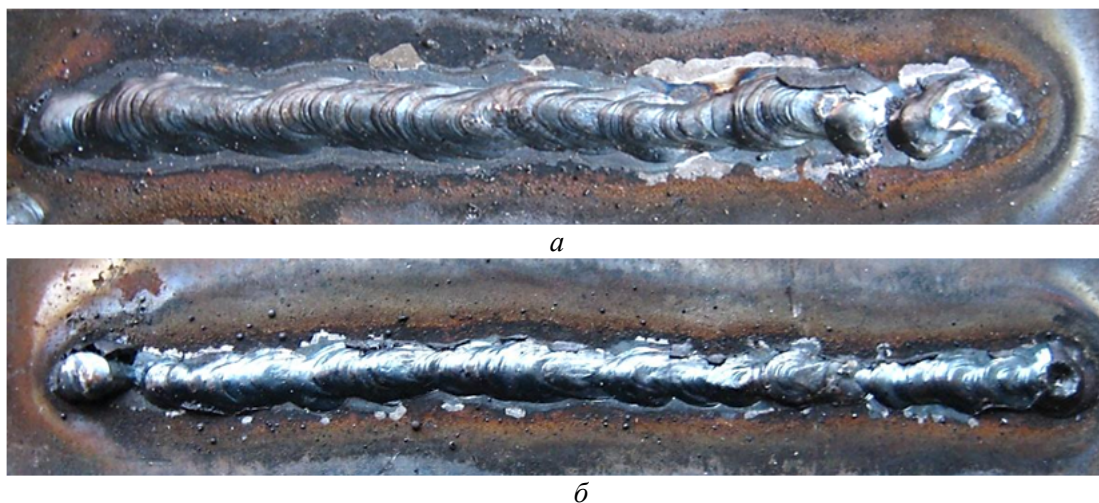


Рис. 2. Зовнішній вигляд зварного шва без модулювання (а) та з модулюванням струму на частоті 25 Гц (б)

Визначення залежності глибини проплавлення, лінійних розмірів наплавлених валиків та структури металу шва та ЗТВ здійснювали металографічним аналізом. Травлення

зразків здійснювали 4%-им розчином азотної кислоти в етиловому спирті [5]. Глибину проплавлення та розміри наплавлених валиків визначали за допомогою мікроскопа МБС-9, на якому встановлювався окуляр із сіткою з ціною поділки 0,375 мм (рис. 3), для оцінювання структури металу застосовували інструментальний мікроскоп МИМ-8.

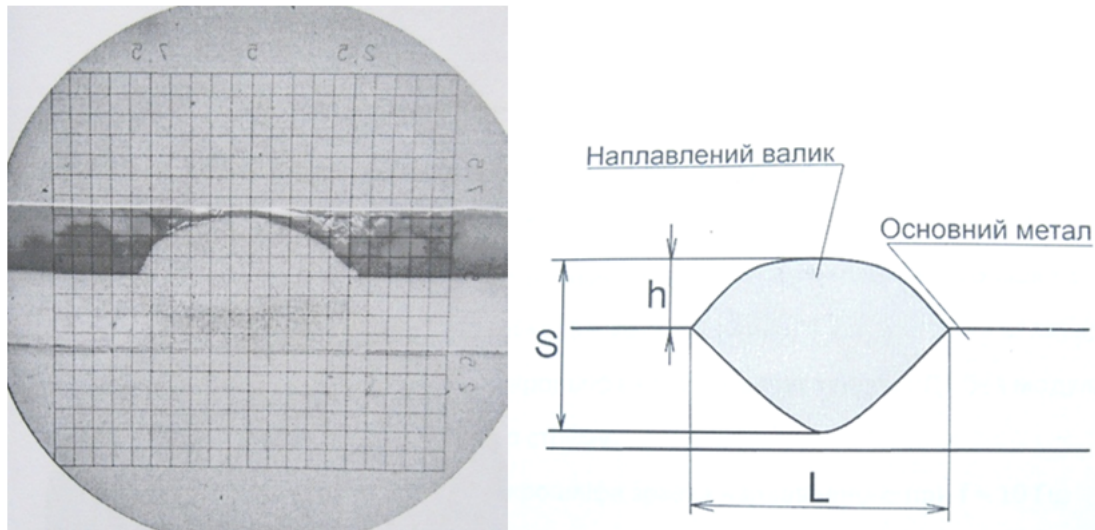


Рис. 3. Вимірювання розмірів наплавлених валиків за допомогою мікроскопа

Під час наплавлення методом РДЗ струм дуги встановлювали на рівні 50 А, при ЗМС струм дуги в імпульсі становив 70 А, в паузі – 30 А. Визначено, що загальна висота наплавленого валика та глибина проплавлення приблизно однаковою мірою зростають із збільшенням частоти імпульсів струму і при частоті 30 Гц глибина проплавлення майже на 30 % перевищує глибину проплавлення при РДЗ без модулювання струму (табл. 1). Це може бути результатом наближення частоти коливань струму дуги до частоти власних коливань зварювальної ванни, внаслідок чого відбувається резонанс і збільшення електромагнітних сил, що діють на прошарок рідкого металу у ванні [6].

Таблиця 1

Лінійні розміри наплавлених валиків

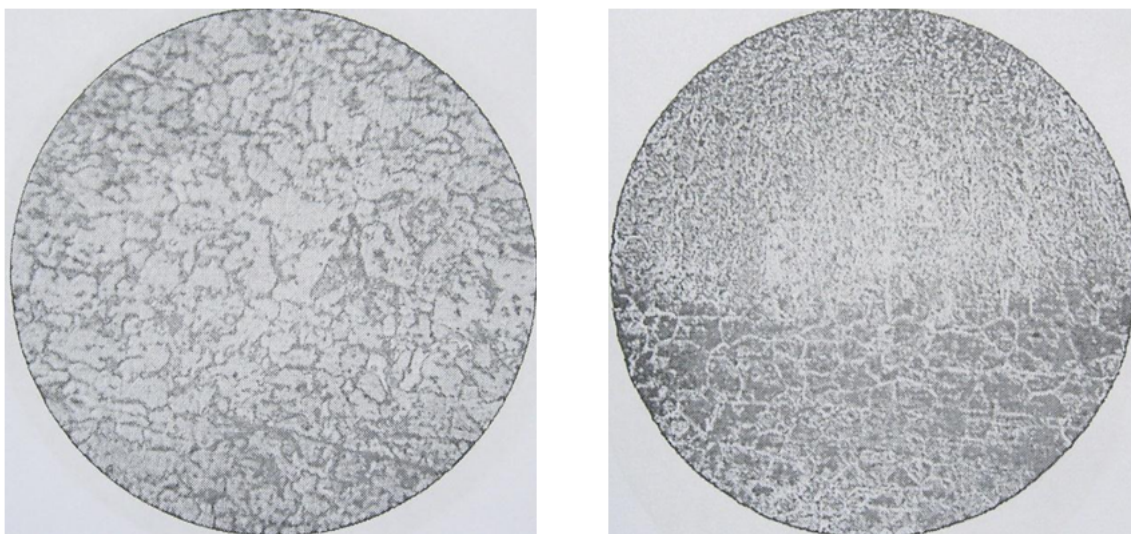
Спосіб зварювання	Частота f, Гц	L, мм	S, мм	h, мм	P, мм
РДЗ	-	4,538	1,913	1,313	0,6
ЗМС	5	4,43	1,505	0,968	0,627
	10	4,54	1,575	0,988	0,637
	15	4,67	1,666	1,023	0,643
	20	4,875	1,763	1,105	0,658
	25	4,88	1,805	1,116	0,689
	30	4,9	1,848	1,058	0,790

Примітка: глибина проплавлення P визначалась як $P = S - h$.

Крім того, визначено, що у зразків, виконаних РДЗ без модулювання струму проглядається досить чітка різниця структури металу наплавленого валика й основного металу, що значно менше помітно у зразках, виконаних ЗМС (рис. 4). Це забезпечує зменшення внутрішніх напружень і підвищення міцності зварного з'єднання та його корозійної стійкості.

Дослідження впливу амплітуди та тривалості імпульсів модульованого струму дуги на структуру зварного шва та глибину проплавлення основного металу проводили також у нижньому положенні без коливальних рухів електрода при частоті $f = 10$ Гц. Варіювали амплітудне значення струму дуги в імпульсі та у паузі, а також тривалість імпульсу в періоді в межах $t_i = 1/4, 1/3, 2/3, 3/4T$. Параметри режиму зварювання обирали за умови підтримання середньої потужності дуги на рівні 2000 Вт. Для цього струм дуги в імпульсі змінювали в межах 56...80 А, в паузі – 30...45 А.

Наплавлений метал



Основний метал

а

б

Рис. 4. Структура зварного з'єднання під час зварювання без модулювання струму (а) та з модулюванням на частоті 25 Гц (б)

Визначено, що при тривалості імпульсу струму $t_i = 1/4, 1/3T$ високі значення струму дуги в імпульсі не мають особливого впливу на проплавлення через короткий час протікання, завдяки чому в метал передається недостатня кількість теплоти для проплавлення основного металу. Збільшення тривалості імпульсу струму дуги приводить до помітного зростання глибини проплавлення та інших лінійних розмірів шва (табл. 2).

Таблиця 2

Лінійні розміри наплавлених валиків

№ зразка	Режим	L, мм	S, мм	h, мм	P, мм
1	$I_i = 60 \text{ A}, t_i = 2/3T$ $I_n = 30 \text{ A}, t_n = 1/3T$	5,063	2,025	1,313	0,712
2	$I_i = 56 \text{ A}, t_i = 2/3T$ $I_n = 40 \text{ A}, t_n = 1/3T$	4,2	1,8	1,163	0,647

Отримані результати (табл. 2) свідчать, що на режимі № 1 при частоті 10 Гц і величині струму в імпульсі 60 А глибина проплавлення наближається до отриманих вище (табл. 1) значень при частоті 30 Гц та струмі в імпульсі 70 А.

Висновки.

1. Встановлено, що ручне дугове зварювання із модулюванням струму дуги забезпечує менше розбрикування металу, меншу лускатість зварного шва і більшу спорідненість структури металу шва і зони термічного впливу з основним металом.

2. Визначено, що у разі підвищення частоти імпульсів струму дуги від 5 до 30 Гц спостерігається збільшення розмірів зварного шва та глибини проплавлення, яка на 30 % може перевищувати глибину проплавлення при РДЗ без модулювання струму.

3. Встановлено, що тривалість імпульсу струму дуги в періоді суттєво впливає на якість зварного шва та глибину проплавлення основного металу. Оптимальна тривалість імпульсу знаходиться в межах від $1/2$ до $2/3T$.

Список використаних джерел

1. *Металлические конструкции* / под ред. Г. С. Веденникова. – М. : Стройиздат, 1998. – 760 с.
2. Степанов В. В. Сварка пульсирующей дугой плавящимся электродом в углекислом газе / В. В. Степанов, Ф. А. Вагнер, П. Р. Исаенко // Автоматическая сварка. – 1971. – № 1. – С. 44–46.
3. Пат. №136450, Великобритания. Method of welding iron, steel and non-ferrous alloys /Nippon steel Corp. – Опубл. 13.10.71.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

4. *Шигаев Т. Г.* Приемы модулирования сварочного тока и устройства для их осуществления (обзор) / Т. Г. Шигаев // Автоматическая сварка. – 1983. – № 8. – С. 51–55.

5. *Коваленко В. С.* Металлографические реактивы : справочник / В. С. Коваленко. – М. : Металлургия, 1973. – 112 с.

6. *Пустовойт С. В.* Наукові основи та технічні засоби підвищення продуктивності імпульсного ручного дугового зварювання : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. В. Пустовойт. – К. : ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2006. – 18 с.

УДК 621.791.927.5

В.П. Иванов, канд. техн. наук

Е.В. Лаврова, канд. техн. наук

Н.А. Солидор, канд. техн. наук

Ф.В. Моргай, аспирант

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ
КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО СЛОЯ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ
С УПРАВЛЯЕМЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ПЕРЕНОСОМ**

В.П. Иванов, канд. техн. наук

О.В. Лаврова, канд. техн. наук

Н.А. Солидор канд. техн. наук

Ф.В. Моргай, аспирант

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ
КОРОЗІЙНОСТІЙКОГО ШАРУ СТРІЧКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ З КЕРОВАНИМ
МЕХАНІЧНИМ ПЕРЕНОСЕННЯМ**

Vitaliy Ivanov, PhD in Technical Sciences

Yelena Lavrova, PhD in Technical Sciences

Nataliya Solidor, PhD in Technical Sciences

Fedor Morgay, PhD student

SHEI "Priazovskiy State Technical University", Mariupol, Ukraine

**STUDY OF ELECTRIC ARC OVERLAYING PROCESS OF CORROSION-
RESISTANT LAYER BY STRIP ELECTRODES WITH A CONTROLLED
MECHANICAL TRANSFER**

Разработана технология наплавки коррозионностойкого слоя ленточным электродом с принудительным механическим переносом электродного металла, позволяющая обеспечить повышения качества наплавленной поверхности и стабилизацию зоны проплавления основного металла. Исследованы макро- и микроструктуры, а также характер изменения микротвердости наплавленного малоуглеродистого и коррозионностойкого металла.

Ключевые слова: ленточный электрод, управляемый перенос электродного металла, микроструктура, коррозионностойкий слой, микротвердость, электродуговая наплавка.

Розроблено технологію наплавлення корозійностійкого шару стрічковим електродом з примусовим механічним перенесенням електродного металу, що дозволяє забезпечити підвищення якості наплавленої поверхні і стабілізацію зони проплавлення основного металу. Досліджено макро- і микроструктури, а також характер зміни микротвердості наплавленого малоуглеводного і корозійностійкого металу.

Ключові слова: стрічковий електрод, кероване перенесення електродного металу, микроструктура, корозійностійкий шар, микротвердість, електродугове наплавлення.

Was developed the technology for overlaying of corrosion-resistant layer by the strip electrode with forced mechanical transfer of electrode metal, which allows to improve the overlaid surface quality and the area penetration zone stabilization of the base metal. The macro- and microstructure, as well as the behavior of the microhardness of the mild and corrosion-resistant deposited metal were investigated.

Key words: strip electrode, controlled transfer of electrode metal, microstructure, corrosion-resistant layer, microhardness, electric arc overlaying.

Постановка проблемы. Преимущества технологии наплавки под флюсом ленточным электродом дают основания считать ее одним из наиболее оптимальных способов в области изготовления, восстановления и упрочнения деталей оборудования энергетического и химического машиностроения.

В отличие от наплавки проволочным электродом, процесс наплавки под флюсом лентой более чувствителен к выбору: оптимальных параметров режима (ток и скорость наплавки, напряжение на дуге, вылет); наплавочных материалов, особенно флюса (его плотность, вязкость, электропроводность) и характера его распределения по ширине сварочной ванны; к воздействию магнитного поля (эффект «магнитного дутья»); к расположению наплавляемой поверхности относительно горизонта; угла наклона ВАХ источника питания и т. д.

Поэтому одной из проблем обеспечения качества наплавленного слоя при использовании ленточного электрода является управление процессом переноса электродного металла с торца ленточного электрода в ванну. Разработка оборудования и технологии, обеспечивающих управление процессом переноса, является насущной задачей совершенствования технологии электродуговой наплавки.

Анализ последних достижений и публикаций. Проблеме переноса электродного металла при электродуговой сварке и наплавке посвящено большое количество исследований.

Для повышения эффективности процесса наплавки, а также для стабилизации условий горения дуги на торце ленты, проплавления основного металла и снижения влияния «магнитного дутья» на формирование валика предложен способ наплавки несколькими электродами с изменением соотношения токов в электродах [1; 2], позволяющий регулировать уровень шлаковой ванны у каждого из электродов, управлять характером оплавления их торцов и поступлением электродного металла в сварочную ванну, формой и глубиной проплавления, а также долей участия основного металла.

Также предложен ряд способов, основная цель которых – увеличить тепловложение и объем расплавляемого электродного металла в краевых зонах валика. Это достигается либо использованием комбинированного электрода (введением дополнительного электродного материала в виде проволоки или узкой ленты на боковых участках сварочной ванны), либо отбортовкой одной или двух кромок ленты, т. е. ее профилированием [3]. Использование составного ленточного электрода позволяет управлять тепло- и массопереносом по ширине сварочной ванны, характером процесса наплавки (соотношением дугового и шлакового процессов), условиями и производительностью плавления электродного и основного металла.

Управление переносом электродного металла также возможно за счет изменения сил поверхностного натяжения [3]. Этому вопросу посвящены работы В.И. Дятлова, А.А. Ерохина, А.Г. Потапьевского, В.В. Фролова, Н.Г. Дюргерова и др.

Как известно, сила поверхностного натяжения зависит от длины границы раздела фаз и коэффициента поверхностного натяжения. В этом случае, чем меньше значение $\sigma_{\text{пл}}$, тем мельче капли жидкости и вероятнее переход к мелкокапельному или струйному переносу металла. Однако для такого способа управления переносом электродного металла потребуются дополнительные затраты на материалы (введение активаторов и т. п.) и соответствующие изменения к основному металлу.

Повышение качества наплавляемых изделий за счет управления формированием валика при дуговой наплавке ленточным электродом. В ряде работ предложено повысить качество наплавленных изделий за счет использования управляющих магнитных полей [4].

Достаточно широкое распространение получил импульсно-дуговой процесс сварки, суть которого заключалась в использовании алгоритмов управления источником сварочного тока и процессом переноса электродного металла [5]. Поэтому в последнее вре-

мя большое внимание уделяется дуговой механизированной сварке с импульсным воздействием на процесс за счет импульсов тока от специальных источников (импульсно-дуговой процесс) или применения импульсной подачи электрода.

Импульсный характер подачи электрода оказывает существенное влияние на ток дугового процесса и, как следствие, скорость плавления электродной проволоки, вызывая их колебания.

Импульсная подача электрода позволяет существенно расширить диапазон значений рабочих токов и напряжения дуги, в том числе при наплавке с короткими замыканиями дугового промежутка. Частота коротких замыканий может быть увеличена в 3–5 раз по сравнению с непрерывной подачей электрода. Управляемый перенос электродного металла снижает в 1,8–2 раза его потери на угар.

Существующие механические устройства, устанавливаемые на подающих механизмах, несовершенны и не позволяют увеличить частоту импульсов подачи более 10 Гц [5]. Еще меньшую частоту импульсов может обеспечить периодическое изменение частоты вращения двигателя механизма подачи электрода. Весьма большую частоту импульсов подачи электрода (до 50 Гц) обеспечивают безредукторные механизмы с электромагнитным вибратором [6], однако они еще недостаточно надежны.

В то время как поперечные колебания создают инерционные силы, приводящие к увеличению ширины шва и повышенному разбрызгиванию расплавленного металла, при осевых изменениях скорости движения электрода влияние инерционных сил на поведение капли имеет иной характер.

При электродуговой наплавке ленточным электродом для регулирования тепломассопереноса с торца ленточного электрода в сварочную ванну перспективным является использование принудительного механического переноса жидкого металла с торца ленточного электрода с помощью эксцентрикового механизма [7].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Исследования свойств наплавленного слоя при механическом переносе проводилось, в основном, для малоуглеродистых низколегированных ленточных электродов, близких по составу основным материалам [7; 8]. В случае использования материалов лент, обладающих отличающимися теплофизическими свойствами, составом и структурой, параметры переноса электродного металла могут существенно варьироваться. Поскольку к оборудованию энергетического и химического машиностроения предъявляются повышенные требования по обеспечению требуемых уровней надежности и работоспособности, при использовании наплавки ленточными электродами подобные изменения могут влиять на качественные характеристики наплавленного слоя. Влияние параметров принудительного переноса на процесс наплавки аустенитным ленточным электродом на малоуглеродистый материал ранее не было исследовано.

Цель статьи. Главная цель этой работы состоит в исследовании влияния процесса наплавки с регулируемым принудительным механическим переносом электродного металла при наплавке под флюсом аустенитным ленточным электродом для разработки усовершенствованной технологии изготовления и восстановления деталей химического и энергетического машиностроения, таких как заготовки трубных решеток, детали запорной арматуры котлы и сосуды с внутренним коррозионностойким слоем и т. п.

Изложение основного материала. С использованием разработанного оборудования для импульсной подачи ленточного электрода [8] проведены исследования по определению влияния параметров процесса наплавки с колебаниями торца на структуру и свойства наплавленного на малоуглеродистую сталь аустенитного слоя.

После проведения наплавки (без колебаний и с колебаниями частотой 30, 50 и 70 Гц соответственно), были проведены металлографические исследования.

Качество формирования швов оценивалось в соответствии с ГОСТ 25616-83 путем внешнего осмотра. Металлографические исследования проводились на микроскопах МИМ-8, «Neophot-21» при увеличениях от $\times 100$ до $\times 2000$.

Определение микротвердости определялось на приборе ПТМ-3 согласно ГОСТ 9450-76 путем вдавливания в отполированную поверхность образца алмазной пирамиды с углом при вершине 136° под нагрузкой 100 г.

Анализ рассматриваемых образцов позволил определить, что в зависимости от амплитуды принудительных колебаний слои наплавки варьируются по толщине. Макроструктура образцов позволяет сделать вывод о снижении неравномерности линии проплавления при увеличении частоты до 50 с^{-1} . При дальнейшем увеличении частоты разброс значений глубины проплавления вдоль линии сплавления имел тенденцию к некоторому увеличению. При этом наиболее равномерное проплавление имеет образец с частотой колебания электрода 50 с^{-1} , который характеризуется симметричной зоной термического влияния и отсутствием несплошностей, а основа имеет гомогенную мелкозернистую макроструктуру. Это подтверждается измерением микротвердости рассматриваемых образцов (рис. 1).

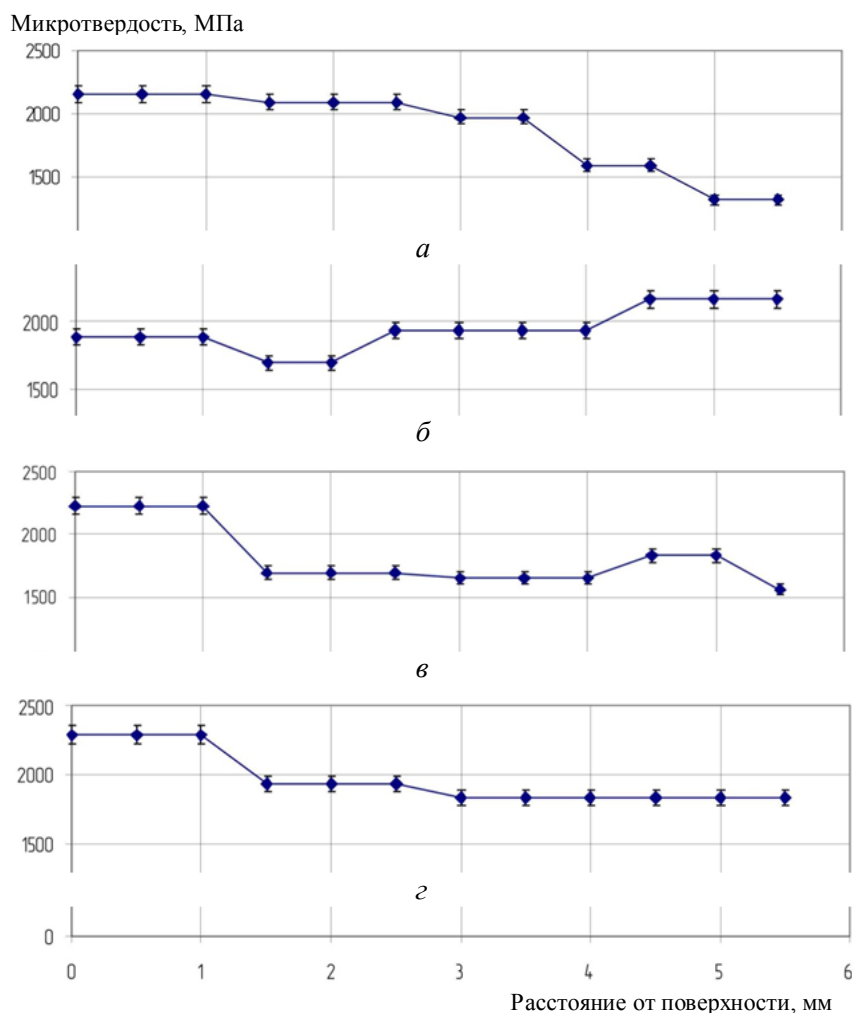


Рис. 1. Распределение микротвердости по глубине наплавленного металла НЛ-08А на ВСтЗпс: а – без принудительных колебаний; б – частота колебаний 30 с^{-1} ; в – частота колебаний 70 с^{-1} ; г – частота колебаний 50 с^{-1}

Исследование микроструктуры образцов также свидетельствует о неоднородности наплавленного металла с принудительным переносом металла в интервале частот $0-40$ и $60-70 \text{ с}^{-1}$ (рис. 2, а-г). Так, в образце 2, а в наплавленном металле структура

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

представляет собой феррито-перлитную смесь столбчатого строения. В зоне ЗТВ отмечается небольшой перегрев (балл зерна соответствует 4–5 номеру). Подкала не обнаружено. Переходного слоя в структуре не наблюдается. Основа имеет более дисперсную феррито-перлитную структуру с баллом зерна 7–8.

В образце 2, б наблюдается значительный перегрев, в результате чего формируются грубые кристаллиты феррита и балл зерна соответствует 3–4 номеру. В этом случае большая неоднородность структуры вызывает неравномерное изменение микротвердости по глубине наплавленного металла (рис. 1, б), что может привести к снижению эксплуатационных характеристик наплавленного металла с данными параметрами наплавки вследствие повышенной склонности металла к хрупкому разрушению.

Структура наплавленного металла образца 2, в представляет собой феррито-перлитную смесь, в которой феррит имеет игольчатое строение (типа видманштетта). Это может привести к повышению прочностных и снижению пластических свойств наплавленного металла.

Наиболее равномерную феррито-перлитную структуру, имеет образец 2, г, что позволяет рекомендовать данный режим с частотой колебания электрода 50 с^{-1} как оптимальный.

Наплавленная поверхность

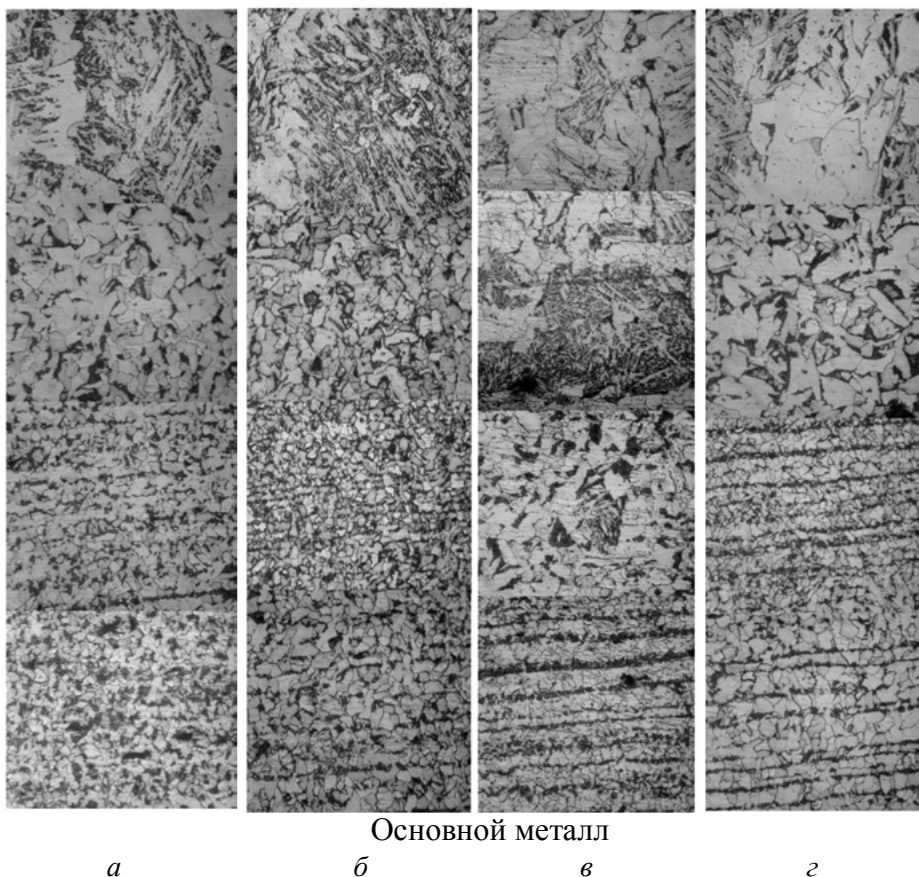


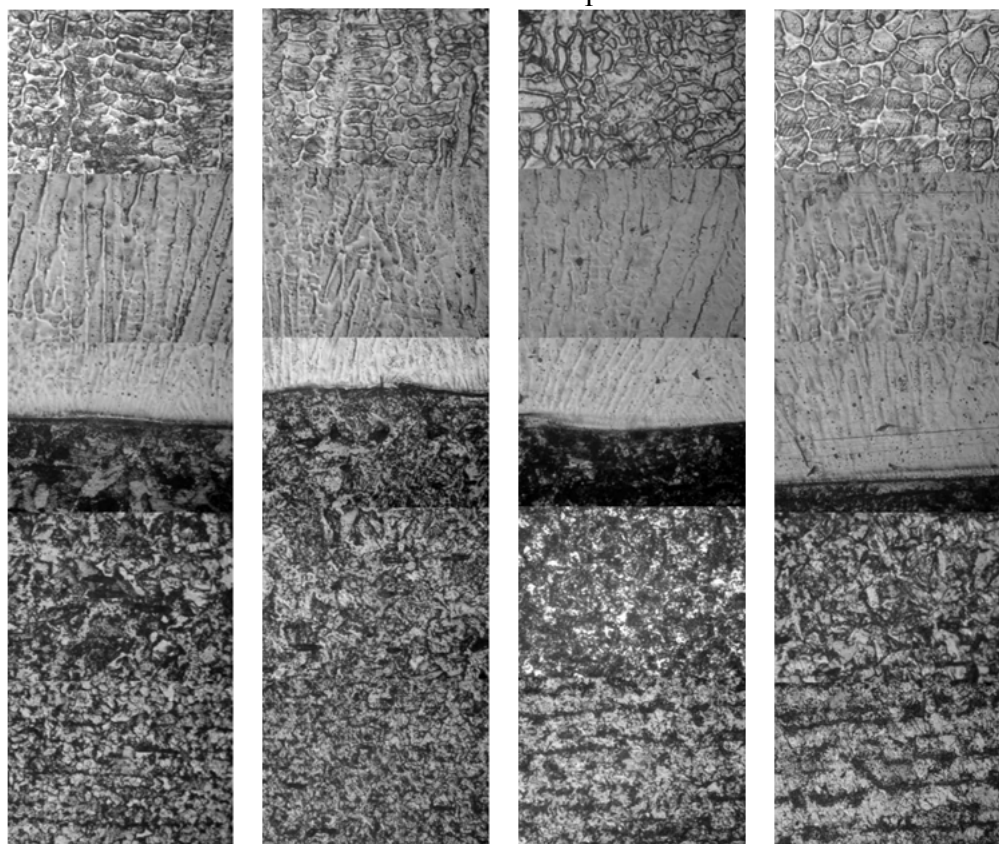
Рис. 2. Изменение микроструктуры по глубине наплавленного металла ЛЛ–08А на ВСтЗпс, $\times 100$:
 а – без принудительных колебаний; б – частота колебаний 30 с^{-1} ; в – частота колебаний 70 с^{-1} ;
 г – частота колебаний 50 с^{-1}

Анализ макроструктуры макрошлифов с наплавленным металлом ЛН-02Х25Н22АГ4М2 на ВСтЗпс позволил определить, что амплитуда принудительных колебаний практически не влияет на толщину наплавленного металла. Структура всех образцов характеризуется равномерным проплавлением, симметричной ЗТВ и отсутствием несплошностей, а основа имеет гомогенную мелкозернистую макроструктуру.

Исследование микроструктуры образцов (рис. 3) свидетельствует о наличии карбидной сетки по границам аустенитных зерен и дендритной ликвации в слоях наплавки. Так, в первом слое наблюдается структура аустенита с отчетливо вытравившимися границами зерен и сеткой карбидов хрома, ближе к зоне сплавления увеличивается количество столбчатых кристаллитов аустенита и утончается карбидная сетка. В этом слое наплавки отчетливо видна дендритная ликвация: тело дендрита более темное, междендритные пространства – более светлые, что свидетельствует о разной химической активности при взаимодействии с реактивом для травления.

В зоне термического влияния во всех образцах наблюдаются крупное зерно, смешанная феррито-перлитная структура с отдельными участками видманштетта, что свидетельствует о сильном перегреве и склонности к хрупкому разрушению. В зоне основного металла – равномерная феррито-перлитная структура с вытянутыми строчками сульфидов, характерная для горячекатаного металла.

Наплавленная поверхность



Основной металл

а

б

в

г

Рис. 3. Изменение микроструктуры по глубине наплавленного металла ЛН-02Х25Н22АГ4М2 на ВСтЗпс, $\times 100$: а – без принудительных колебаний; б – частота колебаний 30 с^{-1} ; в – частота колебаний 70 с^{-1} ; г – частота колебаний 50 с^{-1}

Замеры микротвердости (рис. 4) показали, что в состоянии после наплавки ее значения существенно варьируются, также наблюдается снижение микротвердости в местах сплавления слоев, что объясняется наличием химической неоднородности в наплавленном слое. Высокие значения микротвердости наплавленного металла объясняются присутствием большого количества упрочняющих фаз в аустенитной матрице (карбидов и карбонитридов).

Исследования макро- и микроструктуры, а также характер изменения микротвердости наплавленного металла ЛН-02Х25Н22АГ4М2 позволяют сделать вывод о том, что

в рассматриваемом диапазоне частот принудительных колебаний оказывают аналогичное, хотя и менее выраженное по величине влияние на формирование высоколегированной аустенитной структуры.

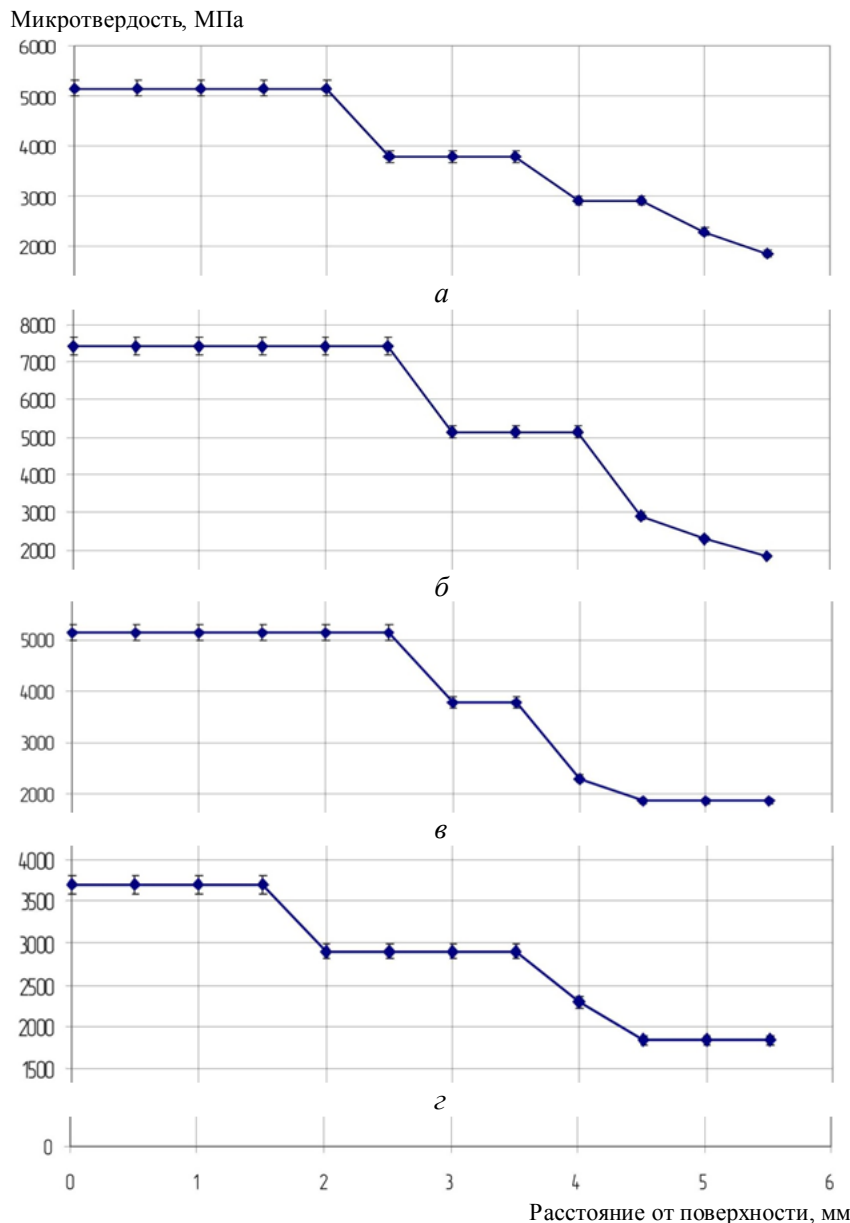


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине наплавленного металла ЛН-02Х25Н22АГ4М2 на ВСт3пс: а – без принудительных колебаний; б – частота колебаний 30 c^{-1} ; в – частота колебаний 70 c^{-1} ; г – частота колебаний 50 c^{-1}

Исследования макро- и микроструктуры, а также характер изменения микротвердости коррозионностойкого металла, наплавленного ленточным электродом ЛН-02Х25Н22АГ4М2 позволяют сделать вывод о том, что в изученном диапазоне частот использование принудительных колебаний торца ленты позволяет формирование высоколегированной аустенитной структуры.

Следует отметить, что поскольку данная наплавочная лента используется в качестве коррозионностойкого материала для наплавки трубных решеток теплообменных аппаратов и парогенераторов, наличие хромистой карбидной сетки в наплавленном слое недопустимо, в связи с чем рекомендуется проведение термической обработки после наплавки для гомогенизации аустенитной структуры, например, высокотемпературной

термоциклической обработки (ВТЦО), которая повышает химическую однородность в наплавленном слое, способствует измельчению структуры и снижению уровня внутренних напряжений в металле, за счет чего можно ожидать повышение комплекса механических и эксплуатационных свойств, а следовательно, долговечности изделий.

Выводы. Технология наплавки ленточным электродом под флюсом с принудительным механическим переносом обеспечивают стабильное горение дуги, возможность регулирования кинематических параметров переноса и эффективное управление формированием наплавленного слоя.

Проведены исследования влияния параметров принудительного переноса при наплавке малоуглеродистым и аустенитным ленточными электродами на формирование зоны проплавления и структуру наплавленного слоя.

Анализ макро-, микроструктуры и распределения микротвердости по глубине наплавленного металла при использовании ленточных электродов НЛ-08А и ЛН-02Х25Н22АГ4М2 позволяет заключить, что наплавка с принудительным переносом электродного металла при частоте колебаний 50 Гц обеспечивает наиболее равномерное формирование наплавленного валика, что позволяет рекомендовать данный режим для изготовления и восстановления деталей и узлов химического и энергетического машиностроения.

Список использованных источников

1. *Наплавка* деталей металлургического оборудования двумя ленточными электродами / В. П. Лаврик, Л. К. Лещинский, В. Н. Бурдюгов, В. И. Верник // *Металлург.* – 1990. – № 1. – С. 33.
2. *Лаврик В. П.* Повышение качества формирования валика и переходной зоны при наплавке электродными лентами / В. П. Лаврик, Л. К. Лещинский // *Новые процессы наплавки, свойства наплавленного металла и переходной зоны.* – К. : ИЭС Патона, 1984. – С. 14–20.
3. *Лебедев В. А.* Тенденции развития механизированной сварки с управляемым переносом электродного металла (обзор) / В. А. Лебедев // *Автоматическая сварка.* – 2010. – № 10. – С. 45–52.
4. *Лебедев В. А.* Зависимость между скоростями импульсной подачи проволоки и ее плавления при сварке с короткими замыканиями / В. А. Лебедев // *Автоматическая сварка.* – 2007. – № 4. – С. 19–22.
5. *Патон Б. Е.* Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев // *Сварочное производство.* – 2002. – № 2. – С. 24–31.
6. *Лебедев В. А.* Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак // *Автоматическая сварка.* – 2001. – № 5. – С. 31–37.
7. *Патент 44885 Україна.* МПК В23К 9/12 Спосіб широкошарового наплавлення під флюсом стрічковим електродом / Е. В. Лаврова, Б. И. Носовский ; ПГТУ. – № u 2008 10823 ; заявл. 01.09.2008 ; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.
8. *Патент на винахід №101288 Україна,* МПК (2013) В23К 9/12. Пристрій для наплавлення стрічковим електродом під флюсом / О. М. Серенко, О. В. Лаврова, В. П. Іванов, В. О. Серенко. – № 201205838 ; заявл. 14.05.12 ; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. – 4 с.

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.021

В.В. Казимир, д-р техн. наук

А.С. Посадська, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МЕРЕЖЕВЕ ПЛАНУВАННЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЛОГІК

В.В. Казимир, д-р техн. наук

А.С. Посадская, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЛОГИК

Volodymyr Kazymyr, Doctor of Technical Sciences

Alina Posadska, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

NETWORK PLANNING IN REAL TIME MODE USING THE TEMPORAL LOGIC

Досліджено проблеми роботи систем мережевого планування в режимі реального часу. Розглянуто використання математичного апарату темпоральних логік для визначення формальних властивостей процесів мережевого планування в режимі реального часу, які дають можливість контролювати і прогнозувати ці процеси. Також представлено застосування семантики пропозиційної логіки для формалізації вимог для виконання заданого плану робіт.

Ключові слова: мережеве планування в режимі реального часу, темпоральні логіки, мережевий графік, формалізація властивостей.

Исследованы проблемы работы систем сетевого планирования в режиме реального времени. Рассмотрено использование математического аппарата темпоральных логик для определения формальных свойств процессов сетевого планирования в режиме реального времени, которые дают возможность контролировать и прогнозировать эти процессы. Также представлено применение семантики пропозициональной логики для формализации требований для выполнения заданного плана работ.

Ключевые слова: сетевое планирование в режиме реального времени, темпоральные логики, сетевой график, формализация свойств.

The problems of work of network planning systems operating in real-time mode are investigated. The usage of the mathematical apparatus of temporal logic to determine the formal properties of processes of network planning in real time, which make it possible to monitor and forecast these processes, is considered in the article. The use of semantics for propositional logic for formalizing the requirements for performing work plan is presented.

Key words: network planning in real-time, temporal logic, network schedule, formalization of properties.

Вступ. Нині в багатьох галузях використовується проектний метод. Для цього використовуються системи планування та управління, які дозволяють наочно аналізувати склад робіт, забезпечувати оптимальний порядок виконання поставленого комплексу завдань, а також дають можливість об'єктивно оцінити дії виконавців, хід виконання робіт і виробити додаткові заходи щодо підвищення ефективності виробництва [1].

Система мережевого планування в режимі реального часу (СМПРЧ) – це система, яка дозволяє моделювати і комплексно перебудовувати план виконання робіт в умовах зміни зовнішніх і внутрішніх факторів у реальному часі, а також прогнозує поведінку системи [2]. Оскільки СМПРЧ мають здатність до розвитку і зміни свого стану в часі, то виникає необхідність формалізувати вимоги до властивостей процесів мережевого планування з метою прогнозування поведінки системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На ринку програмного забезпечення вже є програмні засоби, які частково вирішують задачі оперативного планування і контролю, наприклад, MicroSCADA, ArcGIS, Worksection, Time Line, MSProject, Spider,

Primavera Project Planner, ONLYOFFICE, Битрикс 24, Terrasoft CRM та ін. Вони застосовуються в управлінні транспортом, медичних системах, електронному бізнесі, телефонних мережах, енергетиці [3]. Однак вони позбавлені можливості якісного прогнозування і коригування поведінки системи.

Водночас активно розвиваються методи застосування темпоральних логік (TL). Розроблення і дослідження із застосуванням засобів представлення та оперування темпоральними залежностями неодноразово відзначені в роботах Е. Кларка, Т. Хензингера, Р. Алюра, О.П. Єремєєва, В.О. Захарова, Д.В. Царькова, В.А. Смирнова, М.К. Валієва та ін. [4; 5; 6; 7]. Прикладами програмних продуктів є інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, системи автоматизованого проектування (G2, RТworks) [4; 8].

У цій статті розглянуто застосування TL для більш вузької галузі – для систем мережевого планування в режимі реального часу (РЧ), коли є потреба в переплануванні в короткі терміни, але з урахуванням необхідних умов, які задаються спочатку. Пропонується інтегрувати методи мережевого планування з математичним апаратом TL, щоб урахувати причинно-наслідкові зв'язки в умовах часу.

Метою статті є розгляд використання математичного апарату темпоральних логік для визначення формальних властивостей процесів мережевого планування в режимі реального часу, орієнтованих на аналітичне оброблення даних для оцінювання розвитку ситуацій з метою модифікації плану.

Аналіз наявних систем мережевого планування в режимі реального часу. На ринку програмних продуктів можна виділити такі програмні засоби, які тією чи іншою мірою містять інструменти мережевого планування, що працюють у режимі реального часу:

- системи мережевого планування, що використовують у роботі мережеві графіки;
- геоінформаційні системи (ГІС);
- CRM-системи.

Вони застосовуються для вирішення завдань управління проектами, використовуючи методи мережевого планування, такі як діаграма Ганта, метод критичного шляху, PERT, GERT та їх модифікації [9].

Дуже часто розробники об'єднують всі системи в одну, а групувати їх можна помодульно. Розглянемо деякі приклади таких систем.

MicroSCADA Pro (ABB). Система реального часу, яка заснована на алгоритмі пошуку місця пошкодження, а також відновлення та реконфігурації мережі [10]. Її функціональні можливості дозволяють застосування нових додатків у режимі реального часу для поліпшеного моніторингу мережі та управління перебоями в електропостачанні. Дає можливість миттєво визначити місцезнаходження аварії і вказати його точне знаходження на географічній карті. Однак є багато недоробок у підтриманні роботи системи в режимі реального часу.

Time Line (Time Line Solutions). У дистрибутив пакета входить генератор звітів Crystal Report. Цей пакет багатофункціональний і простий у використанні, проте на сьогодні його продаж припинено [2].

ArcGIS Tracking Analyst – модуль геоінформаційної системи ArcGIS (ESRI), призначений для відображення та аналізу даних (з архіву темпоральних даних або даних, що надходять у реальному часі) [11]. Дозволяє вирішувати такі завдання, як планування подій, супровід польотів і прокладання маршруту, рятувальні заходи, контроль дотримання розкладів і маршрутів, складання розкладів і графіків роботи та ін. Однак продукт має високу вартість, а також незручність розбиття функцій за різними модулями, які необхідно докуповувати додатково.

Asta Powerproject (Eleco). Система управління проектами, яка об'єднує можливості календарно-мережевого, ресурсного і вартісного планування. Є центральним модулем

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

багатокористувальницької системи з єдиною базою даних [12]. Має такі недоліки, як висока вартість ліцензії та труднощі навчання.

Бітрікс 24 (Bitrix). Система реального часу, яка являє собою повний комплект інструментів для організації роботи компанії [13]. Проста у використанні, адже робота із сервісом схожа на використання соціальної мережі («жива стрічка», де буде видно, хто додав задачу, завантажив документ, створив робочий звіт і т. ін.). Завдання над проектом можна представити у вигляді діаграми Ганта, де видно, скільки всього завдань по проекту, скільки з них завершено і скільки знаходиться в роботі, які завдання прострочені, а які – взагалі без терміну. Ведеться звітність за завданнями (скільки часу кожен співробітник витратив на окреме завдання або на проект, скільки завдань у роботі, скільки завершено тощо). До недоліків можна віднести саму діаграму Ганта (погано видно взаємозв'язок робіт, відсутнє пряме масштабування шкали та ін.) і відсутність механізму створення зв'язків між завданнями.

Microsoft Project (Microsoft) є найбільш відомим і поширеним продуктом, який дозволяє якісно управляти проектами з мінімальними витратами часу і коштів [14]. Застосовується для роботи з проектами малого та середнього масштабу. Однак це досить складна система, як і, наприклад, ClearQuest розрахована на меншу кількість завдань, ніж користувачеві необхідно; не всю інформацію про проект можна внести в систему; не вистачає функціоналу, недешева вартість ліцензії.

Порівняльна характеристика програмних продуктів залежно від властивостей СМІРВ, які вони повинні задовольняти, наведена в табл.

Таблиця

Порівняльний аналіз функціональних характеристик програмних пакетів

Властивості	Системи					
	Micro SCADA Pro	Time Line	ArcGIS Tracking Analyst	Asta Power project	Бітрікс 24	MS Project
Визначення потреби у виробничих ресурсах станом на будь-який момент часу	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Отримання оперативної інформації за всіма етапами розроблення	+	+/-	+/-	+/-	+	+/-
Прогнозування можливості відхилень від плану	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Реакція системи на подію протягом часу, критичного для цієї події	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Реагування на події, що відбуваються одночасно, протягом інтервалів часу, критичних для цих подій	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-

Таким чином, можна зробити висновок, що всі перераховані системи мають досить широке коло функцій мережевого планування й управління в режимі реального часу. Однак у них відсутнє прогнозування процесів мережевого планування. Для цього пропонується використовувати формули темпоральної логіки, вбудовуючи їх у систему обмежень процесів планування.

Математичний апарат темпоральних логік. Темпоральні логіки використовуються для опису обмежень на можливі послідовності подій і пов'язані з цим тимчасові обмеження. Існує безліч різновидів TL, однак для формалізації властивостей процесів мережевого планування пропонується використовувати пропозиціональну темпоральну логіку лінійного часу (PLTL), в якій всі події утворюють лінійну послідовність у часі.

Алфавіт PLTL [15; 16] поряд з операціями числення висловлювань містить темпоральні оператори: X – «у наступному стані», U – «поки що», F – «коли-небудь», G – «завжди». Формули PLTL утворюються з використанням пропозиціональних змінних, що означають те чи інше висловлювання (властивість), яке може набувати значення *true* або *false*.

Прикладами формул PLTL є:

p_i , якщо $p_i \in AP$, де AP – множина пропозиціональних змінних;

$(\varphi \& \psi)$, якщо φ і ψ – формули;

$(\varphi \vee \psi)$;

$(X\varphi)$ – «у наступний момент часу буде правильно φ »;

$(F\varphi)$ – «колись у майбутньому буде правильно φ »;

$(G\varphi)$ – «завжди правильно φ »;

$(\varphi U \psi)$ – « φ залишається правильною, поки не стане правильною ψ ».

Семантика темпоральної логіки визначається за логічною моделлю, що задається темпоральною структурою Кріпке, якій відповідає система множин:

$$M = (AP, S, S_0, R, L),$$

де AP – множина пропозиціональних змінних;

S – кінцеве множина станів;

$S_0 \in S$ – початковий стан;

$R \subseteq S \times S$ – відношення переходів між станами;

$I : S \rightarrow 2AP$ – функція інтерпретації, яка визначає для кожного стану значення пропозиціональних змінних.

Інтерпретація $I = \langle N, \leq, \xi \rangle$,

де $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ – це послідовність станів обчислень, лінійно впорядкована відношенням переходів \leq ;

оцінка $\xi : N \times AP \rightarrow \{true, false\}$ – вказує, які події відбуваються в ті чи інші моменти часу.

Для систем планування реального часу більше підходить модифікація PLTL – параметрична темпоральна логіка реального часу – Timed Propositional Temporal Logic (TPTL) [17; 18; 19], яка дозволяє виражати властивості з використанням заданих часових меж. У формулах TPTL допускається використання бінарних відношень ($<$, $>$, $=$, \leq , \geq), які обмежують час дії формули, наприклад, таким чином: $G_{<5}\varphi$ – « φ правильно завжди на інтервалі до 5 одиниць часу».

Застосуємо апарат TPTL для формулювання вимог до плану робіт, одночасно поширивши використання бінарних операцій на пропозиціональні змінні.

Застосування апарату темпоральних логік для мережевого планування в режимі реального часу. За основу візьмемо план робіт, представлений у вигляді мережевого графіка. Зведемо його до моделі Кріпке M . Для цього перенесемо всі роботи на часову шкалу в порядку їх черговості рис. 1.

До основних параметрів мережного графіка відносяться: тривалість виконання всього плану, час звершення подій, терміни виконання окремих робіт та їх резерви часу.

Важливим елементом, який підлягає обліку, є ресурси – трудові, матеріальні і грошові. Вони можуть бути обмежені, поновлювані і непоновлювані. Необхідно правильно розподіляти ресурси, наприклад, змістивши початок деяких робіт, що мають значні резерви часу, або визначення розподілу в часі завантаження поновлюваних ресурсів.

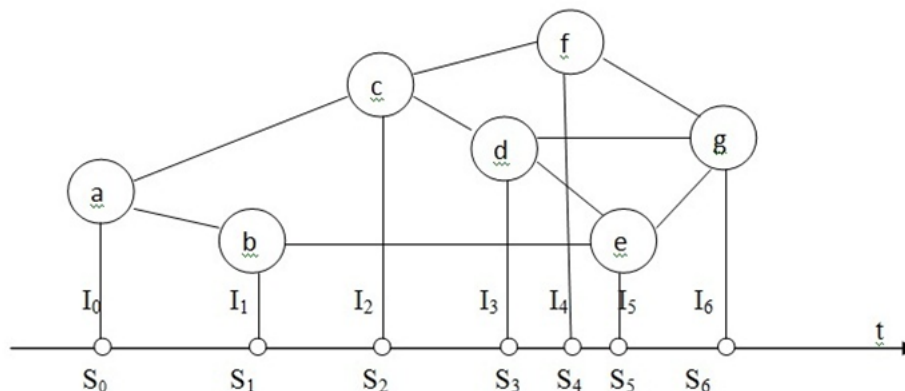


Рис. 1. Мережевий графік з проекцією робіт на часову шкалу

Сформулюємо можливі вимоги до плану робіт за допомогою формул TPTL:

$G(a \wedge r_1)$ – «робота *a* виконується завжди за наявності ресурсу r_1 »;

$G(b \wedge r_{3 \geq \min})$ – «робота *b* виконується завжди при обмеженості ресурсу $r_3 \geq \min$ »;

$G(request \Rightarrow AF_{\leq 10} response)$ – «реакція на будь-яку подію наступить не пізніше, ніж через 10 одиниць часу»;

$A[not\ execute U_{\leq 15} execute]$ – «робота буде виконана не більше ніж через 15 одиниць часу» та ін.

Перевірка вимог, заданих за допомогою формул TPTL, здійснюється за допомогою процедури model cheking. Причому як темпоральну модель структури Кріпке можна використовувати різні формальні апарати – наприклад, мережі Петрі [20]. У нашому випадку такою моделлю може бути сам мережевий графік, спроектувати на вісь часу (рис. 1). Структурою Кріпке для цього графіка буде послідовність станів робіт:

$$\pi = s_0 \rightarrow s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow s_4 \rightarrow s_5 \rightarrow s_6,$$

де s_0, \dots, s_6 – стани.

Нехай для стану *s* моделі *M* і темпоральної формули φ запис $M : M|\varphi$ означає, що формула φ істинна у стані *s* моделі *M*.

Оскільки після кожної зміни стану перед кожною новою роботою формули TPTL повинні перевірятися на можливість виконання умов, то алгоритм перевірки виконання формули φ для моделі $M : M|\varphi$ буде полягати в такому:

- декомпозиція формули φ на підформули для кожного стану;
- аналіз змінних і констант у підформулі, при цьому враховуючи діапазони обмежень;
- пошук всіх станів, які задовольняють підформулу для виконання роботи 1;
- пошук всіх станів, які задовольняють підформулу для виконання роботи 2;
-;
- пошук всіх станів, які задовольняють підформулу для виконання роботи *i*;
- після кожного виконання стану перевірка виконання формули φ для виконання наступних станів;
- перевірка, чи входить початковий стан моделі в число станів, що задовольняють формулу φ . Якщо ця умова виконується, то формула на цій моделі виконується, тобто

$$s_0 \in \{s|M, s|\varphi\} \rightarrow M|\varphi.$$

Нижче, для прикладу, наводиться UML-діаграма перевірки формули $\varphi = G(b \wedge r_{3 \geq \min})$ за цим алгоритмом (рис. 2).

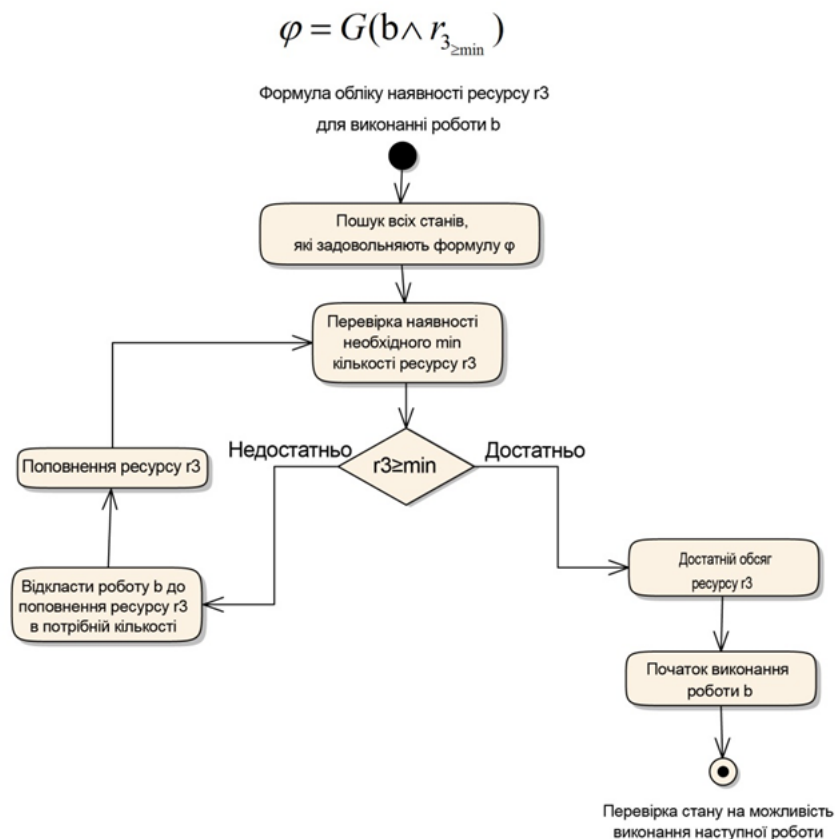


Рис. 2. UML-діаграма перевірки формули $\varphi = G(b \wedge r_{3 \geq \min})$

Висновки. Мережеве планування в режимі реального часу потребує застосування додаткових заходів для контролю і прогнозування плану робіт, що виконується. З цією метою може бути використаний математичний апарат темпоральної логіки, який дозволяє формально визначити вимоги до плану робіт на темпоральній моделі, отриманій із мережевого графіка.

Метою подальших досліджень буде використання часових логік для вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації мережевого планування в реальному часі, а також створення для цього інформаційної технології у вигляді відповідної програмної системи.

Список використаних джерел

1. Кудрявцев Е.М. Microsoft Project. Методы сетевого планирования и управления проектом / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Прес, 2005. – 238 с.
2. Сетевое планирование и управление. Методические указания по выполнению экономического раздела дипломного проекта / Михайловский экономический колледж-интернат. – Михайлов, 2007. – 17 с.
3. Управление производством. Сетевое планирование : учеб. пособие / И. А. Ларионова, О. О. Скрябин, Л. А. Фёдоров, Е. П. Караваев. – М. : МИСиС, 2009. – 53 с.
4. Еремеев А. П. Реализация интеллектуальных систем реального времени на основе сетей Петри с поддержкой темпоральных зависимостей / А. П. Еремеев, Ю. И. Королев // Программные продукты и системы. – 2013. – № 3. – С. 88–94.
5. Еремеев А. П. Расширение возможностей моделирования временных зависимостей в интеллектуальных системах на основе применения темпоральных прецедентов / А. П. Еремеев, И. Е. Куриленко // Интеллектуальные системы : коллективная монография / под ред. В. М. Курейчика. – М. : Физматлит, 2013. – Вып. 6. – С. 89–118.
6. Clarke E., Emerson E. Design and synthesis of synchronization skeletons using Branching Time Temporal Logic // Lecture Notes in Computer Science. – 1981. – Vol. 131. – P. 52–71.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

7. Emerson E., Clark E. Using branching-time temporal logic to synthesize synchronization skeleton // *Science of Computer Programming*. – 1982. – № 2. – P. 241–266.
8. Стоянова О. В. Метод поддержки принятия решений по управлению временными аспектами проектов на промышленных предприятиях / О. В. Стоянова, А. И. Васицына // *Программные продукты и системы*. – 2012. – № 3. – С. 178–184.
9. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Коршунов. – 2 изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1980. – 424 с.
10. ABB [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://new.abb.com/>.
11. ArcGIS Tracking Analyst [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://nrtb.ru/products/arcgis_distrib/arcgis_modules/tracking_analyst.php.
12. Asta Powerproject [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.astapowerproject.com/>.
13. Битрикс24 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bitrix24.ru/>.
14. ПО Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.microsoft.com/ru-ru/softmicrosoft>.
15. Pnueli A. The temporal logic of programs // In *Proceedings of the 18th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*. – IEEE Computer Society Press, 1977. – P. 46–57.
16. Pnueli A. Applications of temporal logic to the specification and verification of reactive systems: a survey of current trends // In J.W. de Bakker, W.–P. de Roever, and G. Rozenberg, editors, *Current Trends in Concurrency, Lecture Notes in Computer Science*. – Springer-Verlag, 1986. – Vol. 224. – P. 510–584.
17. Henzinger T. A. Half-order modal logic: how to prove real-time properties // In *Proceedings of the Ninth Annual Symposium on Principles of Distributed Computing*, ACM Press, 1990. – P. 281–296.
18. Henzinger T. A. The temporal specification and verification of Real-Time Systems. PhD thesis, Stanford University, 1991. – 287 p.
19. Henzinger T. A., Manna Z., and Pnueli A. Temporal proof methodologies for real-time systems // In *Proceedings of the 18th Annual Symposium on Principles of Programming Languages*, ACM Press, 1991. – P. 353–366.
20. Казимир В. В. Верификация реактивных систем с помощью формул темпоральной логики на E-сетевых моделях / В. В. Казимир // *Мат. машини і системи*. – 2002. – № 1. – С. 29–40.

УДК 004.942

О.М. Трофимчук, д-р техн. наук

О.О. Кряжич, канд. техн. наук

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

КУСКОВО-ПОЛІНОМІАЛЬНА АПРОКСИМАЦІЯ ЯРУЖНИХ ФУНКЦІЙ

А.Н. Трофимчук, д-р техн. наук

О.А. Кряжич, канд. техн. наук

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, г. Київ, Україна

КУСОЧНО-ПОЛИНОМИАЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ОБРАЖНЫХ ФУНКЦИЙ

Oleksandr Trofymchuk, Doctor of Technical Sciences

Olha Kriazhych, PhD in Technical Sciences

Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

PIECEWISE POLYNOMIAL APPROXIMATION OF GULLY FEATURES

Розглянуто підхід до вирішення задач кусково-поліноміальної апроксимації з застосуванням методу Дж. Зойтендейка. Запропоновано застосування методу можливих напрямків для вирішення задач чебишевського наближення з додатковими обмеженнями. Наведено алгоритм вирішення подібних задач для реалізації методу за допомогою обчислювальної техніки. Розглянуто можливі аспекти практичного застосування та зроблено висновки.

Ключові слова: функція, поліном, апроксимація, наближення, нерівність.

Рассмотрен подход к решению задач кусочно-полиномиальной аппроксимации с применением метода Дж. Зойтендейка. Предложено использование метода возможных направлений для решения задач чебышевского приближе-

ния с дополнительными ограничениями. Приведен алгоритм решения подобных задач для реализации метода с помощью вычислительной техники. Рассмотрены возможные аспекты практического применения и сделаны выводы.

Ключевые слова: функция, полином, аппроксимация, приближение, неравенство.

The paper examines an option piecewise polynomial approximation using the application method "possible directions" by author's G. Zoutendijk. The method of the possible directions for solving Chebyshev approximation with additional restrictions. The algorithm of solving such problems for the implementation of the method with computations using computing technology. The possible aspects of practical application. The conclusions are made.

Key words: function, polynomial, approximation, approximation, disparity.

Постановка проблеми. Огляд моделей лінійного програмування доводить, що ці моделі не завжди адекватні реальним ситуаціям. Так, при лінійному підході часто ігноруються такі явища, як адекватність моделі, раціональність та інші. Часто обмеження, що застосовуються при побудові моделі, призводять до нелінійного формулювання задачі, тобто знаходження мінімального чи максимального значення функції при нелінійних обмеженнях.

Особливо актуальною постає задача апроксимації складних функцій під час роботи з програмами, що дозволяють візуалізувати на картах зони ураження сильнодіючими отруйними речовинами (СДОР), інструменти моделювання дозволяють наносити ці зони на карти і схеми у вигляді кола, півкола або сектора, який має кутові розміри і радіус, рівний глибині зараження. Зона фактичного зараження, здебільшого, має форму еліпса, включається у зону можливого зараження. Така візуалізація не дає картини, що є наближеною до реальності, адже є різні особливості місцевості, і хмара СДОР не буде чітким еліпсом чи колом. Наприклад, якщо на шляху хмари буде річка, хмару СДОР частково потягне за течією. Високі будівлі і споруди на шляху СДОР також частково розірвуть контур. Якщо відбувся викид речовини, що тяжіє до низу, заповненими будуть низини, що значно простягатимуться в боки від еліпса чи кола зони на карті подій, визначеної як зона ураження. Тобто особа, що приймає рішення (ОПР) з ліквідації техногенної аварії, отримує не точну інформацію про її розповсюдження.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Слід зазначити, що питання апроксимації функцій поліномами свого часу широко були досліджені В.О. Василенком [1], В.К. Дзядиком [2], Б.О. Поповим [6], Ю. Люком [5] та іншими українськими і зарубіжними вченими. Проте метод Дж. Зойтендейка [4] розглядався дуже мало з причин важкості розрахунків за цим методом. У наш час, коли навіть персональні комп'ютери дозволяють вирішувати складні задачі, цей метод є цікавим для подальших досліджень та застосування у практичній роботі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Застосування широко розповсюджених градієнтних методів може бути неефективним у задачах «яружною» цільової функції, тобто коли лінії цільової функції сильно витягнуті (мають форму еліпсів) у межах оптимальної точки. Подолання такого випадку передбачено в методах можливих напрямків, серед яких є метод Дж. Зойтендейка. Загальна ідея підходу полягає у виборі мінімально можливого напрямку пошуку у граничній точці x_k , з врахуванням всіх обмежень та кута зі спрямуванням антиградієнта в цій точці.

Мета статті. Метою роботи є представлення варіанта опису апроксимації функції з використанням методу Дж. Зойтендейка для застосування його у вирішенні задачі чебишевського наближення з додатковими обмеженнями для опису яружних функцій, що дозволить деталізувати розповсюдження хмар небезпечних речовин при моделюванні можливої техногенної аварії на пересіченій місцевості.

Виклад основного матеріалу. Функції із сильно витягнутими лініями у межах оптимальної точки можна уявити як дно яру, русла річки з певною крутизною стінок, положистістю при зниженні дна яру уздовж твірної та шириною дна. Саме дно може бути прямим або звивистим і являє собою підмножину точок, де поділ на існуючі і неіснуючі змінні зникає, отже, з будь-якого напрямку функція змінюється повільно.

Якщо точка x_k знаходиться на межі припустимої області X , то будь-який малий крок $\alpha_k > 0$ в напрямку антиградієнта за методами градієнтного спуску може призвести до неприпустимої точки ($x_k \notin X$).

Розглянемо задачу апроксимації деякої функції.

Нехай на проміжку $[a, b]$ задана безперервна обмежена функція $f(x)$. Нас цікавить кусково-поліноміальна функція $P(x) \in C^1(a, b)$, яка найкращим чином наближує $f(x)$ за підходом Чебишева. Виразом $C^1(a, b)$ означуємо клас функцій, безперервних на відрізьку $[a, b]$ разом з першою похідною. Явно, що для $P(x)$ матиме місце таке представлення:

$$\begin{cases} f_1(x) & x \in [a, C_1] \\ f_2(x) & x \in [C_1, C_2] \\ \dots\dots\dots \\ f_s(x) & x \in [C_s, b] \end{cases} \quad (1)$$

Точки $a = C_0 < C_1 < C_2 < \dots < C_s < C_{s+1} = b$ будемо вважати невідомими.

Функції $f_i(x)$, $i = \overline{1, S}$ є поліноміальними зі ступенем не менше 2. Тобто наведена задача у випадку, якщо $f_i(x)$, має однаковий ступінь і є задачею побудови сплайн-функції з фіксованими вузлами [7].

Задача побудови $P(x)$ зводиться до кількох завдань побудови поліномів найкращого наближення $f_i(x)$ у розумінні підходу Чебишева до функції $f(x)$ для $x \in [C_i, C_{i+1}]$ ($i = \overline{0, k}$). Цей факт виходить з принципу оптимальності Беллмана. Саме тому достатньо розглянути задачу побудови полінома найкращого наближення до $f(x)$ на деякому інтервалі. Цей поліном повинен ще задовольняти умови, що забезпечують відповідну гладкість $P(x)$.

Нехай задана функція $f(t)$ і деяка дискретна множина точок:

$$E = \{Y_0, Y_1, \dots, Y_{N+1}\} \in [a, b]$$

$$Y_0 = a, \quad Y_{N+1} = b.$$

Треба відшукати поліном заданого ступеня k :

$$\Pi_k(t) = \sum_{i=0}^k x_i t^i,$$

який мінімізує величину $\varepsilon(x) = \max_{t_i \in E} |f(t_i) - \Pi_k(t_i)|$ по усіх x з області $\Delta \subset E_{n+1}$, де Δ визначається:

$$\Delta = \left\{ x \in E_{n+1} : f^{(i)}(a) = \Pi_k^{(i)}(a); f^{(i)}(b) = \Pi_k^{(i)}(b); i = \overline{0, 1} \right\}.$$

Якщо прийняти, що $t_j^i = a_{ij} \mid i = \overline{0, k}; j = \overline{0, n+1}$, то задача, що розглядається, буде еквівалентною наступній задачі лінійного програмування [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \varepsilon \\ \sum_{i=0}^k a_{ij} x_i - \varepsilon \leq f(Y_i) \\ -\sum_{i=0}^k a_{ij} x_i - \varepsilon \leq -f(Y_i) \\ \sum_{i=0}^k a_{i,0} x_i = f(Y_0) \\ \sum_{i=0}^k a_{i,n+1} x_i = f(Y_{n+1}) \\ \sum_{i=0}^k i \cdot a_{i-1,0} x_i = f'(Y_0) \\ \sum_{i=0}^k i \cdot a_{i-1,n+1} x_i = f'(Y_{n+1}) \\ \varepsilon \geq 0; j = \overline{1, n} \end{array} \right. \quad (2)$$

Специфіка наведеної задачі лінійного програмування полягає у тому, що матриця обмежень $A = (a_{ij})$, $i=0, k$; $j=0, n+1$ має прямокутний вигляд і кількість рядків домінує над кількістю стовпців, $K \ll N$. Тому для вирішення поставленої задачі обрано метод можливих напрямків Дж. Зойтендейка [4]. Через те, що метод передбачає наявність нерівності, то умова виразу (2) буде розписана як дві нерівності і на майбутнє буде припущено, що всі обмеження (2) мають вигляд нерівностей.

Тепер безпосередньо звернемося до методу можливих напрямків Дж. Зойтендейка та представимо алгоритм вирішення поставленої задачі.

Нехай нам дана довільна задача лінійного програмування:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \sum_{j=1}^k d_j x_j \\ \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j \leq b_i \\ x_j \geq 0, i = \overline{1, P}; j = \overline{1, k} \end{array} \right. \quad (3)$$

Як і всі методи лінійного програмування, градієнтний метод вимагає відшукування точки, яка задовольняє обмеження задачі лінійного програмування. Позначимо її $X^0 = (x_1^0, \dots, x_k^0)$. Тоді для X^0 виконується:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0 \leq b_i, \\ x_j^0 \geq 0 \quad i = \overline{1, P}; j = \overline{1, k}. \end{array} \right. \quad (4)$$

На відміну від симплексного і двоїстого методів [3], вирішення задачі лінійного програмування X^0 може й не бути базисною точкою, що значно спрощує вирішення задачі. У цьому дослідженні припустимо, що така точка нам відома. Тоді ірраціональна процедура знаходження рішення задачі (3) зводиться до наступного:

а) з точки X^0 обираємо напрямок S , за яким величина $\sum_{j=1}^k d_j S_j$ має найбільше значення і вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$ задовольняє обмеження $\sum_{j=1}^k P_{ij} S_j \leq 0, i = \overline{1, P_1}$ ($P_1 \leq P + K$), де матриця $P = (P_{ij})$ складена з умов матриці обмежень (3), які для точки X^0 виконуються як рівняння, тобто для матриці P маємо:

$$\sum_{j=1}^k P_{ij} x_j^0 = b_i, \quad i = \overline{1, P_1},$$

додаючи сюди й умову невід'ємного невідомого. Після обрання напрямку S , обираємо довжину кроку λ для переходу в наступну точку X^1 , виходячи з умови, що X^1 повинна задовольняти (4);

б) вибір величини λ здійснюємо з відношення:

$$\lambda = \left\{ \min \frac{b_i - \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0}{\sum_{j=1}^k a_{ij} S_j} \mid \sum_{j=1}^k a_{ij} S_j > 0, \quad i = 1, P \right\};$$

в) будуємо точку $X^1 = X^0 + \lambda S$, яка задовольняє умови (4). Величина, на яку збільшилася лінійна форма задачі (3), дорівнює $\lambda \sum_{j=1}^k d_j S_j$;

г) повторюємо пункти а) і б) відносно точки X^1 та отримуємо X^2 . Це повторюється доти, поки не буде існувати напрям, для якого величина $\sum d_j S_j$ стає від'ємною. Цей факт доводить, що немає точки, яка задовольняє (4), в якій лінійна форма набувала б значення попередньої форми. Тому точка, на якій зупинився процес, буде вирішенням задачі (3).

Для побудови алгоритму слід більш детально зупинитися на виборі напрямку S . Знаходження вектора $S = (S_1, \dots, S_k)$ зводиться до знаходження рішення наступної задачі математичного програмування:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^k d_j S_j &\rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^k P_{ij} S_j &\leq 0, \quad (i = \overline{1, P_1}), \end{aligned} \tag{5}$$

до якої, як правило, додають ще одне обмеження (нормалізацію) на вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$. Для дослідження обираємо обмеження:

$$\sum_{j=1}^k S_j^2 \leq 1. \tag{6}$$

Але можливі й інші варіанти нормалізації: а) $-1 \leq S_j \leq 1$; б) $S_j \leq 1$, коли $d_j \geq 0$; $S_j \geq -1$, коли $d_j < 0$.

Будь-яка з нормалізацій має свої особливості. Так, (6) призводить до більшого обсягу робіт над кожною з ітерацій, проте кількість ітерацій менше у порівнянні з іншими типами ітерацій. Оскільки розміри задачі (5)–(6) відносно невеликі, то кількість ітера-

цій для її рішення відносно незначна, що доводить непотрібність громіздких прийомів нормалізації інших типів. Задача (5)–(7) є задачею з одним квадратичним обмеженням. Для її вирішення можна застосувати методи квадратичного програмування, якщо попередньо записати двоїсті задачі означеним задачам. У монографії Дж. Зойтендейка [4] запропоновано один із підходів для розв'язання цієї задачі, який ґрунтується саме на основах теорії двоїстості і використовує прямий алгоритм симплекс-методу.

Оскільки застосовуючи запропонований метод на практиці дуже важко буде вибрати деяку точку X^0 , яка задовольнятиме (4), то замість задачі (3) можна вирішити задачу, яка у деякому сенсі є еквівалентною задачі (3), тобто застосувати метод можливих напрямків до вирішення задач чебишевського наближення з додатковими обмеженнями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^k d_j x_j - M_\xi \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j + \beta_i \xi \leq b_i & i = \overline{1, P} \\ x_j \geq 0, \quad \xi \geq 0 & j = \overline{1, K} \end{cases} \quad (7)$$

де M є великим невід'ємним числом, а величини визначаються системою

$$\beta_i = \begin{cases} 0, & \text{если } b_i \geq 0 \\ -1, & \text{если } b_i < 0, \quad i = \overline{1, P} \end{cases}$$

Припустімо, значення невідомої ξ дорівнює $\xi_0 = \{\max(-b_i) / b_i < 0, \quad i = \overline{1, P}\}$. У зазначеному випадку вектор $X_\xi^0 = (O_1 O, \dots, O_1 \xi_0)$ стане початковим вирішенням задачі (7). А якщо область умов, що задана у (4), є не порожньою, то задача (8) матиме оптимальне рішення, а невідома ξ дорівнюватиме 0. Саме тому в разі отримання від'ємного рішення задачі (7) $X_\xi^{on} = \{X_1^{on}, X_2^{on}, \dots, X_k^{on}, O\}$ ми матимемо й оптимальне рішення задачі (3) $X_{on} = \{X_1^{on}, X_2^{on}, \dots, X_k^{on}\}$.

Враховуючи, що ентропія інформації описується моделлю, яка визначає невизначеність повної групи випадкових подій або випадкових станів $E = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i$, а за змістом являє собою зворотну величину до кількості інформації, можлива деяка кількість n випадкових подій з імовірністю $p_1 \dots p_n$, які не відповідатимуть умовам, що прийняті. Наприклад, число M буде числом з плаваючою крапкою, коли неможна представити нуль для невідомої ξ . Враховуючи, що при розрахунках на обчислювальній техніці отримання нуля залежить від багатьох факторів, то для побудови початкового вирішення задачі (2) можна застосувати додаткові перетворення і розглянути наступну задачу (9).

Перехід від задачі (2) до задачі (8) обумовлюється тим, що значення точок t_i та $f(t_i)$, а також обчислення похідних $f'(a)$, $f'(b)$ завжди мають деяку похибку. Саме тому, замість рівностей (2), можна обмежитися вимогами виконання відповідних умов нерівностей:

$$\begin{aligned} |\Pi_k(a) - f(a)| &\leq \alpha_1 \varepsilon, \\ |\Pi'_k(a) - f'(a)| &\leq \alpha_2 \varepsilon. \end{aligned}$$

Аналогічно будуються умови для точки b . Величини α_1, α_2 додатні та обрані залежно від необхідної точності виконання нерівностей.

Вибір початкового вирішення для системи (8) можна отримати таким чином.

Візьмемо $x_i = 0, i = 0, K$. Значення ε визначаємо за формулою

$$\varepsilon^0 \left\{ \max \frac{-f(Y_i)}{a_{i,\varepsilon}} \mid f(Y_i) < 0, i = \overline{0, N+1} \right\},$$

де $a_{i,\varepsilon}$ – коефіцієнт при ε ($a_{i,\varepsilon} = -1, -\alpha_1, -\alpha_2$).

У цьому випадку точка $X^0 = \left\{ \underbrace{0_1 0_2 \dots 0}_{k+1} \varepsilon^0 \right\}$ буде задовольняти обмеженням задачі

(8), тобто її можна означити як початкову точку.

$$\left\{ \begin{array}{l} -\varepsilon \rightarrow \max \\ \sum_{i=0}^k a_{ij} x_i - \varepsilon \leq f(Y_j) \\ -\sum_{i=0}^k a_{ij} x_i - \varepsilon \leq -f(Y_j) \\ \sum_{i=0}^k a_{i,0} x_i - \alpha_1 \varepsilon \leq f(Y_0) \\ -\sum_{i=0}^k a_{i,0} x_i - \alpha_1 \varepsilon \leq -f(Y_0) \\ \sum_{i=0}^k a_{i,N+1} x_i - \alpha_1 \varepsilon \leq f(Y_{N+1}) \\ -\sum_{i=0}^k a_{i,N+1} x_i - \alpha_1 \varepsilon \leq -f(Y_{N+1}) \\ \sum_{i=1}^k i \cdot a_{i-1,0} x_i - \alpha_2 \varepsilon \leq f'(Y_0) \\ -\sum_{i=1}^k i \cdot a_{i-1,0} x_i - \alpha_2 \varepsilon \leq -f'(Y_0) \\ \sum_{i=1}^k i \cdot a_{i-1,N+1} x_i - \alpha_2 \varepsilon \leq f'(Y_{N+1}) \\ -\sum_{i=1}^k i \cdot a_{i-1,N+1} x_i - \alpha_2 \varepsilon \leq -f'(Y_{N+1}) \\ \varepsilon \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, N \end{array} \right. \quad (8)$$

Таким чином, вирішуючи задачу (8) методом можливих напрямків, можна отримати вирішення задачі найкращого наближення поліномом $\Pi_k(x)$ функції $f(x)$ на $[a, b]$

Практична цінність такого наближення дозволить розглядати випадки нелінійних обмежень нерівностей для побудови методом найскорішого спуску деякої зони яружної функції. Як приклад можна розглянути аварію на хімічному виробництві.

Виробничий майданчик ПАТ «Концерн «Стирол»» (м. Горлівка, Донецької області) розташований у безпосередній близькості з ДП «Горлівський хімічний завод», підприємством, яке було зупинене в аварійному режимі майже 12 років тому, з порушенням технологічного регламенту, у результаті чого в технологічних апаратах, сховищах та у

технічних мережах знаходиться за різними підрахунками близько 30 тонн тротилу та декілька сотень тонн високоотруйних речовин.

Моделювання ґрунтується на інформації з відкритих джерел відносно аварійних ситуацій, що виникали на вказаних об'єктах та за підсумками проведених польових досліджень. Для моделювання застосовуються умови, що отримання й оброблення інформації відбувається в режимі реального часу за допомогою запропонованого пакета програм.

Можливий розвиток подій: у результаті спроби несанкціонованого демонтажу одного з технологічних апаратів виробництва тротилу, який уміщував у собі майже 500 кг тротилу, стався вибух, який спричинив руйнацію аварійної виробничої будівлі з викидом уламків на відстань понад 1500 м. Уламками були пошкоджені трубопроводи ПДР аміаку на технологічному блоці № 9 та розгерметизація виходу газоподібного аміаку з дефлегматора на технологічному блоці № 15. При найгіршому розвитку подій може відбутися руйнація ємностей зберігання аміаку, у навколишнє середовище може потрапити до 300 тис. т аміаку. Для ситуації, що аналізується, прийняті умови відносно руйнації однієї з ємностей зберігання аміаку, в якій на час події зберігалось лише 100 т аміаку.

Гідрометеорологічні умови на момент розвитку події: -9°C , вітер північно-східний, 1 м/с. Час виникнення події: березень, робочий день, 16 година 13 хвилин.

Засобами програмного виробу «Прогнозування та оцінка наслідків катастроф з хімічною речовиною на об'єктах збройних сил України» [7] було проведено розрахунок аварії. Візуалізація результатів представлена на рис.

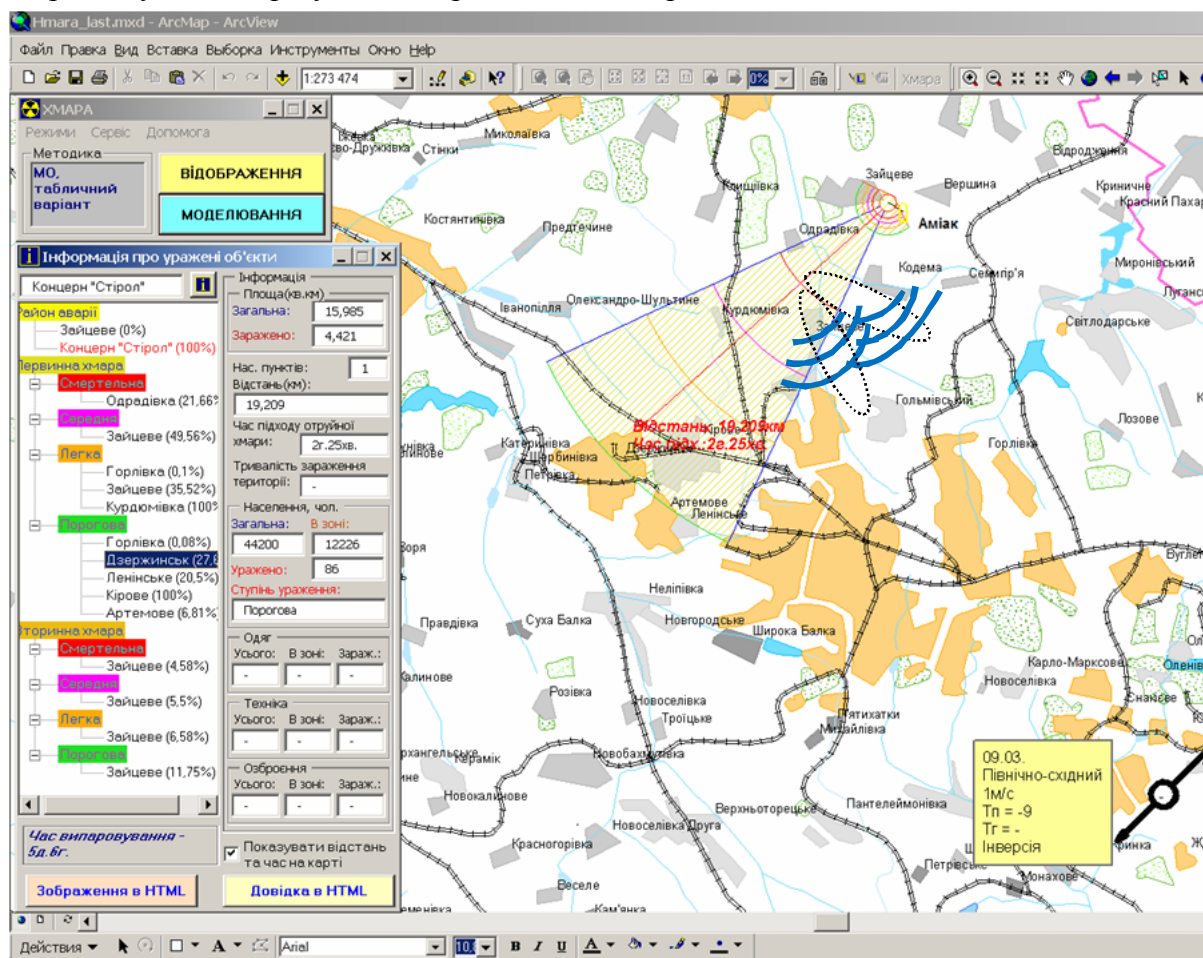


Рис. Візуалізація результатів розрахунку аварії

З рис. видно, що розповсюдження аварії наведено сектором. Проте представлена місцевість – пересічена ярами, річками, невеликими озерами. Враховуючи хімічні властивості аміаку, можна зазначити, що частина аміаку почне активно взаємодіяти з водою і піде за течією річок та осяде у межах вологих місць ярів та на озерах. Тобто у цих випадках слід окреслити саме яружні функції розповсюдження небезпечної хмари і сектор на карті (рис. – овальні окреслення) перетвориться на деяку зону з нелінійними обмеженнями, що можуть у підсумку допомогти описати територію у вигляді еліпсів, які частково входять у межі сектора зони розповсюдження.

Висновки і пропозиції. У статті наведено попередній результат роботи щодо застосування кусково-поліноміальної апроксимації з застосуванням методу можливих напрямків. Враховуючи те, що задачі отримання рівномірних наближень сплайнами з мінімальною погрішністю розвивалися у багатьох роботах лише у теоретичному плані, практична розробка з метою програмної реалізації є необхідною.

У роботі представлено:

- 1) застосування деяких підходів для опису яружних функцій, використаних Дж. Зойтендейком у методі можливих напрямків;
- 2) з метою полегшення вибору початкової точки в розрахунках при градієнтному спуску запропоновано застосування методу можливих напрямків до вирішення задач чебишевського наближення з додатковими обмеженнями.

Слід зазначити, що наведений підхід та первинний алгоритм може буде застосований у сфері підтримки прийняття рішень для вирішення задач, пов'язаних з описом складних об'єктів, розроблення програм управління вибухопожежною технікою у складних умовах. Практичне значення наведеного в роботі полягає у можливості розширення інструментарію опису зон ураження пересічених територій при техногенних аваріях.

Список використаних джерел

1. *Василенко В. А.* Сплайн-функції: теорія, алгоритми, програми / В. А. Василенко. – Новосибірськ : Наука, 1983. – 218 с.
2. *Дзядик В. К.* Введення в теорію рівномірного наближення функцій поліномами / В. К. Дзядик. – М. : Наука, 1977. – 512 с.
3. *Довгий С. О.* Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів / С. О. Довгий, П. І. Бідюк, О. М. Трофимчук. – К. : Логос, 2014. – 419 с.
4. *Зойтендейк Г.* Методи можливих напрямків / Г. Зойтендейк. – М. : Издательство иностранной литературы, 1963. – 178 с.
5. *Люк Ю.* Специальные математические функции и их аппроксимации / Ю. Люк. – М. : Мир, 1980. – 608 с.
6. *Попов Б. А.* Равномерное приближение сплайнами / Б. А. Попов. – К. : Наук. думка, 1989. – 272 с.
7. *Програмний виріб «Прогнозування та оцінка наслідків катастроф з хімічною речовиною на об'єктах ЗС України».* Керівництво з адміністрування. ИКПЛ.466452.009 32. – К. : ІПММС НАНУ, 2008. – 37 с.
8. *Ремез Е. Я.* Основы численных методов чебышевского приближения / Е. Я. Ремез. – К. : Наук. думка, 1969. – 620 с.

УДК 681.518.2

І.І. Боханов, канд. військ. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ВІЙСЬКОВІЙ СПРАВІ

И.И. Боханов, канд. воен. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

Ivan Bokhanov, PhD in Military Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN MILITARY AFFAIRS

Сучасні ГІС у збройних силах повинні знайти широке застосування в оперативній підготовці органів військового керування, інформаційному забезпеченні бойових дій, уточненні топографічних карт, визначенні місцеположення військ і окремих військовослужбовців, а також в інших сферах діяльності військ.

Розвиток сучасної армії, як і розвиток сучасного суспільства в цілому, ґрунтується на введенні і розвитку інформаційних технологій. Важливою складовою більшої частини технологій є засоби оброблення цифрової інформації місцевості із взаємозв'язком з різноманітними даними про ворогуючі сторони і свої війська.

ГІС військового призначення.

Кожне рішення командира будь-якого рівня пов'язане з просторовим розташуванням. Карти з оперативними даними є одними з основних інструментів роботи командирів підрозділів у збройних силах.

Ключові слова: геоінформаційні системи (технології), електронні карти, цифрове поле бою, цифрова карта, навігаційна система, логістика.

Современные ГИС в вооруженных силах должны найти широкое применение в оперативной подготовке органов военного управления, информационном обеспечении боевых действий, уточнении топографических карт, определении местоположения войск и отдельных военнослужащих, а также в других областях деятельности войск.

Развитие современной армии, как и развитие современного общества в целом, базируется на введении и развитии информационных технологий. Важной составляющей большинства технологий являются средства обработки цифровой информации местности с взаимосвязью с многообразными данными о враждующих сторонах и своих войсках.

ГИС военного назначения.

Каждое решение командира какого-либо уровня связано с пространственным расположением. Карты с оперативными данными являются одними из основных инструментов работы командиров подразделений в вооруженных силах.

Ключевые слова: геоинформационные системы (технологии), электронные карты, цифровое поле боя, цифровая карта, навигационная система, логистика.

Modern GIS in the armed forces should be used in the preparation of the operational control of the military, informational support of combat operations, refinement of topographic maps, determining the location of the troops and individual soldiers, as well as in other fields of forces.

The developments of a modern army, as well as the development of modern society, based on the introduction and development of information technology. Most important component is the technology of digital information processing means the area of interconnection of diverse data warring parties and other troops.

GIS for military use.

Every decision of the commander of any level is associated with a spatial location. Maps of the available data is among the main tools work unit commanders in the armed forces.

Key words: geographic information systems (IT), e-cards, digital battlefield, digital maps, navigation system, logistics.

Постановка проблеми. Основні причини, які перешкоджають широкому використанню ГІС у військовій справі, представлені на рис. 1. Аналіз задач, що вирішуються ЗСУ і топографічними підрозділами під час підготовки й у процесі бойових дій, а також засобів і методів їх вирішення, свідчить про серйозні відставання в цих питаннях від армій розвинених країн, зокрема НАТО. Органи управління військами, як і 30–50 років тому, отримують інформацію про місцевість у вигляді топографічної карти за відомою схемою: підготовка заявок до органу, який забезпечує картами, їх опрацювання на складі топокарт, створення відповідного набору карт, доставка, склеювання, нанесення службових написів і обстановки.

Зрозуміло, що такий алгоритм доведення топогеодезичної інформації до штабів і військ не може бути реалізований у жодній автоматизованій системі управління, хоча саме автоматизовані системи здатні істотно підвищити ефективність управління військами і застосування зброї.

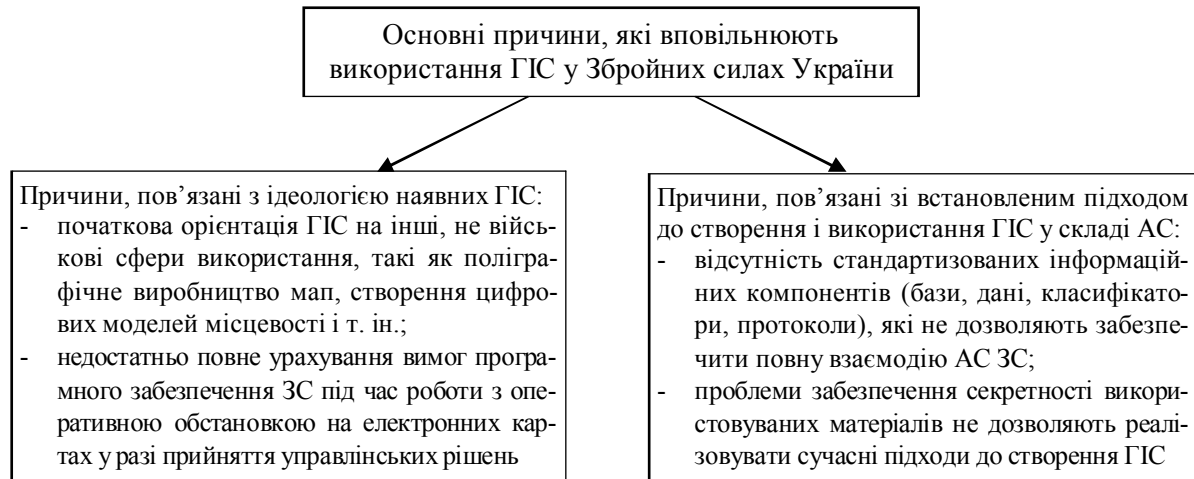


Рис. 1. Перелік проблем, що уповільнюють використання ГІС у Збройних силах України

Між виробниками засобів створення ГІС і військовими користувачами з'явився серйозний прошарок фірм, які працюють над створенням кінцевих систем. Важко уявити собі командира, який працює з програмою в режимі командних рядків та з набором довідкових книг ArcInfo в польовій сумці. Фірми – військові розробники, партнери ERDAS та ESRI вирішують проблему налаштування інтерфейсу і доведення зовнішнього вигляду програми до рівня декількох кнопок, кожна з яких може викликати дуже важливі алгоритми ArcInfo.

Нині кастомізація (налаштування на конкретного користувача) – основна тенденція у військовому секторі ГІС. Готовий комерційний програмний продукт (існує навіть спеціальний термін COTS – Commercial off the Shelf – комерційний з полиці, тобто комерційний готовий продукт) допрацьовується для конкретних і секретних завдань. Зацікавлені військові користувачі можуть звертатись на відповідні веб-сервери компаній або отримати спеціальний CD-ROMGIS, призначений для військових користувачів і розробників ГІС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Починаючи з 90-х років XX століття науково-дослідні організації і підприємства промисловості накопичили достатньо різноманітний досвід створення і використання ГІС у складі автоматизованих систем військового призначення (АС ВП). За цей час були визначені і практично випробувані деякі методичні підходи до побудови ГІС військового призначення, передусім, як засоби ведення оперативної обстановки на електронних картах.

Уже протягом 15 років топографо-інженерний центр армії США розробляє військову геоінформаційну систему, яка отримала назву Combat Terrain Information System (CTIS). Її ядром є цифрова топографічна система підтримки прийняття рішень (DTSS), яка об'єднує функції ГІС і системи оброблення даних дистанційного зондування.

Як ГІС-компонент використовують продукти виробництва компанії ESRI.

Оскільки ESRI – лідер і провідний виробник ГІС, на прикладі розвитку програмних продуктів цієї фірми чітко простежується еволюція в підході до створення ГІС. Якщо раніше це був невеликий набір логічно закінчених програмних продуктів, то нині все більше уваги приділяється розвитку інструментальних засобів, які можна представити як великий набір маленьких цеглинок, з яких можна збудувати складну систему, однак при цьому, опираючись на солідний фундамент (наприклад, ArcInfo), у вигляді стандартів, обмінних форматів, класифікаторів і т. ін.

Для реалізації цих завдань необхідна ГІС, яка дозволяє створювати і підтримувати цифрові моделі оперативної обстановки (ЦМО) для кожної організації і завдання.

Виходячи із можливості розроблення різноманітних програмних ГІС-додатків, необхідних для рішення спеціальних задач, самостійного розширення функціональності

базового програмного продукту, дружнього інтерфейсу, наявності повного комплексу документації, за своїми функціональними можливостями і швидкістю, для розроблення і випуску документів аеронавігаційної інформації, центром аеронавігаційного забезпечення авіації Збройних сил України були обрані ГІС «Карта-2005» (рис. 2) і засіб для розроблення ГІС-додатка на основі Delphi – GISToolkitFree.

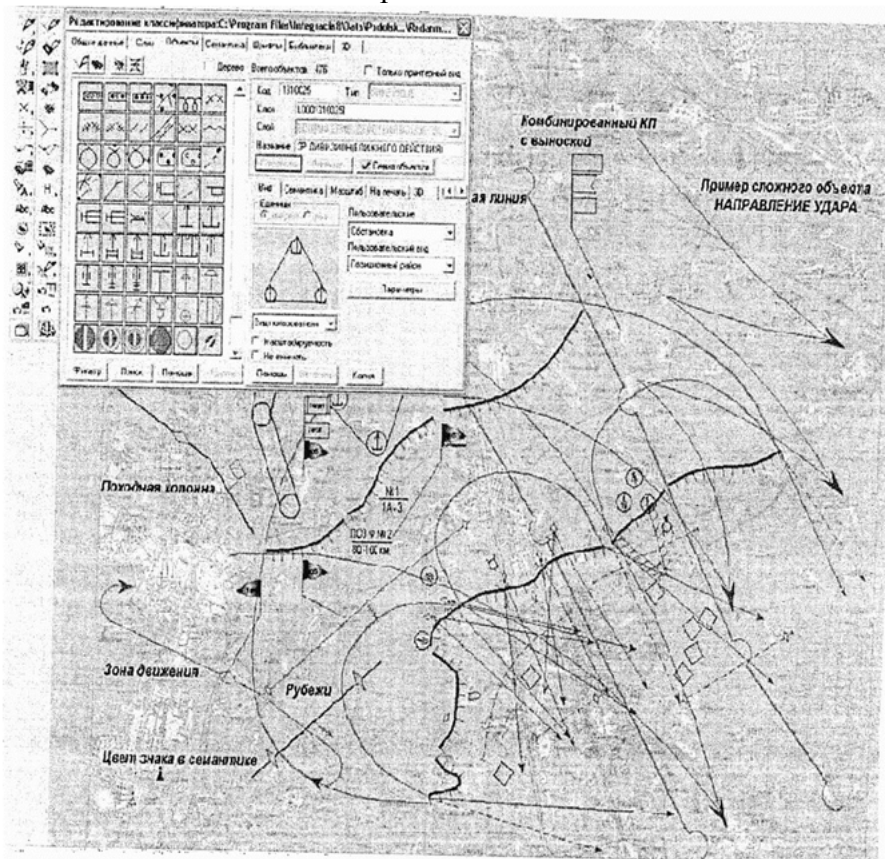


Рис. 2. ГІС «Карта-2005»

Ці програми забезпечують одночасну роботу з кількома видами карт, знімків, матриці висот і властивостей місцевості великої кількості користувачів за допомогою комп'ютерної локальної розподільної сітки. Об'єм картографічних даних може становити десятки терабайт і забезпечувати покриття будь-якої ділянки земної поверхні.

ГІС «Карта-2005» та її більш новітня версія «Карта-2008» дозволяють наносити оперативну обстановку, вести чергові карти, формувати стандартні електронні і графічні документи (рішення командира, польотні завдання і т. ін.), проводити командно-штабні тренування й навчання, аналізувати розташування і прогнозувати подальші дії супротивника.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні значна частина географічної інформації швидко змінюється з часом, що робить неактуальним використання традиційних карт. Швидкість одержання інформації може гарантувати тільки сучасна автоматизована система з можливістю документування наданої інформації.

Сучасні ГІС дозволяють створювати і вести архівні банки даних цифрової картографічної інформації, проводити оброблення запитів, забезпечувати електронними картами, астрономо-геодезичними і гравіметричними даними військові частини і підрозділи.

ГІС забезпечують найбільш повне створення і своєчасне відновлення картографічної основи. Насамперед, це стосується різних типів карт. Крім того, вже нині є можливість одержувати аерофото і космічні знімки об'єктів місцевості з мінімальною затримкою за часом, з можливістю одержання їхніх специфічних характеристик.

Військові спеціалісти, які вивчають питання логістики, також можуть отримати велику користь від ГІС. Задачі логістики пов'язані з дуже складними проблемами розміщення особового складу, техніки, різноманітних служб, матеріальних об'єктів у потрібному місті і в потрібний час. Для розв'язання цих задач ГІС є ключовою технологією.

За допомогою логічного модуля можна керувати парком бойової техніки, оптимізувати розклад і маршрути руху. Маючи оперативну інформацію про розташування противника на вибраному маршруті, командири під час розрахунку можуть задавати перешкоди. Тоді програма автоматично вибере новий маршрут руху з урахуванням критерію мінімальної вартості і розрахує час руху.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є використання і впровадження ГІС у військовій справі, огляд сучасних напрямків і прикладів використання ГІС. Основною вимогою до ГІС військового призначення є перетворення і представлення великих об'ємів різноманітної координатної тимчасової інформації у вигляді, зручному для використання, органам управління військами і зброєю у процесі вивчення, аналізу й оцінювання ситуації, планування операцій, підготовки цілей указаних і польотних завдання.

Виклад основного матеріалу. Однією з наявних і перспективних сфер використання ГІС є військова галузь, під якою розуміються додатки не тільки для частин Міністерства оборони, але і для інших силових структур. Для нашої країни це: Міністерство оборони (розвідка, топографічна служба, види військ), МВС, Прикордонні війська, МЧС, СБУ. Незважаючи на різницю в завданнях цих організацій, їх організаційній структурі, всі вони працюють з картографічною інформацією, причому не тільки з метою перегляду, але й з метою її аналізу. Топографічна служба, крім того, працює ще над створенням і оновленням самої картографічної основи. Не менш важливим також є той факт, що багато завдань, раніше специфічних і унікальних лише для військової галузі, тепер знаходять паралелі і на цивільному ринку. Наприклад, задачі взаємної видимості, аналізу руху по пересічній місцевості, аналіз і оброблення зображень з високим розширенням, надзвичайно актуальних у дослідженні навколишнього середовища, нафтових і газових секторах. Зображення високого розширення, раніше доступні лише військовим, усе частіше знаходять найбільш широке комерційне застосування.

Нині військовим розробникам не прийде в голову починати створення ГІС з програмування виведення графіки на екран комп'ютера, достатньо скористатися набором географічних інструментів уже створених, відкладених і перевірених роками комерційної експлуатації в цивільному секторі. Така постановка задачі прийнята у всьому світі і фінансово себе виправдовує.

І все-таки, як збудувати ГІС – працездатну, ефективну, не дуже дорогу, з простим інтерфейсом? Для цього існують усі необхідні інструменти, розвинуті технології, інструментальне програмне забезпечення, аналогічні закордонні приклади. У компанії ESRI та ERDAS є необхідний набір програм для створення ГІС будь-якого рівня складності, будь-якого рівня інтеграції, але проблема полягає не у великій кількості інструментів, а й у ефективності їх використання, іншими словами інструмент повинен відповідати задачі, що розв'язується.

Крім того, ГІС не можна сприймати тільки як інструмент, ГІС – це п'ять елементів, які повинні розглядатись разом – апаратні засоби ЕОМ, програмне забезпечення, дані, людський ресурс і організаційні задачі. Для успішної реалізації системи всі ці компоненти повинні розглядатись протягом усіх етапів: розроблення, впровадження, навчання людей, експлуатація і подальший розвиток. Тільки такий підхід до військової ГІС може бути запорукою успіху.

Висновки і пропозиції. Ця стаття покликана висвітлити лише основні сфери використання ГІС, переважно для військових завдань, оглянути головні тенденції побудови спеціальних ГІС, визначити приблизну архітектурну побудову ГІС.

Перспективи застосування геоінформаційних технологій у військовій справі достатньо широкі. Їх активний розвиток і впровадження стримується лише відсутністю необхідних засобів на фінансування масштабних робіт щодо створення дійсно сучасних АСУВ і розроблення ГІС військового призначення, а також на закупівлю й адаптацію наявних зразків ГІС-продуктів. І хоча вирішення цих проблем – питання часу, подальше їх відкладання не дозволяє ефективно використовувати потенціал ГІС, а звідси йдуть значні витрати на неефективне управління військами.

Список використаних джерел

1. *Белицкий Б. О.* О создании программных средств для нанесения оперативной обстановки на цифровые карты / Б. О. Белицкий, Э. В. Качан. – К. : ПВП «Задруга», 2005. – С. 185–187.
2. *Боханов І. І.* Використання ГІС у військовій справі / І. І. Боханов // Наочні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід. – 2010. – № 6. – С. 197–208.
3. *Корж М. М.* Основные направления применения геоинформационных технологий в военном деле / М. М. Корж // Информационные технологии и компьютерная инженерия. – 2006. – № 3. – С. 98–101.
4. *Соколов А. В.* Применение геоинформационных технологий (систем) в военном деле / А. В. Соколов, М. Л. Тихонов // Обозреватель – Observer. – 2008. – № 5. – С. 37–45.
5. *Шурман А. В.* О совершенствовании автоматизированных систем управления связью / А. В. Шурман // Военная мысль. – 2004. – № 11. – С. 34–41.

УДК 004.75

А.М. Волокита, канд. техн. наук

А.В. Каплунов, студент

А.Г. Лупинос, студентка

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ПОВЕДІНКИ БАКТЕРІЙ

ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА КЛІЄНТ-СЕРВЕРНУ МЕРЕЖУ

А.Н. Волокита, канд. техн. наук

А.В. Каплунов, студент

А.Г. Лупинос, студентка

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПОВЕДЕНИЯ БАКТЕРИЙ

ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНУЮ СЕТЬ

Artem Volokyta, PhD in Technical Sciences

Artem Kaplunov, student

Albina Lupynos, student

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

USING AN ALGORITHM BACTERIA OF BEHAVIOR TO SIMULATE LOAD ON A CLIENT-SERVER NETWORK

Показано дослідження можливості використання алгоритму поведінки бактерій для моделювання навантаження на клієнт-серверну мережу. Наведено основні параметри відповідності бактерія–користувач. Проведено експериментальні дослідження ефективності запропонованої моделі. Запропоновано подальші модифікації розробленої моделі.

Ключові слова: планування, багатоагентна система, балансування, імітаційна модель.

Показаны исследования возможности использования алгоритма поведения бактерий для моделирования нагрузки на клиент-серверную сеть. Приведены основные параметры соответствия бактерия–пользователь. Проведены экспериментальные исследования эффективности предложенной модели. Предложены дальнейшие модификации разработанной модели.

Ключевые слова: планирование, многоагентная система, балансировка, имитационная модель.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Proposed the researches of the possibility of using the behavior algorithm of bacteria for modeling the load on client-server network. Considered the main parameters of accordance between bacteria and user. Carried out the experimental researches of efficiency of the proposed model. Proposed the further modifications of the developed model.

Key words: *planning, multi-agent system, balancing, simulation model.*

Вступ. Останнім часом у зв'язку з бурхливим розвитком комп'ютерних технологій важливим і перспективним є завдання моделювання навантаження на клієнт-серверну мережу. Для моделювання доступу користувачів до ресурсів мережі можна використувати імітаційні багатоагентні системи. Така модель реалізує алгоритм, за допомогою якого генеруються набори даних, які описують задані характеристики реальної системи, що досліджується. При цьому операції, які виконуються машиною, не мають ніякого відношення до природи і властивостей досліджуваної системи.

Багатоагентні моделі за визначенням є децентралізованими. При цьому складна глобальна поведінка системи є результатом діяльності великої кількості агентів, кожен з яких дотримується простих правил. Багатоагентні моделі дозволяють досліджувати досить широке коло проблем, для яких строгі аналітичні методи виявляються неефективними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянемо деякі з наявних багатоагентних систем, побудованих на основі аналогій з природою.

Модель «теплових жуків». Моделювання агентів і багатоагентних систем є можливим без використання сучасних засобів моделювання. Наприклад, модель колективної поведінки, названа «тепловими жуками» (англ. – Heat Bugs) [1]. У дискретному середовищі, розбитому на клітини, рухаються «жуки», що виділяють тепло, яке поширюється в середовищі.

Середовище має такі характеристики:

– тепло поширюється рівномірно у всіх напрямках зі швидкістю, яка пропорційна різниці температур у сусідніх клітках;

– тепло «зменшується» в кожній клітинці пропорційно кількості тепла цієї клітинки.

Кожен «жук» має власну «ідеальну» температуру середовища, в якій він хоче перебувати, і має сенсор, за допомогою якого може визначити, в якому напрямку температура середовища ближче до його «ідеальної» температури. Це дозволяє «жуку» знайти напрямок до клітини з температурою, яка його більше влаштовує.

Природні обчислення. Останнім часом у межах концепції багатоагентного моделювання інтенсивно розробляються концепції «природних обчислень» (англ. – Natural Computing), які об'єднують математичні методи із закладеними в них принципами прийняття рішень, які аналогічні природним механізмам. Імітація самоорганізації мурашиної колонії (або колонії термітів) становить основу мурашиних алгоритмів оптимізації [2] одного з перспективних методів природних обчислень, в якому колонія мурашок розглядається як багатоагентна система, де кожен агент функціонує автономно за досить простими правилами. Незважаючи на примітивну поведінку агентів, поведінка всієї системи є дуже складною, наближеною до розумної. Мурашині алгоритми засновані на імітації самоорганізації соціальних комах за допомогою використання динамічних механізмів, що забезпечують досягнення системою глобальної мети в результаті низькорівневої взаємодії її елементів за умови використання елементами системи тільки локальної інформації, виключаючи централізоване управління. За результатами досліджень, доцільно використовувати мурашину оптимізацію для таких складних завдань комбінаторики, як завдання комівояжера, оптимізації маршрутів транспорту, розмальовки графу, оптимізації мережевих графіків, календарного планування, оптимізації процесів у розподілених нестационарних системах, наприклад, трафіку в телекомунікаційних мережах та інше.

Імітаційні моделі. Імітаційні моделі, в тому числі і багатоагентні, є зручними для постановки питань типу «що якщо?» [3]. Фактично, завдяки тому, що такі моделі, пере-

важно, містять імовірнісний елемент, то керуючи моделюванням багато разів, часто можна отримати повний розподіл ситуацій, що виникають.

Структура реального процесу певною мірою не залежить від його природи і матеріальної основи. Числа, які одержують у результаті маніпулювання іншими числами за певними абстрактними правилами, можуть точно відповідати числам, що описують конкретні процеси, які відбуваються в реальному світі.

Під час розроблення імітаційної моделі беруться в розрахунок властивості досліджуваного явища, але не на рівні внутрішніх механізмів, які або невідомі, або занадто складні для явного використання, а на рівні загальних характеристик перебігу відповідних процесів.

У плані практичного застосування імітаційні моделі зручні тим, що дозволяють проводити комп'ютерні експерименти, метою яких є вивчення зміни поведінки об'єкта дослідження залежно від змін внутрішніх параметрів та зовнішніх умов. Ці методи дають можливість визначати хід розвитку подій, які з тих чи інших причин неможливо реалізувати в реальному житті. Імітаційне моделювання, за наявності відповідних моделей, дозволяє отримати дані на цілком прийнятному рівні точності.

Побудова імітаційних моделей являє собою достатньо складне завдання, що вимагає, крім знання предметної сфери, ще й високого професіоналізму в галузі програмування [4].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є реалізація моделі на основі імітаційної багатоагентної системи, за допомогою якої можна імітувати використання наявних ресурсів та темпи нарощування потужностей комп'ютерної системи. Така модель дозволить розраховувати доцільність збільшення наявної потужності системи і прогнозувати навантаження на мережу зі збільшенням кількості користувачів.

Під потужністю системи розуміється здатність виконувати за плановий період максимального можливого обсягу обчислень та надання інших обчислювальних послуг при повному і рівномірному використанні комп'ютерних ресурсів.

Зважаючи на вищесказане, розглянемо можливість реалізації моделі, яка імітує колонію бактерій. Харчі в ній відповідатимуть ресурсам системи, а популяція – кількості користувачів. Як кінцевий результат – система дозволить досліджувати параметри користувачів та середовища, за яких система не лише не втратить життєздатність, а й зможе успішно розвиватися.

Виклад основного матеріалу. Під живучістю розуміється здатність системи зберігати і відновлювати виконання основних функцій у заданому обсязі і протягом заданого часу в разі зміни структури системи або алгоритмів і умов її функціонування внаслідок несприятливих впливів.

Живучість систем аналізують і оцінюють на різних рівнях проектування, моделювання та функціонування комп'ютерних систем. Під час дослідження функціональної живучості можуть використовуватися теоретико-ігрові, імовірнісні, графові, матричні моделі [5].

На основі теоретико-ігрових моделей досліджують живучість систем, які функціонують в умовах цілеспрямованого впливу противника, зовнішніх і внутрішніх деструктивних впливів, за яких компенсувати нештатні ситуації, потоки відмов і збоїв можливо лише за рахунок внутрішніх резервів системи і впливу на джерело деструкцій.

Дотримуючись концепції багатоагентних систем, агенти повинні мати декілька важливих характеристик:

- автономність: агенти, хоча б частково, незалежні;
- обмеженість уявлення: у жодного з агентів немає уявлення про всю систему, або система занадто складна, щоб знання про неї мали практичне застосування для агента;
- децентралізація: немає агентів, які керують усією системою [6].

Для проведення експериментальних досліджень запропонованої моделі колонії бактерій реалізовано програмне забезпечення для імітації чашки Петрі, на плоскій поверхні якої розлита в'язка живильна рідина. Їжа концентрована по поверхні нерівномірно. Бактерії рівномірно розподілені по поверхні (рис. 1).

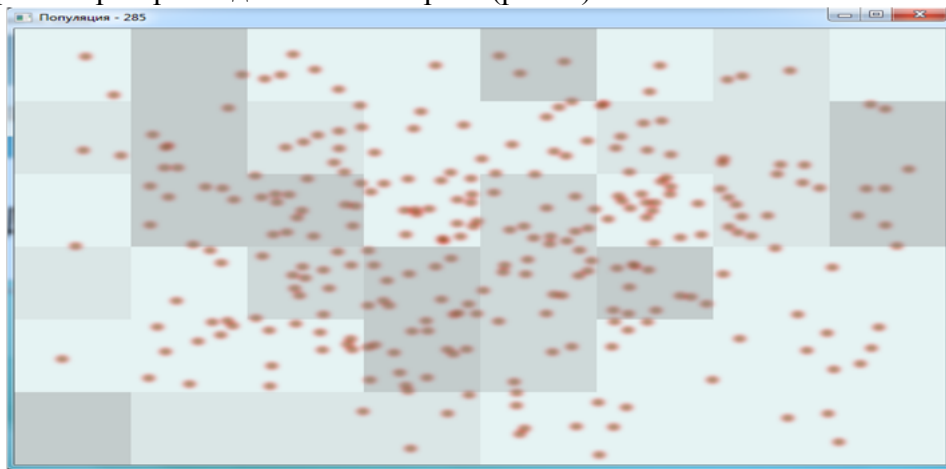


Рис. 1. Моделювання колонії бактерій у чашці Петрі

Поле є замкнутим. Їжа, якою харчується бактерія, вибирається з найближчої клітинки поля. Бактерії отримують енергію з живильного середовища та розмножуються. Накопичена їжа витрачається кожен ітерацію, будь-яка дія (рух, повороти) теж використовує внутрішні ресурси. Бактерії розмножуються безстатевим, простим поділом, після того як досягли певного віку. Крім цього, у бактерії є пункти життя, що зменшуються під час голоду. Вмираюча бактерія залишає після себе певний запас їжі (створюючи «вакантне» місце) (рис. 2).

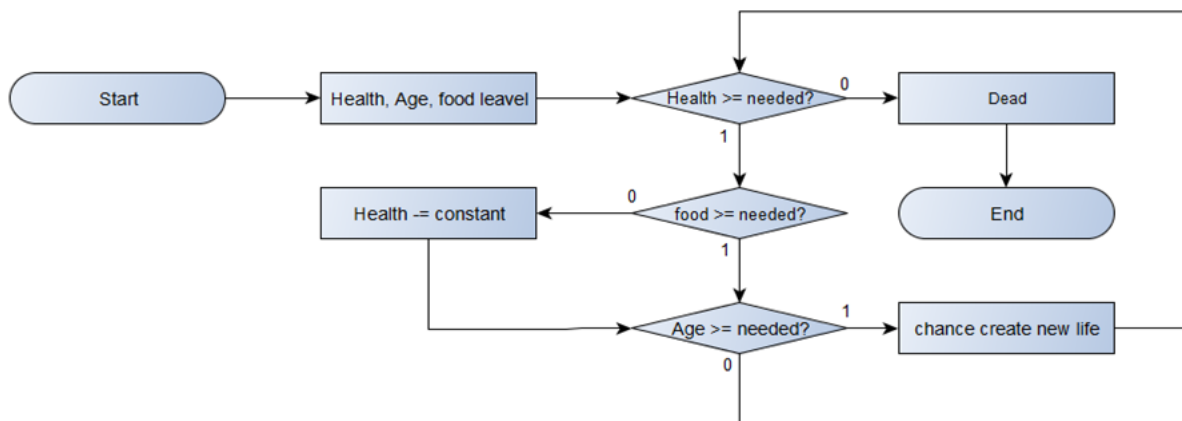


Рис. 2. Алгоритм життєвого циклу бактерії

«Світ бактерій» є динамічним і важко передбачуваним. Наприклад, навіть перебуваючи в клітинці з «ідеальними» умовами, бактерія зменшує ресурси, тому з часом вона може попрямувати в більш комфортну для неї клітинку, оскільки стан середовища змінився.

Анімація моделі «світу бактерій» здійснюється завдяки позначенню рівня харчів у кожній клітині певним кольором. У результаті моделювання видно, що бактерії збираються в групи, у найбільш комфортних для них клітинках. Модель дозволяє простежити поведінку кожної конкретної бактерії, визначити її параметри, координати. Експерименти показують, як зміна локальних параметрів впливає на глобальну поведінку і життєздатність усієї системи.

Розроблений додаток дозволяє досліджувати параметри користувачів та середовища, за яких система не втратить життєздатність (табл.).

Таблиця

Основні характеристики моделі

Змінні параметри	Характеристика бактерії	Характеристика користувача
Пункти життя	Рівень здоров'я	Рівень обслуговування
Вік	Час життя	Час використання сервісів
Накопичена їжа	Кількість життєвих сил	Кількість потрібних ресурсів
Координати	Місце знаходження	Місце підключення

Модель враховує, що користувач, який не отримує необхідної кількості ресурсів (харчів), буде невдоволений рівнем обслуговування, при тому, що чим більша нестача, тим швидше накопичується невдоволення (зменшуються пункти життя), а отже, користувач швидше відмовиться від обслуговування. І навпаки, користувач, який отримує достатню кількість ресурсу, пробуде в системі максимально довго і з більшою імовірністю буде використовувати додаткові сервіси (бактерія розмножиться). Тобто можливо враховувати ризики втрати користувачів (рис. 3).

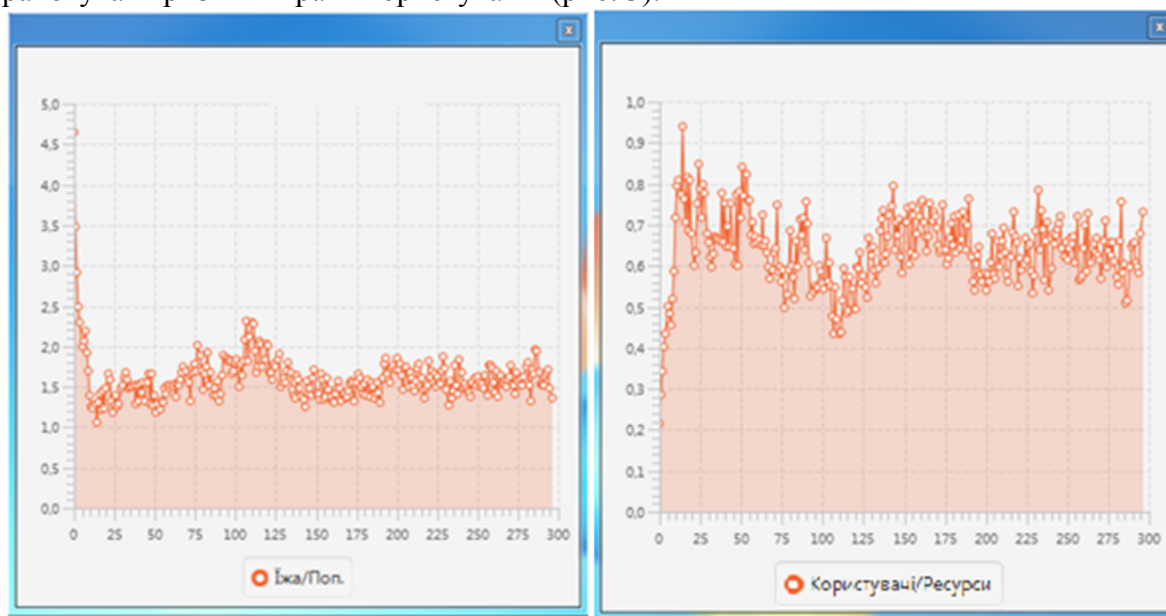


Рис. 3. Графіки залежності між ресурсами системи

За допомогою цієї моделі можна аналізувати збільшення кількості користувачів та, відповідно до результатів аналізу, коригувати плани нарощування потужностей комп'ютерної системи.

Висновки і пропозиції. У роботі запропоновано використання алгоритму поведінки бактерій для імітації навантаження на розподілену комп'ютерну систему при різних кількостях і параметрах користувачів.

Показано, що використання запропонованого алгоритму для моделювання навантаження на клієнт-серверну мережу дозволяє аналізувати доцільність збільшення/зменшення кількості ресурсів в умовах зміни кількості користувачів.

Реалізована модель є перспективною для подальших модифікацій. Одним із можливих нововведень є створення бактерій декількох типів. Кожен тип буде відповідати певній категорії користувачів, які можуть відрізнятися величиною необхідного ресурсу або ж орієнтовним часом перебування у системі. Можливе створення спеціального типу бактерій, які будуть вести націлену підривну діяльність. Такі зміни відкривають шляхи для більш гнучкого та глибокого аналізу модельованої системи.

Список використаних джерел

1. Борщев А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика / А. В. Борщев // ExponentaPro. – 2004. – № 3–4. – С. 38–47.
2. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы / С. Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70–75.
3. Lustick I. PS-I: A user-friendly agent-based modeling platform for testing theories of political identity and political stability // J. Artificial Societies and Social Simulations. – 2002. – Iss. 5, № 3.
4. Ситник В. Ф. Імітаційне моделювання : навч. посіб. / В. Ф. Ситник, Н. С. Орленко. – К. : КНЕУ, 1998. – С. 25–34.
5. Michael Wooldridge, An Introduction to Multi-Agent Systems, John Wiley & Sons Ltd, 2002, paperback, 366 p.
6. Liviu Panait, Sean Luke: Cooperative Multi-Agent Learning: The State of the Art. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. – 2005. – 11(3). – P. 387–434.

УДК 621.396.2.019.4:621.391.254

С.В. Зайцев, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПАРАМЕТРИЧНА АДАПТАЦІЯ ТУРБОКОДІВ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

С.В. Зайцев, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ТУРБОКОДОВ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Serhii Zaitsev, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

PARAMETRICAL ADAPTATION OF TURBOCODES UNDER A PRIORI UNCERTAINTY

Запропоновано метод параметричної адаптації турбокодів за умов впливу навмисних завад, які призводять до виникнення невизначеності у процесі декодування турбокодів. Сутність методу полягає в адаптивному виборі параметрів турбокоду з використанням апріорної та апостеріорної інформації декодера турбокоду за рахунок мінімізації середнього ризику. Запропоновані результати можна використати для підвищення достовірності систем передачі інформації, які функціонують в умовах впливу потужних навмисних завад.

Ключові слова: турбокоди, адаптація, алгоритми декодування.

Предложен метод параметрической адаптации турбокодов в условиях воздействия преднамеренных помех, которые приводят к возникновению неопределенности в процессе декодирования турбокодов. Сущность метода заключается в адаптивном выборе параметров турбокода с использованием априорной и апостериорной информации декодера турбокода за счет минимизации среднего риска. Предложенные результаты можно использовать для повышения достоверности систем передачи информации, которые функционируют в условиях воздействия мощных преднамеренных помех.

Ключевые слова: турбокоды, адаптация, алгоритмы декодирования.

A method of parametric adaptations turbocodes under the effect of jamming, that give rise to uncertainties in the decoding process of turbocodes. The essence of the method lies in the choice of parameters adaptive turbocode using a priori and a posteriori information decoder turbocode by minimizing the average risk. The proposed results can be used to improve the reliability of data transmission systems, which operate under the action of powerful jamming.

Key words: turbocodes, adaptation, decoding algorithms.

Постановка проблеми. Основним режимом роботи безпроводових систем передачі інформації спеціального призначення є режим роботи в умовах впливу потужних навмисних завад, які здатні значно знижувати характеристики достовірності передачі інформації. Основними видами завад, які найбільш часто реалізуються в системах постановки навмисних завад, є: шумова загороджувальна перешкода, шумова завада в частині смуги і завада у відповідь, моделі яких представляють обмежений по смузі частот адитивний білий гауссівський шум (АБГШ) [1]. Як метод захисту від навмисних

завад застосовують метод псевдовипадкової перебудови робочої частоти та корегувальні коди, такі як коди циклічні коди, коди БЧХ, Ріда-Соломона та інші.

Найбільш ефективними серед всього класу корегувальних кодів є турбокоди (ТК). За енергетичною ефективністю ТК поступаються теоретичному граничному значенню для швидкості кодування $R = 1/3$ лише 0,5 дБ [2]. Турбокоди застосовуються в системах мобільного зв'язку третього покоління 3G (cdma2000, cdma2000 1xEV-DO, cdma2000 1xEV-DV, UMTS), четвертого покоління 4G (LTE), у системах зв'язку з далеким космосом CCSDS для передачі телеметричної інформації з космічних апаратів, у системах супутникового цифрового телебачення DVB-RCS [3–8].

Застосування ТК у безпроводових системах спеціального призначення, які функціонують в умовах впливу навмисних завад, розглянуто не досить повно. Вимагає розгляду питання застосування адаптивних турбокодів в умовах впливу навмисних завад, які б змінювали свої параметри залежно від стану каналу для забезпечення заданих характеристик достовірності передачі інформації.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [9–10] досліджуються схеми адаптації сигнально-кодових конструкцій (зміна позиційності сигналу та швидкості кодування завадостійкого коду) систем WiMax та LTE за первинними параметрами залежно від відношення сигнал-шум у каналі передачі. При цьому розглядаються канали з адитивним білим гауссівським шумом, Релеївськими замираннями, Райсовськими замираннями та замираннями Накагамі. В роботах інших авторів [11–14] адаптація відбувається теж за рахунок зміни позиційності сигналу та швидкості кодування, але вже за вторинними параметрами – залежно від значень відношення сигнал-шум розраховуються значення ймовірності помилки для різних схем модуляцій сигналу та здійснюється порівняння цього значення з заданими, і залежно від результатів порівняння здійснюється вибір необхідної сигнально-кової конструкції.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Недоліком зазначених схем адаптації є те, що первинним параметром при адаптації є відношення сигнал-шум, а також те, що вони не враховують при адаптації результати декодування, що може призвести до неточності прийняття рішень, особливо за умов потужних завад.

Мета статті. Метою статті є розроблення методу параметричної адаптації турбокодів за умов впливу навмисних завад за рахунок мінімізації середнього ризику з використання априорної та апостеріорної інформації декодера турбокоду.

Виклад основного матеріалу. При знаходженні оптимальних (раціональних) динамічних систем, функціонуючих в умовах впливу випадкових завад, застосовують статистичні критерії якості, за допомогою яких оцінюють середні значення вихідних характеристик для великої кількості реалізацій процесів на входах системи. Як приклади таких статистичних критеріїв якості можна навести такі: відношення потужності сигналу до потужності шуму або енергії сигналу до спектральної щільності шуму на виході приймача; величина середнього квадрата помилки оцінки деякої фізичної величини; ймовірність помилок під час перевірки різних гіпотез; середній час до ухвалення рішення із заданою ймовірністю помилок при нефіксованому часі спостереження випадкових вхідних величин.

Синтез оптимальних (раціональних) систем при випадкових вхідних діях зводиться до вибору параметрів або виду систем, що мінімізують або максимізували відповідні статистичні критерії якості [15].

Нехай послідовність на виході кодера ТК має вигляд: $\bar{X} = (\bar{X}^c, \bar{X}^n)$, де $\bar{X}^c = \bar{U}$ – систематичний вихід кодера, а $\bar{X}^n = (\bar{X}^{n1}, \bar{X}^{n2})$ – перевіірочні виходи кодера ТК розмірності v , де v – загальна кількість перевіірочних символів кожного рекурсивного систе-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

матичного згорткового коду. Передбачається, що канал зв'язку дискретно-неперервний і має ідеальну імпульсну характеристику $h_c(t)=1$, внаслідок чого сигнал спотворюється тільки присутністю білого гауссівського шуму. З виходу каналу послідовність символів подається на декодер ТК (рис.) кожної ітерації декодування: $\bar{Y}^1 = (L_c \bar{Y}^{C1}, L_c \bar{Y}^{П1})$ – для декодера 1, де $\bar{Y}^{П1} = (\bar{Y}^{П11}, \dots, \bar{Y}^{П1v})$, а $\bar{Y}^2 = (L_c \bar{Y}^{C2}, L_c \bar{Y}^{П2})$ – для декодера 2, де $\bar{Y}^{П2} = (\bar{Y}^{П21}, \dots, \bar{Y}^{П2v})$. У цьому випадку $\bar{Y}^{C1} = \bar{Y}^C, \bar{Y}^{C2}$ – послідовності систематичних символів з урахуванням відповідної операції перемеження, а L_c – параметр «канальної надійності», що характеризує «зашумленість» каналу передачі інформації [16]. У наведеній схемі можуть бути використані перемежувачі різних видів, наприклад, псевдо-випадковий перемежувач/деперемежувач, S -випадковий, діагональний і т. ін.

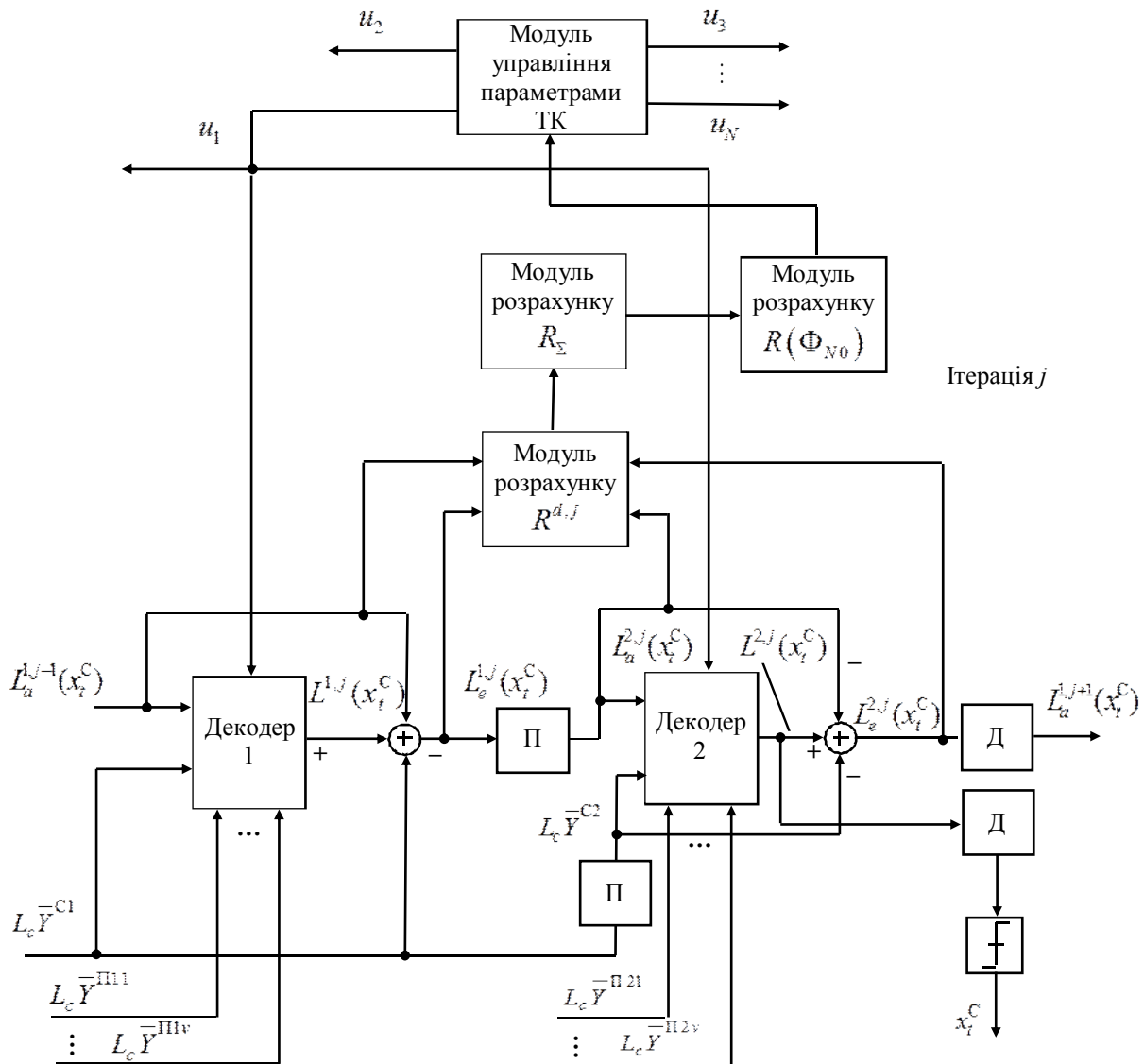


Рис. Структурна схема адаптивного декодера турбокоду

Розглянемо більш докладно роботу декодерів 1, 2 на j -й ітерації декодування по декодуванню t -го біта, $j \in \overline{1, I}, t \in \overline{1, N}$, де I – загальна кількість ітерацій декодування, N – загальна кількість біт у переданому блоці даних. Структурна схема декодера турбокоду з модулями розрахунку критеріїв ризику $R^{d,j}, R_\Sigma, R(\Phi_{N0})$ і модулем управління пара-

метрами ТК, який формує множину рішень вибору параметрів ТК $U = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_N)$, що передаються до кодера й декодера ТК, показана на рис. Як параметри ТК, які адаптуються до середовища передачі, розглядаються поліноми рекурсивних систематичних згорткових кодів $(1, g_1 / g_0)$, алгоритми перемеження (регулярні або псевдовипадкові), кількість біт у блоці N , швидкість кодування турбокоду R , алгоритми декодування (Map, Max Log Map, Log Map), кількість ітерацій декодування I .

Нехай x_t – це переданий t -й біт, а y_t – прийнятий t -й біт, який спотворений впливом білого гауссівського шуму. Оскільки у каналах з підвищеним рівнем шуму на прийомній стороні приймаються рішення в умовах невизначеності, то «м'яке» рішення або логарифмічне відношення функцій правдоподібності (ЛВФП), що розраховує декодером 1 на j -й ітерації, визначається таким вираженням [16]:

$$L^{1,j}(x_t | y_t) = \ln \frac{P(y_t | x_t = +1)}{P(y_t | x_t = -1)} + \ln \frac{P(x_t = +1)}{P(x_t = -1)} = L_a^{1,j}(x_t) + L^{1,j}(y_t | x_t), \quad (1)$$

де $L^{1,j}(y_t | x_t)$ – ЛВФП, що виходить завдяки виміру y_t на виході каналу при чергуванні умов, що може бути переданий $x_t = +1$ або $x_t = -1$, а $L_a^{1,j}(x_t)$ – апіорне ЛВФП біта даних x_t . Для спрощення рівняння (1) може бути переписане таким чином:

$$L^{1,j}(x_t) = L_c^{1,j}(y_t) + L_a^{1,j}(x_t) + L_e^{1,j}(x_t), \quad (2)$$

де $L_c^{1,j}(y_t)$ – параметр «канальної надійності», $L_e^{1,j}(x_t)$ – апостеріорне ЛВФП біта даних x_t .

Далі розраховується апостеріорне ЛВФП біта даних $x_t - L_e^{1,j}(x_t)$:

$$L_e^{1,j}(x_t) = L^{1,j}(x_t) - L_c^{1,j}(y_t) - L_a^{1,j}(x_t). \quad (3)$$

Перемежувач перетворить апостеріорне ЛВФП $L_e^{1,j}(x_t)$ в апіорне ЛВФП $L_a^{2,j}(x_t)$: $L_a^{2,j}(x_t) = f_1(L_e^{1,j}(x_t))$, що подається на декодер 2. Декодер 2 виконує такі обчислення для одержання апостеріорного ЛВФП біта даних $x_t - L_e^{2,j}(x_t)$:

$$L_e^{2,j}(x_t) = L^{2,j}(x_t) - L_c^{2,j}(y_t) - L_a^{2,j}(x_t). \quad (4)$$

Після операції депереження $L_a^{1,j+1}(x_t) = f_2(L_e^{2,j}(x_t))$ величина $L_a^{1,j+1}(x_t)$ використовується як апіорна для декодера 1 ітерації $j+1$. Далі здійснюються обчислення аналогічні (3) і (4).

Після виконання необхідної кількості ітерацій, або у випадку примусової зупинки ітеративної процедури декодування, виносяться «тверді» рішення про декодовані символи:

$$x_t^C = \begin{cases} 1, & \text{если } L(x_t^C) \geq 0 \\ 0, & \text{если } L(x_t^C) < 0 \end{cases}$$

Результати імітаційного моделювання показали, що якщо у процесі декодування змін знака у значеннях $L_a^{d,j}(x_t^C)$ й $L_e^{d,j}(x_t^C)$, де d – поточний декодер ТК, $d \in \overline{1,2}$, ітерації j не відбувається, то після кожного наступного декодера значення ЛВФП про переданий біт будуть або зменшуватися (якщо був переданий біт «0»), або збільшуватися (якщо був переданий біт «1»). Після виконання заданої кількості ітерацій декодування виносяться «тверде» рішення про декодований біт. Може виникнути ситуація (внаслідок великого значення дисперсії шуму в каналі), що після виконання процедур ітеративного декодування всіма декодерами кількість змін знака значень апіорної $L_a^{d,j}(x_t^C)$ й апо-

стеріорної інформації $L_e^{d,j}(x_t^C)$ на останньому декодері останньої ітерації не дорівнює нулю. Подібні ситуації приводять до виникнення помилок декодування.

Розглянутий вище показник ризику (невизначеності) R будемо використовувати для оцінювання якості процесу декодування в умовах впливу навмисних завад. При обчисленні значення показника ризику будемо враховувати зміни знака значень апіорної $L_a^{2,j}(x_t^C)$ й апостеріорної інформації $L_e^{2,j}(x_t^C)$ декодера 2 ітерації $j, j \in \overline{1, I}$, у процесі декодування всього блоку даних розміром N .

Насправді існують три події про прийняття рішень при декодуванні декодером $d, d \in \overline{1, 2}$, ітерації декодування $j, j \in \overline{1, I}$ біта інформації:

1) подія A_1 . Змін знака у значеннях $L_a^{d,j}(x_t^C)$ й $L_e^{d,j}(x_t^C)$ ітерації j не відбувається ($\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^C)) = \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^C))$), $L(x_t^C) \geq 0$. Прийняте «тверде» рішення, що був переданий біт $x_t^C = 1$;

2) подія A_2 . Змін знака у значеннях $L_a^{d,j}(x_t^C)$ й $L_e^{d,j}(x_t^C)$ ітерації j не відбувається ($\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^C)) = \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^C))$), $L(x_t^C) < 0$. Прийняте «тверде» рішення, що був переданий біт $x_t^C = 0$.

3) подія A_3 . Знак значення апіорної $L_a^{d,j}(x_t^C)$ й знак значення апостеріорної інформації $L_e^{d,j}(x_t^C)$ ітерації j не дорівнює нуля ($\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^C)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^C))$). Можуть виникнути помилки декодування.

Показник ризику для декодера $d, d \in \overline{1, 2}$, ітерації декодування $j, j \in \overline{1, I}$, обчислюється за допомогою такої процедури:

$$\sum_{d=1}^2 R^{d,j}(t+1) = R^{d,j}(t) + 1,$$

якщо $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^C)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^C))$, $t \in \overline{1, N}$. (5)

Чим частіше збільшуються значення показника ризику R , тим частіше з'являються неправильно декодовані біти, що приводить до погіршення достовірності прийому інформації.

Сумарний показник ризику R_Σ визначається сумою показників ризику для всіх ітерацій декодування:

$$R_\Sigma = \sum_{j=1}^I R^{d,j}. \quad (6)$$

При параметричній адаптації будемо виконувати послідовно два алгоритми: перший алгоритм – для розрахунку показника ризику для декодера $d, d \in \overline{1, 2}$, ітерації декодування $j, j \in \overline{1, I}$, другий – для адаптивного вибору параметрів турбокоду.

Алгоритм 1.

Формування матриці апіорних значень функцій правдоподібності про передані біти LA розміру $1 \times N$ для всіх декодерів $d, d \in \overline{1, 2}$, всіх ітерацій декодування $j, j \in \overline{1, I}$.

$$LA = [L_a^{d,j}(x_1^C) \quad L_a^{d,j}(x_2^C) \quad \dots \quad L_a^{d,j}(x_N^C)]. \quad (7)$$

Розрахунок $L^{d,j}(x_t^C)$, $t \in \overline{1, N}$ для всіх біт блоку довжиною N , всіх декодерів $d, d \in \overline{1, 2}$, всіх ітерацій декодування $j, j \in \overline{1, I}$.

Формування матриці L розміру $1 \times N$ для всіх декодерів d , $d \in \overline{1,2}$, всіх ітерацій декодування j , $j \in \overline{1,I}$.

$$L = [L^{d,j}(x_1^C) \quad L^{d,j}(x_2^C) \quad \dots \quad L^{d,j}(x_N^C)]. \quad (8)$$

Обчислення $L_e^{d,j}(x_t^C)$, $t \in \overline{1,N}$ для всіх біт блоку довжиною N , всіх декодерів d , $d \in \overline{1,2}$, всіх ітерацій декодування j , $j \in \overline{1,I}$.

Формування матриці апостеріорних значень функцій правдоподібності про передані біти LE розміру $1 \times N$ для всіх декодерів d , $d \in \overline{1,2}$, всіх ітерацій декодування j , $j \in \overline{1,I}$.

$$LE = [L_e^{d,j}(x_1^C) \quad L_e^{d,j}(x_2^C) \quad \dots \quad L_e^{d,j}(x_N^C)]. \quad (9)$$

Формування матриці L^* розміру $1 \times N$ для всіх декодерів d , $d \in \overline{1,2}$, всіх ітерацій декодування j , $j \in \overline{1,I}$.

$$L^* = [L_a^{d,j}(x_1^C)L_e^{d,j}(x_1^C) \quad L_a^{d,j}(x_2^C)L_e^{d,j}(x_2^C) \quad \dots \quad L_a^{d,j}(x_N^C)L_e^{d,j}(x_N^C)]. \quad (10)$$

Виконання циклу: якщо $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^C)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^C))$, то $R^{d,j}(i+1) = R^{d,j}(i) + 1$, $R_\Sigma = \sum_{j=1}^I \sum_{d=1}^2 R^{d,j}$, $t \in \overline{1,N}$ для всіх біт блоку довжиною N , всіх декодерів d , $d \in \overline{1,2}$, всіх ітерацій декодування j , $j \in \overline{1,I}$.

Далі розглянемо алгоритм 2. Сутність алгоритму 2 полягає у виборі параметрів турбокоду залежно від накоплених значень ризиків декодування n блоків даних.

Нехай U – множина можливих рішень вибору параметрів турбокоду. Множина U складається з елементів u_1, u_2, \dots, u_n , а рішення полягає у виборі за наявною інформацією (даним спостереження x) однієї з можливих альтернатив u_j , $j = 1, 2, \dots, n$. Тобто рішення u_j є функцією від x – $u_j(x)$. Розглянемо багатокроковий процес отримання нової інформації x і ухвалення рішень u вибору параметрів турбокоду. На кожному n -му кроці ми отримуємо деяку сукупність даних спостереження x_n (ця сукупність може мати довільну природу – x_n може бути скалярною величиною, вектором і т. д.), яка залежить від параметрів стану об'єкта управління λ_n , що характеризують ситуацію або стан системи і таких, що впливають на наслідки рішень, які приймаються. Як дані спостереження x_n розглядається множина сумарних ризиків R_Σ для n блоків даних. Використовуючи знову отримані і наявні раніше спостереження x_n, x_{n-1}, \dots , ми приймаємо рішення u_n , яке залежить і від раніше прийнятих рішень u_{n-1}, u_{n-2}, \dots . Якщо $n = 1, 2, \dots, N$, то повні сукупності даних спостереження x , рішень u і параметрів λ можуть бути описані векторами

$$x = X_N = \{x_1, \dots, x_N\}; u = U_N = \{u_1, \dots, u_N\}; \lambda = \Lambda_N = \{\lambda_1, \dots, \lambda_N\}, \quad (11)$$

а їх сукупності для будь-якого числа кроків

$$X_n = \{x_1, \dots, x_n\}; U_n = \{u_1, \dots, u_n\}; \Lambda_n = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}. \quad (12)$$

Повний статистичний опис багатокрокового процесу прийняття рішень вибору параметрів турбокоду для будь-якої сукупності рішень u_1, u_2, \dots , що приймаються, досягається завданням послідовності умовних розподілів ймовірності (для визначеності щільності ймовірності) для спостережуваних даних $x_n - p_n(x_n | \Lambda_n, X_{n-1}, U_{n-1})$ і параметрів $\lambda_n - p_n(\lambda_{n-1} | \Lambda_n, U_{n-1})$ для усіх значень $n = 1, 2, \dots, N$.

При виборі рішення u_n можна використати тільки ті спостереження, які отримані до n -го кроку включно, тобто $\{x_1, \dots, x_n\} = X_n$. Тому правило ухвалення рішення u_n вибору параметрів турбокоду в загальному випадку задається ймовірнісною мірою з щільністю

$$\varphi_n = \varphi_n(u_n | X_n, U_{n-1}), \tag{13}$$

залежною від X_n і від сукупності попередніх рішень $\{u_1, \dots, u_{n-1}\} = U_{n-1}$.

Знаходження оптимальної послідовності рішень для багатокрокової процедури або оптимального правила прийняття цієї послідовності рішень вибору параметрів турбокоду виконується методами динамічного програмування в їх загальній стохастичній формі [15], які за певних обмежень на введені вище умовні розподіли ймовірності для λ_n і x_n і функцію втрат $g(u, \lambda, x) = g(U_n, \Lambda_n, X_n)$ (під функцією витрат розуміється величина сумарного ризику R_Σ , отримана при декодуванні блоку довжиною N) призводять до ефективно обчислювальної процедури знаходження оптимальних рішень вибору параметрів турбокоду. При цьому, як і у будь-якій басівській задачі, оптимальне правило рішення виходить нерандомізованим і визначається системою рекурентних співвідношень, що містить послідовність мінімізацій і усереднювань для величин апостеріорних ризиків.

Для отримання цих рекурентних співвідношень розглянемо вираз для середнього ризику

$$R(\varphi) = R(\Phi_N) = M\{g(U_n, \Lambda_n, X_n)\}, \tag{14}$$

де $\Phi_N = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N\}$ – сукупність щільностей $\varphi_n = \varphi_n(u_n | X_n, U_{n-1})$, кожна з яких задає правило прийняття рішення на n -му кроці.

Нехай оптимальному правилу прийняття рішення вибору фактора управління параметрами турбокоду відповідає сукупність Φ_{N0} . Тоді мінімальний (басів) середній ризик

$$\begin{aligned} R(\Phi_{N0}) &= \min_{(\Phi_N)} M\{g(U_N, \Lambda_N, X_N)\} = \\ &= \min_{(\varphi_1, \dots, \varphi_{N-1}, \varphi_N)} M\{g(U_N, \Lambda_N, X_N)\} = \\ &= \min_{(\varphi_1, \dots, \varphi_{N-1})} \left[\min_{(\varphi_N)} M\{g(U_N, \Lambda_N, X_N)\} \right] = \\ &= \min_{(\varphi_1, \dots, \varphi_{N-1})} \left[\min_{(\varphi_N)} M\{M\{g(U_N, \Lambda_N, X_N) | X_N, U_N\}\} \right]. \end{aligned} \tag{15}$$

Остання рівність у вираженні (15) відбиває той факт, що математичне очікування можна обчислювати послідовно: спочатку по частині випадкових змінних, від яких залежить функція втрат, а потім – по усіх інших.

Умовне математичне очікування в (15)

$$R_v(U_N, X_N) = M\{g(U_N, \Lambda_N, X_N) | X_N, U_N\} \tag{16}$$

є функцією апостеріорного ризику для сукупності рішень $U_N = \{u_1, \dots, u_N\}$ і даних спостереження $X_N = \{x_1, \dots, x_N\}$. Враховуючи (16) математичне очікування функції втрат

$$\begin{aligned} M\{g(U_N, \Lambda_N, X_N)\} &= M\{R_N(U_N, X_N)\} = \\ &= M\{M\{R_N(U_N, X_N | X_N, U_{N-1})\}\} = \\ &= M\left\{\int R_N(U_N, X_N) \varphi_N(u_N | X_N, U_{N-1}) du_N\right\}, \end{aligned} \tag{17}$$

звідки витікає, що вираз у квадратних дужках в (15) може бути записаний у вигляді

$$\begin{aligned}
& \min_{(\phi_N)} M \left\{ M \left\{ g(U_N, \Lambda_N, X_N) \mid X_N, U_N \right\} \right\} = \\
& = \min_{(\phi_N)} M \left\{ \int R_N(U_N, X_N) \phi_N(u_N \mid X_N, U_{N-1}) du_N \right\} = \\
& = M \left\{ \min_{(\phi_N)} \int R_N(U_N, X_N) \phi_N(u_N \mid X_N, U_{N-1}) du_N \right\} = \\
& = M \left\{ \min_{(\phi_N)} \int R_N(U_N, X_N) \right\},
\end{aligned} \tag{18}$$

оскільки мінімум інтеграла

$$\int R_N(U_N, X_N) \phi_N(u_N \mid X_N, U_{N-1}) dU_N$$

досягається для функції

$$\phi_N = \phi_{N0} = \phi_{N0}(u_N \mid X_N, U_{N-1}) = \delta(u_N - u_{N0}(X_N)), \tag{19}$$

де $u_{N0}(X_N)$ – значення u_N , залежне від X_N , при якому досягається мінімум підінтегрального виразу $R_N(U_N, X_N)$. Це значення і визначає оптимальне баєсове (нерандомізоване) правило рішення на N -му кроці і знаходиться з умови

$$R_N(U_{N0}(X_N), U_{N-1}, X_N) = \min_{(u_N)} R_N(U_N, X_N) = \tilde{R}_N(U_{N-1}, X_N), \tag{20}$$

де

$$\begin{aligned}
\tilde{R}_N(U_{N-1}, X_N) &= \min_{(u_N)} R_N(U_N, X_N) = \min_{(u_N)} M \left\{ g(U_N, \Lambda_N, X_N) \mid X_N, U_N \right\} = \\
&= \min_{(u_N)} \int g(U_N, \Lambda_N, X_N) p(\Lambda_N \mid X_N, U_{N-1}) d\Lambda_N
\end{aligned} \tag{21}$$

– апостеріорний ризик, мінімізований вибором u_N на останньому кроці, $p(\Lambda_N \mid X_N, U_{N-1})$ – апостеріорна щільність ймовірності сукупності параметрів $\Lambda_N = \{\lambda_1, \dots, \lambda_N\}$. Остання фактично залежить тільки від X_N і $U_{N-1} = \{u_1, \dots, u_{N-1}\}$.

Залежно від порівняння накоплених значень ризиків декодування n блоків даних $R(\Phi_{N0})$ з заданими значеннями $R(\Phi_{N0})_{\text{зад}}$ здійснюється вибір параметрів турбокоду (поліномів рекурсивних систематичних згорткових кодів $(1, g_1/g_0)$, алгоритмів перекодування (регулярні або псевдовипадкові), кількості біт у блоці N , швидкості кодування турбокоду R , алгоритмів декодування (Map, Max Log Map, Log Map), кількості ітерацій декодування I). Задані значення $R(\Phi_{N0})_{\text{зад}}$ отримуються завдяки проведенню статистичного імітаційного моделювання системи з турбокодами в умовах впливу флуктуаційного шуму та навмисних завад для заданих значень середньої ймовірності бітової помилки декодування $P_{\text{дек}}$.

Для оцінювання ефективності запропонованого методу параметричної адаптації турбокодів в умовах апріорної невизначеності, яка утворюється за умов впливу навмисних завад, було проведено імітаційне моделювання. Моделювалась система з запропонованим методом параметричної адаптації турбокодів та система, яка була запропонована в роботах [9–14]. Результати моделювання показали, що запропонований метод параметричної адаптації турбокодів в умовах апріорної невизначеності дозволяє підвищити показники достовірності передачі інформації.

Висновки і пропозиції. Запропоновано метод параметричної адаптації турбокодів за умов впливу навмисних завад, які призводять до виникнення невизначеності у процесі декодування турбокодів.

Сутність методу полягає в адаптивному виборі параметрів турбокоду з використанням апіорної та апостеріорної інформації декодера турбокоду за рахунок мінімізації середнього ризику.

Запропоновані результати можна використати для підвищення достовірності систем передачі інформації, які функціонують в умовах впливу потужних навмисних завад.

Список використаних джерел

1. *Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты* / [Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с.
2. *Berrou C. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes* / C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima // Proc. Int. Conf. On Commun., May 1993. – 1993. – P. 1064–1070.
3. *Holma H. HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications* / H. Holma, A. Toskala. – John Wiley & Sons, 2006. – 268 p.
4. *Valenti M. The UMTS turbo code and an efficient decoder implementation suitable for software-defined radios* / M. Valenti, J. Sun // Int. Journal of Wireless Inf. Networks. – 2001. – Vol. 8, № 4. – P. 203–215.
5. *Consultative Committee for Space Data Systems “Recommendations for space data systems, telemetry channel coding”* // BLUE BOOK. – 1998. – May.
6. *3GPP TS 25.212. Multiplexing and Channel Coding (FDD). 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, March 2005.*
7. *Digital Video Broadcasting (DVB): Interaction channel for satellite distribution systems (DVB-RCS)* // ETSI EN 301 790 V1.2. 1 (2000-07). – 2000. – February.
8. *Ergen M. Mobile Broadband. Including WiMax and LTE* / M. Ergen. – Springer, 2009. – 513 p.
9. *Zhenhuan W. Layered Adaptive Modulation and Coding For 4G Wireless Networks* / W. Zhenhuan // Thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Electrical and Computer Engineering. – Waterloo, Ontario, Canada, 2011. – 49 p.
10. *Jihoon K. A Simple SNR Representation Method for AMC Schemes of MIMO Systems with ML Detector* / K. Jihoon, L. Kyoung-Jae, S. Chang Kyung, L. Inkyu // IEEE Transactions on Communications, Vol. 57, No. 10, October 2009. – P. 2971–2976.
11. *Liang Huang J. Adaptive MIMO Systems with Channel State Information at Transmitter* / J. Liang Huang // PhD Thesis, KTH School of Information and Communication Technology, Stockholm, 2009. – 79 p.
12. *Goldsmith A. Variable-rate variable-power MQAM for fading channels* / A. Goldsmith, S. Chua // IEEE Transactions on Communications, vol. 45, no.10, Oct. 1997. – P. 1218–1230.
13. *Alouini S. Adaptive Modulation over Nakagami Fading Channels* / S. Alouini, A. Goldsmith // Wireless Communications, vol. 13, no. 1-2, May 2000. – P. 119–143.
14. *Maaref A. Rate-adaptive M-QAM in MIMO diversity systems using space-time block codes* / A. Maaref, S. Aissa // in Proc. IEEE PIMRC 2004, vol. 4, Sep. 2004. – P. 2294–2298.
15. *Репин В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем* / В. Г. Репин, Г. П. Тартаковский. – М. : Советское радио, 1977. – 432 с.
16. *Woodard J. Comparative Study of Turbo Decoding Techniques: An Overview* / J. Woodard, L. Hanzo // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2000. – Vol. 49, No. 6. – P. 2208–2232.

УДК 001.891.57:004/045

О.В. Заріцький, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ОСНОВ ТЕОРІЇ КОМУНІКАЦІЙ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

О.В. Зарицкий, канд. техн. наук

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВ ТЕОРИИ КОММУНИКАЦИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Oleh Zaritskyi, PhD in Technical Sciences

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

USING BASIS OF COMMUNICATION THEORY FOR DEVELOPING OF PROFESSIONAL ACTIVITY MODELING INFORMATIONAL SYSTEMS

Представлено результати розроблення функціональної моделі процесу комунікацій як основи для побудови інформаційних систем моделювання професійної діяльності людини з використанням базових положень теорії комунікації.

Ключові слова: професійна діяльність людини, теорія комунікацій, функціональна модель, модель «Сутність–Зв'язок», інформаційні системи.

Представлены результаты разработки функциональной модели процесса коммуникаций как основы для построения информационных систем моделирования профессиональной деятельности человека с использованием базовых положений теории коммуникации.

Ключевые слова: профессиональная деятельность человека, теория коммуникаций, функциональная модель, модель «Сущность–Связь», информационные системы.

Results of communication activity functional model development as a basis for creating of modeling information system of professional activity are presented. Functional model was developed using basic principal of communication theory.

Key words: professional activity, communication theory, functional model, entity–relation model, information system.

Постановка проблеми. Аналіз сучасних систем аналізу та оцінки професійної діяльності людини дає підстави стверджувати про наявність певної стагнації в цій галузі досліджень, що пов'язано з багатьма причинами [1]. Наявні системи аналізу робіт (у закордонних державах, переважно, використовують поняття аналіз роботи – job analysis [2]) побудовані на двох основних типах схем аналітичного оцінювання роботи – бально-факторній схемі й аналітичному співставленні та неаналітичних методах. Такі методи, як правило, розглядають роботу або з погляду її порівняння з іншими роботами, або аналізують функціональні області роботи, так звані фактори: відповідальність, творчій потенціал, зміст роботи тощо. Проблема комунікацій розглядається в загальному підході як складова одного з факторів (аспект) у межах всієї роботи, що носить доволі суб'єктивний характер з погляду самого процесу комунікацій у межах професійної діяльності.

Таким чином, узагальнення процесу комунікацій на рівні роботи, а не на рівні кожної операції (задачі), ставить під сумнів валідність результатів оцінювання професійної діяльності, оскільки усереднює в кращому випадку оцінку рівня комунікацій, або ж взагалі збільшує її, якщо експерти роблять акцент на роботу з максимальним рівнем взаємодії в межах діяльності.

Вирішення зазначеної проблеми полягає у формалізації моделі комунікацій, яку можна використовувати як стандарт у процесі оцінювання професійної діяльності та застосовувати на рівні операцій (задач).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія комунікацій є об'єктом дослідження великої кількості наук: етнографія, психологія, лінгвістика, паралінгвістика тощо [3]. Розглянемо найбільш розповсюджені визначення поняття «комунікацій», які знайшли відображення та застосування в різних науках.

Комунікація – від лат. «communicatio» – означає повідомлення, передачу та від «communicare» – робити загальним, спілкуватися, зв'язувати, повідомляти, передавати

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

[3] – науковий термін (відома також як теорія комунікації, наука про комунікації та навіть – комунікологія (Ф.І. Шарков)), розглядається як основа для будь-яких процесів життя людини та суспільства. Згідно з І.П. Яковлевим, під комунікацією як наукою необхідно розуміти наукову дисципліну про місце та роль комунікації у суспільстві, її розвиток і структуру, комунікаційні процеси та їх засоби тощо [4].

Згідно з С.В. Борисньовим, під комунікацією необхідно розуміти соціально обумовлений процес передачі та сприйняття інформації в умовах особистого та масового спілкування за допомогою різноманітних каналів з використанням комунікативних засобів [3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Слід зазначити, що процес комунікацій у роботах учених розглядається з погляду розробки системи загальної класифікації знань про комунікації та побудови загальної теорії комунікації, так би мовити відокремлений від контексту професійної діяльності людини.

Оскільки комунікації є основою будь-якої діяльності людини і розвиваються як у частині каналів, так і в частині засобів, необхідно розглядати модель комунікацій як одну з базових у загальній функціональній моделі професійної діяльності людини. По суті, аналіз та оцінювання професійної діяльності може здійснюватися за допомогою моделі комунікацій, яка пов'язана і є основою всіх інших функціональних областей професійної діяльності: оброблення інформації, прийняття і доведення рішень, контекст праці тощо.

Невирішеною є проблема розроблення методів оцінювання комунікацій у кількісному виразі в межах загальної методики оцінювання професійної діяльності. Частиною загальної проблеми є відсутність формалізованої функціональної моделі комунікацій, яка дозволяла б інтегрувати її в загальну інформаційну модель професійної діяльності. Першими кроками на шляху вирішення проблеми автор пропонує розроблення моделі «Сутність–Зв'язок» з подальшою реалізацією на її основі інформаційної моделі, що дасть змогу перейти до математичного опису предметної галузі.

Мета статті. Метою статті є висвітлення питання побудови функціональної моделі процесу комунікацій як одного з основних елементів професійної діяльності людини за допомогою базових принципів теорії комунікацій.

Виклад основного матеріалу. Класифікація комунікацій за видами представлена різними поглядами залежно від основи класифікації (рис. 1). В історії розвитку теорії комунікацій [2] виділяють такі моделі (рис. 2).



Рис. 1. Класифікація комунікацій



Рис. 2. Моделі комунікацій

Наведені на рис. 2 моделі комунікацій переважно відрізняються несуттєвими елементами та розвивалися, ґрунтуючись на попередніх дослідженнях і моделях. Таким чином, можна виділити основні елементи моделі комунікацій, на основі яких буде побудовано базовий розділ функціональної моделі оцінювання професійної діяльності (рис. 3). Ключова роль у процесі комунікацій належить особі, яка відправляє інформацію. Вона полягає у формуванні ідеї та відборі інформації, призначеної для передачі в комунікаційну мережу. Виконання ролі відправника починається з ідентифікації його ролі в самому процесі та формування значення або суті того, що і чому треба передати в мережу комунікацій (іншій особі або групі).

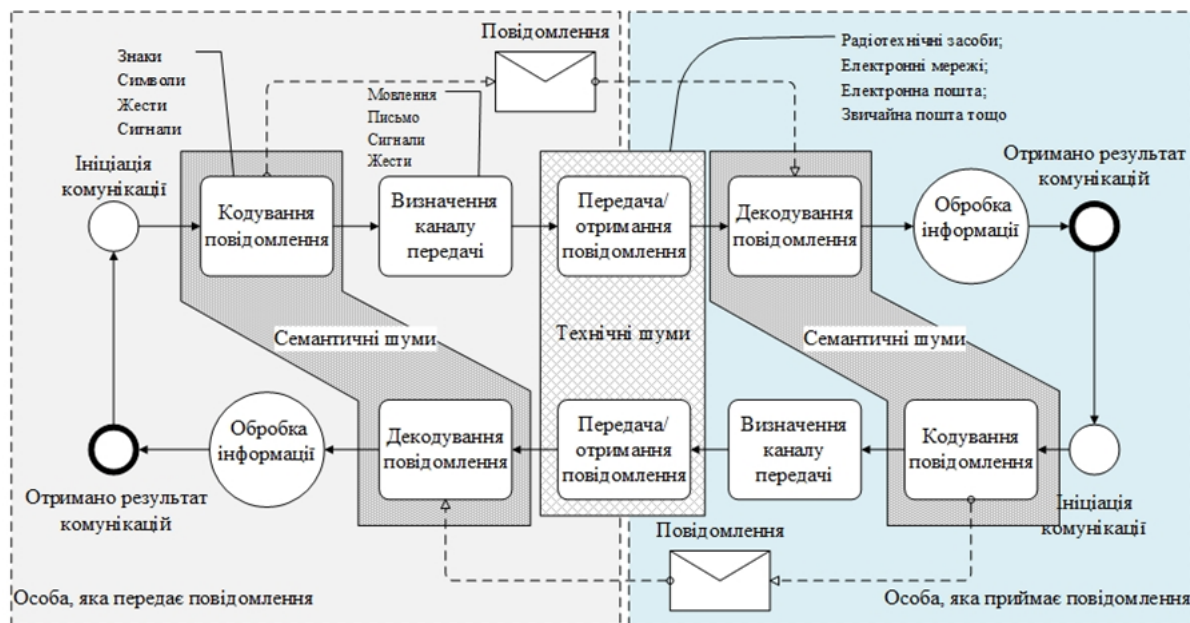


Рис. 3. Модель комунікацій

Етап кодування передбачає трансформацію повідомлення в посилання або сигнал, який може бути переданий за допомогою певного каналу та засобу. Тобто відбувається перетворення інформації за відповідними методами в інформацію іншої форми для забезпечення передачі інформації в доступній для особи, яка її приймає, формі: символи, знаки, жести, сигнали тощо. Таке кодування перетворює ідею у повідомлення.

Для передачі повідомлення також необхідно обрати канал, який буде сумісним з закодованим повідомленням, тобто забезпечити зможу передачі повідомлення. Як канали передачі повідомлень розглядаємо усне мовлення, письмові повідомлення, спеціальні сигнали та жести. Не слід плутати зазначені канали передачі повідомлень з фізично реалізованими каналами: телекомунікаційними, тобто комп'ютерними мережами, електронною поштою, радіотелефонним зв'язком, за допомогою яких закодовані повідомлення можуть бути передані на відстань.

З моменту передачі повідомлення особа, яка є відправником, фактично перестає контролювати передачу інформації й у процес включається інша особа або група осіб, які отримують повідомлення. Починається наступна операція процесу – декодування повідомлення. Якість декодування, як і кодування, залежить від багатьох факторів, наприклад, від рівня знання предметної галузі повідомлення (рівнем спеціальної освіти), досвіду роботи, постійного підвищення кваліфікації тощо.

Модель «Сутність–Зв'язок» [5] комунікації (рис. 4) поєднує основні сутності моделі в межах системи комунікацій.

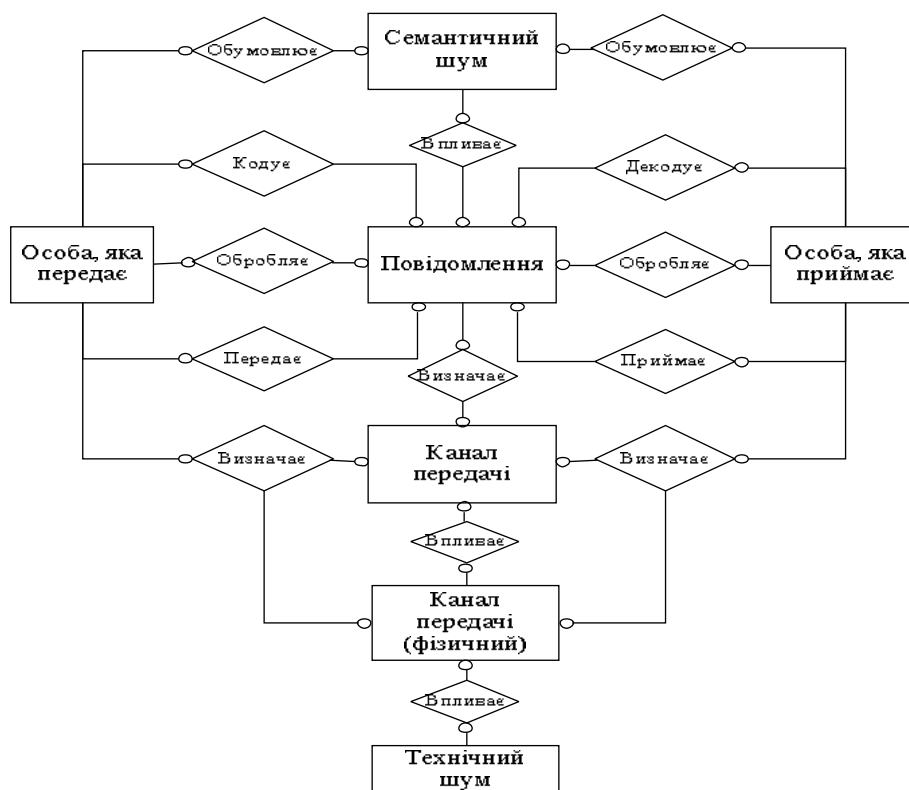


Рис. 4. Модель «Сутність–Зв’язок» комунікації

Слід зазначити, що у моделі Шеннона–Вівера була введена складова «джерело шуму». К. Шеннон розглядав декілька «шумів»: технічні шуми, пов’язані з точністю передачі інформації від відправника до особи, яка його отримувала; семантичні шуми – з інтерпретацією повідомлення порівняно з тим значенням, яке було надіслане відправником. Модель також передбачала розгляд проблеми ефективності, яка відображувала успішність, з якою вдається змінити поведінку у зв’язку з повідомленням, яке було передане. Очевидно, що інтерпретація та проблема ефективності суттєво визначаються досвідом роботи, постійним підвищенням кваліфікації та якістю отриманої спеціальної освіти обох осіб (що передає та, відповідно, одержує повідомлення).

Роботу з інформацією розглядають з погляду важливості операцій з оброблення інформації для виконання задачі, яке може передбачати більше ніж одну операцію з оброблення.

Висновки і пропозиції. У роботі не розглядаються поняття іміджу особи, яка передає повідомлення, та іміджу одержувача, які у 1963 р. ввів Г. Малецькі, ще більше ускладнивши модель Лассвела. Він увів і розглядав їхній взаємовплив, а також вплив одержувача на канали комунікації та на саме звернення та виділив у галузі зворотних зв’язків поняття «тиск та примус», розглядаючи тиск на комунікатора з боку змісту повідомлення та засобів інформації, а останніх, у свою чергу, також і на одержувача повідомлення.

Людина схильна не сприймати інформацію, яка не відповідає її внутрішнім цінностям, або людина, в якій занижена самооцінка, більш піддається переконанню, тобто образ особи, яка передає повідомлення, його особистісні характеристики і соціальне середовище мають великий вплив на ефект комунікації. Ці аспекти відносяться до психологічних характеристик процесу комунікації та практично не відіграють у моделі суттєвої ролі для вирішення завдань моделювання комунікацій, але суттєво впливають на передавача та повинні бути оцінені в межах аналізу професійної діяльності.

Розроблена функціональна модель комунікацій є основою для розроблення інформаційної моделі комунікацій з урахуванням класифікації та оцінки каналів та засобів

передачі інформації та може бути інтегрована в загальну функціональну модель професійної діяльності як одна з її складових.

Список використаних джерел

1. Заріцький О. В. Аналітичний огляд методологій та інформаційних систем моделювання та оцінки професійної діяльності людини / О. В. Заріцький // Збірник наукових праць «Проблеми інформатизації та управління». – К. : НАУ, 2015. – № 1 (49). – С. 32–36.
2. Job analysis manual. Civil service selection. Department of administrative services, human resources division, 2006. – 35 p.
3. Бориснєв С. В. Социология коммуникации : учеб. пособие для вузов / С. В. Бориснєв. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 270 с.
4. Яковлев И. П. Ключи к общению. Основы теории коммуникаций / И. П. Яковлев. – СПб. : Авалон, Азбука-классика, 2006. – 225 с.
5. Peter P. Chen. Entity-Relationship Modeling: Historical Events, Future Trends, and Lessons Learned. – LA 70803: Computer Science Department Louisiana State University Baton Rouge, 1985. – 11 p.

УДК 528.4

І.В. Корнієнко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЭФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КАДАСТРОВОЇ СИСТЕМИ

И.В. Корниенко, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КАДАСТРОВОЙ СИСТЕМЫ

Ihor Korniienko, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF THE AUTOMATED CADASTRAL SYSTEM

Розглянуто проблема оцінювання функціональної ефективності автоматизованих кадастрових систем. Запропоновано показник, який дозволяє порівнювати функціонування різних автоматизованих кадастрових систем.

Ключові слова: ефективність, оцінка, кадастр, автоматизована система.

Рассмотрена проблема оценки функциональной эффективности автоматизированных кадастровых систем. Предложен показатель, который позволяет сравнивать функционирование различных автоматизированных кадастровых систем.

Ключевые слова: эффективность, оценка, кадастр, автоматизированная система.

We consider the problem of estimation of the functional efficiency of automated cadastral systems. Proposed indicator, which allows to compare the performance of the various automated cadastral systems.

Key words: effectiveness, assessment, inventory, automated system.

Постановка проблеми. Питання створення ефективних автоматизованих кадастрових систем (АКС), зокрема, автоматизованої системи Державного земельного кадастру України, продовжують бути актуальними. Нині, незважаючи на розроблені фундаментальні і методологічні основи створення АКС, спробу запровадження в Україні єдиного програмного комплексу ILS LRS, фактично має місце регіональне застосування різних програмних комплексів (ГІС-6, Digitals, ARCGIS тощо), що в кінцевому підсумку впливає на ефективність функціонування системи загалом та обмежує функціональні можливості. При цьому питання пріоритетності у виборі програмного комплексу, на нашу думку, в основному зводиться до його наявності, можливості оновлення законодавчої бази, а відповідно, й алгоритмічних процедур оброблення інформації, а також «звиклості» керівництва та персоналу кадастрових офісів.

З цих міркувань, доцільним є розроблення підходу до оцінювання ефективності функціонування автоматизованих кадастрових офісів (АКО) та проведення досліджень щодо функціонування АКО на різних програмних платформах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фундаментальним дослідженням створення та застосування АКС земельного кадастру в Україні присвячені роботи М.Г. Лихогруда, питання формування вимог до АКС, їх створення, впровадження та розвиток досліджували А.В. Барладин, Ю.Н. Гавриленко, А.С. Даниленко, Н.Н. Калюжний, В.В. Кулініч, В.О. Леонець, А.А. Ляшенко, Л.І. Миколенко, С.Г. Могильний, А.М. Муховіков, Л.Я. Новаковський, Н.В. Сигитова, В.П. Скавронський, М.Г. Ступеня, О.І. Терещук, А.М. Третяк, А.А. Шоломицький, П.Г. Черняга та інші.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на суттєву кількість наукових публікацій і досліджень, присвячених питанням створення та застосуванню автоматизованих систем для цілей кадастрового обліку, недостатньо висвітленим і розробленим залишається питання оцінювання та управління ефективністю функціонування автоматизованих кадастрових офісів.

Мета статті. Розроблення підходу до кількісного оцінювання ефективності автоматизованих кадастрових систем.

Виклад основного матеріалу. Проблему забезпечення ефективного функціонування АКС складають дві основні задачі, що постають перед АКО найвищого рангу ієрархії в цій системі: перша з них – це забезпечення ефективного і злагодженого функціонування всій АКС як цілісної складної системи ієрархічного типу; і друга – забезпечення заданої ефективності функціонування кожного окремого елемента системи – АКО. З урахуванням того, що наповнення баз даних актуальною і достовірною кадастровою інформацією здійснюється на найнижчих (базових) рівнях АКС, важливість другої задачі важко переоцінити. Розглянемо функціонування окремого АКО найнижчого рівня. Вихідна структурна схема АКО, яка здатна виконувати множину функцій Θ_r , зображена на рис. 1.

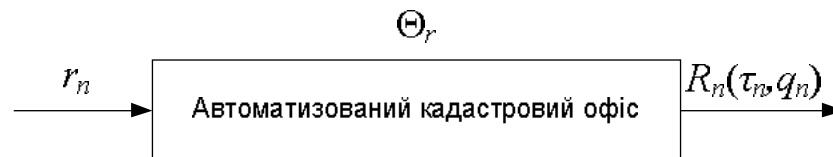


Рис. 1. Вихідна структурна схема АКО

На вхід АКО у випадковому порядку надходить множина заявок (задач) $r_n \in \Theta_r$, $n = \overline{1, N}$. Виходом АКО є множина обслугованих заявок (рішень) $R_n(\tau_n, q_n)$, кожна з яких під час оцінювання ефективності характеризується випадковим часом обслуговування τ_n та випадковою якістю обслуговування q_n . Для всіх заявок визначені вимоги обслуговування

$$\tau_n \leq T_n^{\text{don}}, q_n \geq Q_n^{\text{don}}, n = \overline{1, N},$$

де $T_n^{\text{don}}, Q_n^{\text{don}}$ – допустимі значення цих вимог.

Результати обслуговування заявок утворюють у часі множину 1 і 0 (успіх і невдача) зростаючого розміру M . На основі даних цієї множини оцінка ефективності АКО визначається як

$$P_{\phi}^{\text{AKO}} = \frac{m_1}{M}, \quad (1)$$

де M – загальна кількість заявок, що поступили на вхід АКО, m_1 – чисельність успішно обслугованих заявок з числа M . Таким чином, природним показником функціональної ефективності є ймовірність

$$\Phi = P(\tau \leq T^{don}, q \geq Q^{don}) \tag{2}$$

успішного обслуговування довільної (для чого у формулі пропущено номер заявки n) заявки на обслуговування з множини Θ_r , яка надійшла в довільний момент часу.

Аналізуючи (2), очевидним є обмеженість застосування одержаного виразу для порівняння АКО з різним набором функціональних можливостей Θ_r , перелік яких, здебільшого, залежить від використовуваного програмного комплексу. Так, при порівнянні АКО різних типів (рис. 2) кількість і склад функціональних можливостей може суттєво різнитися (наприклад, $\Theta_r \gg \Theta_k$).

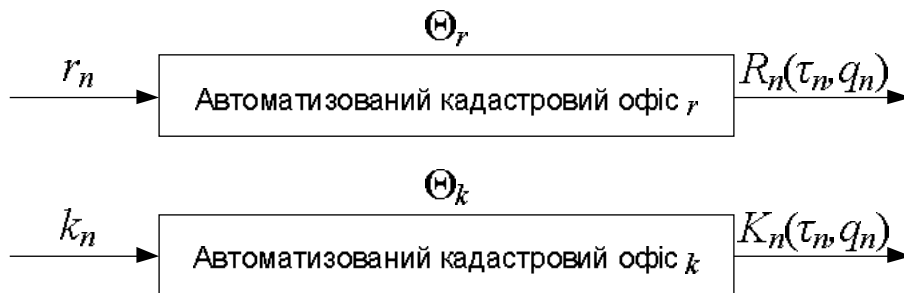


Рис. 2. Схема порівняння АКО з різним набором функціональних можливостей

За цих умов, АКО з меншим переліком простих функціональних можливостей Θ_k може виявитись ефективнішим за АКО з більшим переліком складних Θ_r . Тобто входні заявки k_n , для яких використовуються прості алгоритми оброблення даних, будуть обслуговуватися швидше та безпомилково. В результаті виникає ситуація, коли менш функціональний офіс $АКО_k$ буде оцінений вище за більш функціональний $АКО_r$.

З цього неважко побачити, що під час проведення порівняння АКО з різними функціональними можливостями до АКО всіх типів має висуватися вимога щодо оброблення максимального функціонального набору послуг. Сформулювати ці вимоги можна, об'єднавши множини функції Θ_r^i всіх порівнюваних АКО

$$\Theta_r^\cap = \Theta_r^1 \cap \dots \cap \Theta_r^i \cap \dots \cap \Theta_r^I, \tag{3}$$

де I – кількість типів програмних комплексів. При цьому потік заявок на вході кожного АКО буде належати сформованій множині $r_n \in \Theta_r^\cap$ (рис. 3).

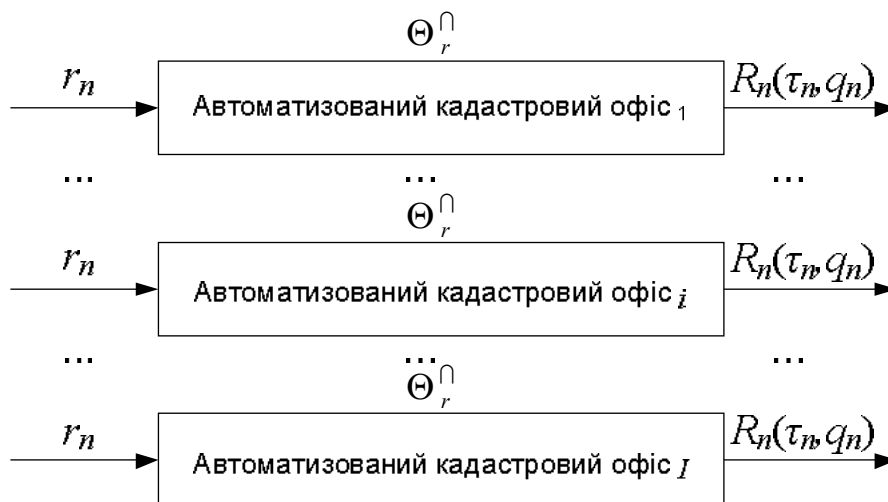


Рис. 3. Схема порівняння АКО з максимізованим набором функціональних можливостей

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Результатом представлення функціональних вимог для програмних комплексів у вигляді (3) є те, що їх функціональна обмеженість буде причиною відмови в обслуговуванні заявки r_n на вході в i -тий АКО. Нарощування кількості відмов заявок (невдач під час обслуговування) m_0 внаслідок функціональної обмеженості програмного комплексу однозначно зменшить показник функціональної ефективності для цього АКО.

При детальному аналізі варіацій оцінки АКО виділяються проблеми, які вимагають детального розгляду, а саме:

1. Нерівнозначність функціональної наповненості різних порівнюваних АКО.

2. Нерівнозначність (а відповідно, різновагомість) заявок, що поступають на вхід одного АКО.

У випадку нерівнозначності функціональної наповненості, наприклад, при порівнянні декількох АКО з різною кількістю функцій, логічно припустити, що оцінка (1) буде вище у того, де більша кількість нехай і неважливих або непотрібних функцій. Проте відсутність заявок від користувачів за цими функціями не вплине на статистичний показник (1), тому ці функції не впливатимуть на оцінку (2). І навпаки, заявки за важливими, але відсутніми функціями одержать відмову, що однозначно відіб'ється у (2). Отже, очевидно, що функціональна нерівнозначність не вплине на оцінку, за умови рівнозначності потоків вхідних заявок, що поступають до різних АКО.

Щодо нерівнозначності (нерівновагомості) заявок, що поступають на вхід одного АКО, втрата однієї більш вагомої заявки має більше відбиватись у (2), ніж менш вагомої. З урахуванням того, що система має обліково-інформаційне призначення й орієнтована як на внутрішніх, так і на зовнішніх користувачів, то справедливо припустити, що важливість заявок визначається кількістю запитів користувачів системи за тим чи іншим класом заявки. Найкраще це видно під час розгляду реалізації концепцій «Кадастр 2014» щодо самоокупності кадастрових систем. Враховуючи, що всі інформаційні послуги кадастрової системи є платними, відмова будь-якій заявці призведе до збитків. Очевидно, що вартість обслуговування заявок нерівнозначна, наприклад, оформлення земельної ділянки та видача акта на праволодіння й інформаційно-довідкова веб-послуга, проте кількість заявок на веб-послуги, зазвичай, суттєво перевищує кількість заявок першого типу, що, в кінцевому підсумку, становитиме переважну частину доходів кадастрового офісу.

Крім того, відмова (незадовільна якість обслуговування) одних заявок може в подальшому призвести до відмови (незадовільної якості обслуговування) інших заявок

$$R_1(\tau \leq T^{\text{don}}, q_1 < Q^{\text{don}}) \rightarrow R_2(\tau \leq T^{\text{don}}, q_2 < Q^{\text{don}}),$$

і таким чином перша заявка впливатиме вдвічі (або більше) разів на оцінку (2), ніж друга заявка.

Наприклад, можна стверджувати, що помилка з певної причини при введенні координат земельної ділянки під час її реєстрації (заявка r_1) набагато вагоміша, ніж відмова у наданні довідкових послуг для зовнішнього споживача щодо відображення цієї ж ділянки в електронній кадастровій карті (заявка r_2), проте для нашого прикладу подія $R_1(q_1 < Q^{\text{don}})$ призведе до однозначного результату $R_2(q_2 < Q^{\text{don}})$ і в кінцевому рахунку – необхідності обслуговування повторної заявки r_3 , за допомогою якої буде усунено помилку $R_1(q_1 < Q^{\text{don}})$, та повторної довідкової заявки r_4 . Загалом це призведе до збільшення інтенсивності потоку заявок λ_r на вході системи, а відповідно, й ускладнить роботу системи.

Отже, з наведених міркувань можна стверджувати, що оцінка (2) є справедливою під час оцінювання АКО, або порівнянні АКО на різних програмних платформах з різним функціональним наповненням і вхідним потоком заявок з різною важливістю.

Не менш важливою задачею є оцінювання функціонування АКС як єдиної системи, де критерієм оцінювання може бути показник її цілісності. Таким показником може виступати інтегральний показник зв'язності структури АКС, розглянутий у [2], який має вигляд

$$F(P_{3B}) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (w_{i,j} \cdot P_{i,j}); 0 \leq F(P_{3B}) \leq 1, \quad (4)$$

де $w_{i,j}$ – коефіцієнти вагомості ліній зв'язку мережі; $P_{i,j}$ – зв'язність між i -тим і j -тим АКО. Коефіцієнти вагомості ліній зв'язку мережі визначаються як

$$w_{i,j} = \frac{\lambda_{ij}}{\sum_{r=1}^D \sum_{s=1}^D \lambda_{rs}}; i = \overline{1, D}; j = \overline{1, D}; r = \overline{1, D}; s = \overline{1, D}; i \neq j; r \neq s,$$

де λ_{ij} – інтенсивність потоку заявок (повідомлень) між i -тим і j -тим АКО; D – загальна чисельність АКО в АКС; r, s – довільні АКО, при цьому очевидно, що

$\sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^D w_{i,j} = 1$. Зв'язність структури АКС $P_{i,j}$ є характеристикою обміну повідомленнями у АКС, яку нескладно обчислити, як показано у [2].

У цьому випадку очевидно, що несумісність різних комплексів АКС через різні протоколи, формати і форми представлення просторових даних у кадастровій базі даних тощо однозначно відіб'ється на інтенсивності потоку λ_{ij} між АКО різного рівня ієрархії, і в кінцевому рахунку – на показнику ефективності всієї АКС.

Експлуатаційні характеристики транспортної мережі АКС можна врахувати з використанням підходу, наведеного в [3].

Висновки і пропозиції. Розглянута проблема є частиною проблеми управління ефективністю функціонування автоматизованих кадастрових систем. Запропонована оцінка функціональної ефективності АКО може використовуватись під час порівняння АКО, побудованих на різних програмних і апаратних платформах, різної архітектури і організаційної структури офісів з метою одержання оптимальних результатів. Для визначення показника функціональної ефективності АКС загалом ми скористалися підходом, застосовуваним до інформаційно-телекомунікаційних мереж, який характеризує ефективність обміну інформацією між її елементами.

Одержана оцінка є універсальною і може застосовуватись до будь-яких автоматизованих кадастрових систем, достатньо повно характеризує роботу системи, проста в обчисленні і використанні та має чіткий фізичний сенс.

Список використаних джерел

1. Кудрицький В. Д. Оцінка і управління ефективністю функціонування автоматизованого командного пункту / В. Д. Кудрицький, Ю. І. Катков, І. В. Корнієнко // Труды академії. – К. : НАОУ, 2005. – № 61. – С. 119–128.
2. Корнієнко І. В. Оцінка ефективності просторово-розподілених телекомунікаційних мереж / І. В. Корнієнко, С. П. Корнієнко // Чернігівський науковий часопис. Серія 2. Техніка і природа : електронний збірник наукових праць. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2011. – № 1(1). – С. 96–101.
3. Корниенко И. В. Оценка эффективности автоматизированной телекоммуникационной сети / И. В. Корниенко, П. И. Чердиченко, С. П. Корниенко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – Уфа : УГУЕС, 2013. – № 1, т. 9. – С. 97–101.

І.В. Корнієнко, канд. техн. наук

С.П. Корнієнко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДИСКРЕТИЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ПІД ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

И.В. Корниенко, канд. техн. наук

С.П. Корниенко, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ihor Korniienko, PhD in Technical Sciences

Svitlana Korniienko, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE GEOINFORMATION SPACE DISCRETIZATION IN THE SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC POLLUTION

Розглянуто проблему автоматизації моделювання і прогнозування електромагнітного забруднення довкілля в геоінформаційному середовищі, наведено способи дискретизації геоінформаційного простору залежно від сценарію моделювання, запропоновано модель комплексного оцінювання електромагнітного забруднення.

Ключові слова: електромагнітне забруднення, дискретизація геоінформаційного простору, прогнозування напруженості електромагнітного поля.

Рассмотрена проблема автоматизации моделирования и прогнозирования электромагнитного загрязнения окружающей среды в геоинформационной среде, приведены способы дискретизации геоинформационного пространства в зависимости от сценария моделирования, предложена модель комплексной оценки электромагнитного загрязнения.

Ключевые слова: электромагнитное загрязнение, дискретизация геоинформационного пространства, прогнозирование напряженности электромагнитного поля.

The problem of automating the modeling and prediction of electromagnetic pollution in GIS environment, given the sampling methods of geo-space, depending on the simulation scenario, the proposed model of integrated assessment of electromagnetic pollution.

Key words: electromagnetic pollution, geoinformation space discretization, predict the electromagnetic field.

Постановка проблеми. Одним із зручних інструментів аналізу і прогнозування електромагнітного забруднення довкілля є геоінформаційні системи. Моделювання здійснюється завдяки створенню (використанню) моделі довкілля, відтворенню джерел електромагнітного випромінювання (ДЕМВ) з їх характеристиками і, безпосередньо, моделюванню поширення електромагнітної енергії та оцінюванню електромагнітного забруднення у колі інтересів. Складність у цьому процесі полягає у проблемності відтворення геоінформаційного простору, адекватного реальному геопростору, в якому саме і відбувається електромагнітне забруднення (ЕМЗ). Модель геоінформаційного простору повинна містити множину тривимірних моделей дискретних і безперервних об'єктів, які можуть впливати на процес поширення електромагнітних хвиль, їх заганяння, відбиття, екранування, інтерференцію, дифракцію тощо. Процес створення подібної моделі стає надскладним через необхідність введення в комп'ютерне середовище великої кількості точних, актуальних, достовірних даних про множину об'єктів геопростору, які, здебільшого, є лише у відповідних галузевих кадастрових організаціях. Ситуацію ускладнює те, що для моделювання, крім геометричних характеристик об'єктів, необхідний опис їх електричних характеристик, яких кадастрові організації не мають. Крім того, при масштабному моделюванні обов'язково необхідним є максимальна автоматизація процесів і алгоритмів моделювання, тому питання автоматизованого відтворення геоінформаційного простору і його підготовка до прогнозування електромагнітного забруднення є актуальним і необхідним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням біологічного впливу електромагнітного випромінювання на організм людини та біосферу в цілому присвячено багато наукових праць зарубіжних, радянських, пострадянських і вітчизняних авторів, серед яких W. Adey, A. Sheppard, M. Blank, E. Goodman, V. Greenebaum, M. Magron, N. Simon, Ю.Д. Думанський, Н.Д. Дев'ятков, В.В. Антіпов, Б.І. Давидов, В.С. Тихончук, П.І. Госьков, В.Н. Беккер, Ю.А. Шамоу, Н.Н. Грачов, В.І. Копанев, А.В. Шакула, А.С. Пресман, А.Ю. Сомов, В.З. Макаров, І.В. Прольоткін, А.Н. Чумаченко, Ю.Г. Григор'єв, О.А. Григор'єв, М.Б. Голант, О.В. Бецький, Є.І. Муратов, Ю.А. Холодов, Н.Н. Лебедева, Л.І. Хейфец та багато інших. Питання комп'ютерного моделювання та кількісного визначення впливу електромагнітного випромінювання досліджували у своїх роботах Г.О. Статюха, Т.В. Бойко, О.В. Вишнівський, М.А. Федонюк, А.А. Федонюк, В.О. Фесюк, С.Г. Панькевич, В.А. Глива, Л.О. Левченко та інші. Проблеми застосування ПС для розв'язування задач оцінювання електромагнітного забруднення територій висвітлювали у своїх роботах О.О. Потапов, В.Н. Довбиш, В.С. Сівков, Ю.М. Сподобаєв, А.Ю. Сомов, В.З. Макаров, І.В. Прольоткін, А.Н. Чумаченко та інші.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У [1; 2] сформульовано підхід до геоінформаційного оцінювання електромагнітного забруднення довкілля, запропоновано алгоритм оцінювання електромагнітного забруднення від множини ДЕМВ. Актуальною проблемою при цьому є адекватне моделювання середовища поширення електромагнітних хвиль, яке відтворює реальний геопростір із заданою точністю, володіє властивостями актуальності та повноти опису та придатне до застосування автоматизованих процедур обчислення поширення електромагнітної енергії.

Мета статті. Розроблення підходу щодо отримання і підготовки актуальних та достовірних просторових даних для моделювання електромагнітного забруднення довкілля.

Виклад основного матеріалу. Досліджуваний геоінформаційний простір $\Theta = \{(x, y, z); (x, y, z) \in R^3\}$, де R^3 – просторова декартова система координат, характеризується наявністю таких елементів: моделі рельєфу земної поверхні, заданого матрицею висот у дискретних точках простору $\Theta_h = [h_{x,y}]$; множиною джерел електромагнітного випромінювання $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{N^s}\}$; множиною об'єктів геопростору $O_\Theta = \{o_1, o_2, \dots, o_j, \dots, o_{N^o}\}$, яка здатна змінювати умови поширення електромагнітної енергії від ДЕМВ; множиною потенційних біологічних приймачів електромагнітної енергії (рецепторів) $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_{N^r}\}$, відносно яких оцінюється електромагнітна безпека досліджуваного простору.

Кожне s_i -те ДЕМВ має дві групи характеристик: просторові характеристики ДЕМВ в області Θ : $s_i^\Theta(x_i, y_i, z_i, \alpha_i, \beta_i)$, де x_i, y_i, z_i – координати випромінювача (точкового об'єкта), α_i – азимутальні характеристики спрямованості та β_i – нахил випромінювача (антени) ДЕМВ у просторі; і параметричні характеристики, які визначають рівень і характер випромінювання електромагнітної енергії $s_i^E \in \{P_i, G_i, w_i, \theta_i, h_i, f_0, \Delta f_i, t_i\}$, де P_i – потужність електромагнітної енергії, що підводиться до випромінювача (антени); G_i – коефіцієнт підсилення випромінювача (антени); w_i – специфічні параметри випромінювання (періодичність, гармонійність, модуляція, шпаруватість тощо); h_i – висота випромінювача (антени) над землею поверхнею; θ_i – функція, що задає спрямовані характеристики випромінювача (діаграма спрямованості антени); f_0 – центральна частота випромінювання;

Δf_i – ширина спектра електромагнітного випромінювання; t_i – часові статистичні характеристики випромінювання.

Об'єкти геопростору O_j характеризуються місцем розташування у просторі x_j, y_j, z_j (для точкового об'єкта) і власними геометричними характеристиками O_j^{xyz} , модельованими в геоінформаційному середовищі тривимірними моделями. Двовимірні лінійні і полігональні «наземні» O_j моделюють об'єкти на поверхні землі (грунт, водойма, асфальт, бетон, трава тощо) і задаються набором полігонів або лінійних об'єктів, покладених на цифрову модель рельєфу. З погляду впливу на поширення електромагнітної енергії властивості O_j (відбиваючі, поглинаючі, дефрагувальні і розсіювальні) характеризуються двома параметрами, а саме діелектричною проникливістю ϵ і провідністю γ . Під час поширення в межах O_j електромагнітна хвиля має коефіцієнт загасання електромагнітної енергії W_j , який визначається параметрами O_j та параметричними характеристиками ДЕМВ – s_i^E . Тривимірні об'єкти, що мають власну висоту h_j (лісові смуги або ареали різної щільності та типу дерев, житлові та промислові квартали різної етажності та щільності забудови тощо), можуть давати додаткове послаблення у разі поширення ЕМХ. Крім того, O_j можуть розцінюватися і як місце перебування людей в їх середині (будівлі, споруди тощо), за якого необхідне додаткове моделювання проникнення електромагнітної енергії ззовні та можливі резонансні характеристики приміщень.

Моделювання ЕМЗ у просторі передбачає в кінцевому результаті відображення оцінювання рівня небезпечності електромагнітного поля у просторі від кожного окремого джерела випромінювання або відображення комплексного оцінювання небезпечності за сукупністю електромагнітних полів [1; 2]. Формування оцінки небезпечності електромагнітного поля (ЕМП) від окремого ДЕМВ за відомими методиками скінченноелементних автоматизованих розрахунків, наприклад [3; 4], у загальному вигляді ґрунтується на математичному моделюванні характеристик електромагнітного поля в дискретних регулярних точках простору на основі вихідних даних, до яких входять енергетично-часові параметри випромінювача, характеристики середовища поширення електромагнітної хвилі (ЕМХ), а також відносні просторові характеристики ДЕМВ та оцінюваних точок простору. Крок дискретизації регулярної мережі GRID має обиратися з міркувань достатньої детальності та наявності обчислювальних ресурсів. Результат обчислення електромагнітного забруднення представляється у вигляді матриці в дискретних точках простору.

Схематично процес моделювання електромагнітного забруднення зображений на рис. 1. Для формування комплексного оцінювання електромагнітної забрудненості необхідно використовувати спосіб, який дозволяє враховувати сумарну шкоду біологічному організму, яка може бути заподіяна множиною просторово-розподілених ЕМП.

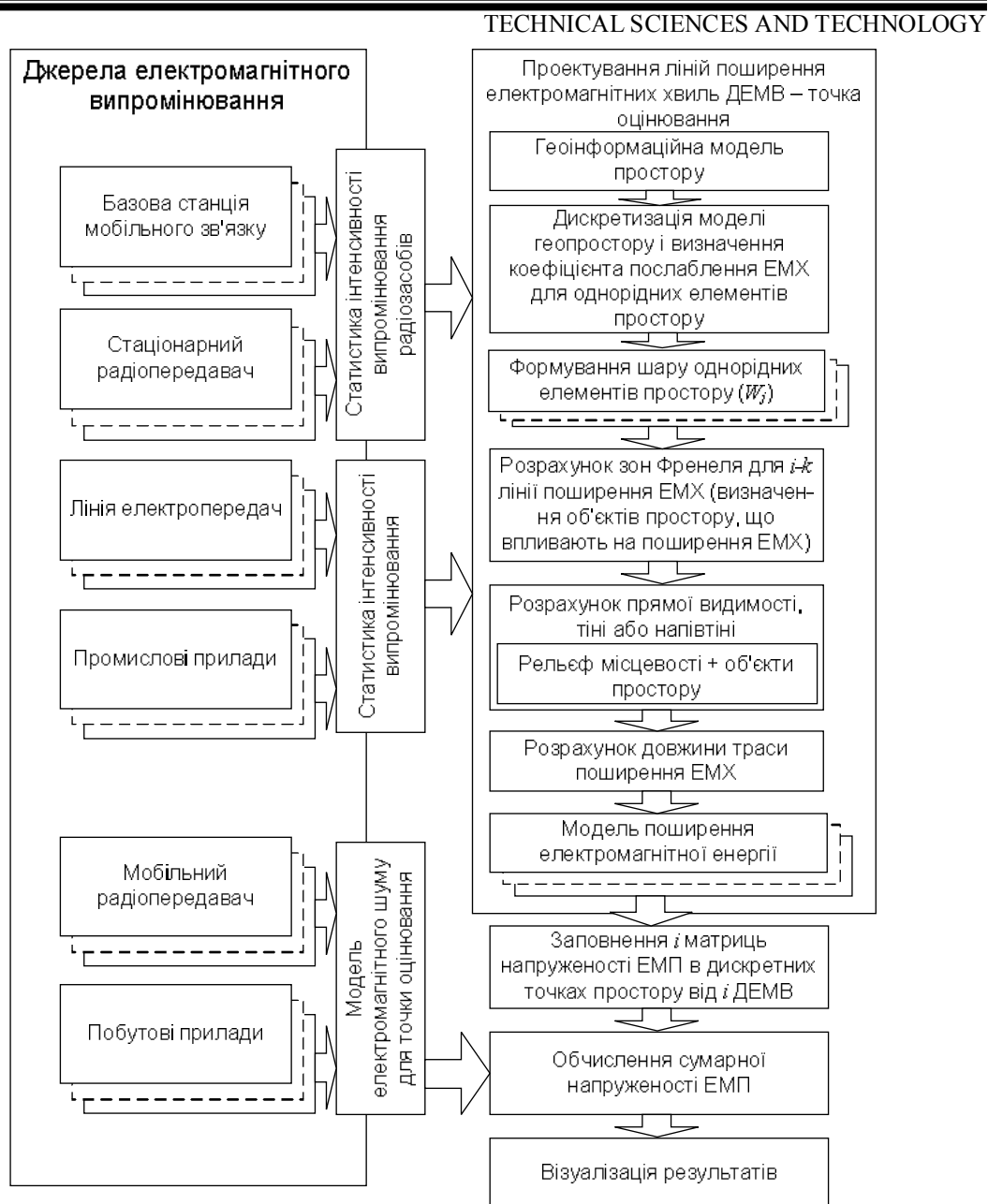


Рис. 1. Схема процесу моделювання електромагнітного забруднення

Кількісне оцінювання впливу електромагнітних полів на біологічні організми прийнято здійснювати за питомою поглиненою потужністю (SAR – specific absorption rate) – усереднена величина, що визначає кількість поглиненої електромагнітної енергії на одиницю маси (об'єму) тіла і вимірюється у Вт/кг (мВт/г) або Вт/м³ (мВт/см³) [5]:

$$SAR = \int \frac{\sigma(r) E^2(r)}{\rho(r)} dr, \text{ де } \sigma - \text{провідність біологічного організму; } E - \text{напруженість}$$

електричного поля; ρ – щільність біологічного організму. На цей час не розроблено приладів, здатних виміряти поглинену електромагнітну енергію, тому оцінювання SAR виконують вимірюванням електричної E або магнітної H напруженості електромагнітного поля або щільності потоку енергії ω у певних точках простору з наступним математичним моделюванням SAR. При одночасній дії декількох ДЕМВ існують декілька підходів щодо оцінювання сумарного значення параметрів ЕМП. Так, у [6] сумарна напруженість електричної складової декількох ЕМП визначається співвідношенням

$E_{\Sigma} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}$, де E_1, E_2, \dots, E_n – напруженості електричних полів створюваних n ДЕМВ. Сумарна щільність потоку енергії ω від n ДЕМВ $\omega_{\Sigma} = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n$. При різних нормувальних характеристик ГДР і параметрів ЕМП для санітарно-захисних зон

$$\text{діє співвідношення: } \left(\frac{E_1}{E_{ГДР1}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{E_n}{E_{ГДРn}} \right)^2 + \frac{\omega_1}{\omega_{ГДР1}} + \dots + \frac{\omega_m}{\omega_{ГДРm}} \leq 1.$$

В іншому підході [7] визначення результуючого загального поля від декількох ДЕМВ виконувалось квадратичним підсумовуванням ЕМП створюваних декількома ДЕМВ – $E_0 = \sqrt{\sum_i \mu_i E_i}$, де μ_i – ваговий коефіцієнт залежності гігієнічних нормативів від діапазону частот електромагнітного випромінювання (ЕМВ), що відповідає діючим санітарним нормам; E_i – напруженість ЕМП (щільність потоку енергії), створюваним у досліджуваній точці простору i -тим ДЕМВ. Є також інші підходи, але ця проблематика виходить за межі теми статті і буде розглядатися окремо, а поки що для нашої моделі приймемо підхід, рекомендований у [6].

Внаслідок, як правило, близького розташування ДЕМВ та/або рецепторів до земної поверхні мають місце явища відбиття ЕМХ від земної поверхні та інтерференції їх з прямими хвилями, втрат електромагнітної енергії внаслідок напівпровідникових властивостей земної поверхні, сферичності і нерівності земної поверхні, дифракції та розсіювання ЕМХ. Оцінювання цього впливу вимагає знання основних параметрів земної поверхні – діелектричної проникливості ϵ і провідності γ , які безпосередньо залежать від структури, вологості, шаруватості, температури та частоти ЕМХ, які змінюються в доволі широких межах, що робить строге кількісне оцінювання складним. Під час теоретичного розгляду питання впливу земної поверхні дещо ідеалізують [8], що дозволяє одержати розв'язок у межах певної похибки, зменшення якої здобувається завдяки введенню поправок, які визначаються за умов поширення ЕМХ і властивостей земної поверхні. Володіючи детальною і достовірною інформацією про об'єкти геопростору, можна суттєво зменшити одержувану похибку ідеалізації. Складність тут полягає у відсутності первинної достовірної і детальної інформації про реальні об'єкти, великі трудовитрати точного модельного відтворення умов поширення ЕМХ і наявності відповідного середовища моделювання, але за умов запровадження в Україні Національної інфраструктури геопросторових даних питання одержання потрібної інформації у вигляді геоінформаційних моделей заданої якості буде знято.

З метою використання даних одержуваного геоінформаційного простору він потребуватиме попередньої підготовки до моделювання, яка полягає у його дискретизації та створенні нових об'єктів простору, що володітимуть індивідуальними властивостями і які здатні впливати на поширення ЕМХ. Для процесів моделювання поширення електромагнітної енергії можна розглядати такі основні випадки дискретизації геоінформаційного простору:

1. Дискретизація поверхні за електричними властивостями. На поширення електромагнітної енергії земною хвилею впливатимуть електричні параметри ґрунту ϵ і γ , при цьому створюваними об'єктами є відкриті ділянки земної поверхні. Втрати в земній поверхні визначаються величиною тангенса кута втрат [9]: $\text{tg}\varphi_{\epsilon} = \frac{\gamma}{\omega\epsilon_0\epsilon} = \frac{60\gamma\lambda}{\epsilon}$, де ϵ_0 – діелектрична проникливість атмосфери. Відповідно множник послаблення електромаг-

нітних хвиль визначається як $|W| \approx \frac{1}{\rho} = \frac{\lambda}{\pi D_{ik}} \sqrt{\varepsilon^2 + (60\gamma\lambda)^2}$, де ρ – безрозмірний пара-

метр (чисельна відстань); D_{ik} – відстань між i -м ДЕМВ і k -м приймачем енергії. Очевидно, що значення цих параметрів залежно від пори року та метеорологічних умов коливатимуться в певних межах, і у практичних оцінках певної (достатньо великої) території важко мати точні електричні параметри ґрунту всього оцінюваного простору. Тому для практичних розрахунків справедливо припустити, що електричні параметри ґрунту мають носити імовірнісний характер, тоді $|W| \approx \frac{1}{\rho} = \frac{\lambda}{\pi D_{ik}} \sqrt{(f(\varepsilon))^2 + (60\lambda f(\gamma))^2}$,

де $f(\varepsilon)$ і $f(\gamma)$ – функції щільності розподілу ймовірностей випадкових величин ε і γ . Джерелом даних електричних параметрів ґрунтів є просторові дані земельного кадастру про склад, шаруватість та інші властивості ґрунтів, а також середньостатистичні дані метеослужб, використання яких дозволить побутувати варіаційний ряд для набору типових ґрунтів досліджуваного простору.

Для випадків віддаленого розташування антен від земної поверхні потребуватиме обчислення коефіцієнт відбиття, який, здебільшого, визначається для відкритої траси за допомогою розгляду вкладу поодинокого відбитого променя від земної поверхні та векторного складання його з прямим променем. Для цього необхідно визначити точку відбиття на трасі, для якої кут падіння дорівнював куту відбиття.

У зв'язку зі складністю визначення точки, в якій кут падіння в точності дорівнював куту відбиття, допускається деяка кутова погрішність. При цьому комплексний коефіцієнт відбиття для вертикально поляризованої хвилі обчислюється згідно з виразом –

$$R_v = \frac{\varepsilon \cdot \sin \alpha - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \alpha}}{\varepsilon \cdot \sin \alpha + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \alpha}}, \text{ де } \alpha - \text{кут падіння, } ^\circ.$$

Для горизонтально поляризованої хвилі коефіцієнт відбиття дорівнює:

$$R_h = \frac{\sin \alpha - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \alpha}}{\sin \alpha + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \alpha}}. \text{ Тут комплексна діелектрична проникність обчислюється так:}$$

$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\gamma\lambda$, де ε_r – відносна діелектрична постійна поверхні, що відбиває; γ – провідність поверхні, що відбиває, Сіменс/метр.

У табл., для прикладу, наведено основні значення показників ε_r і γ для деяких типів підстилаючої поверхні.

Таблиця

Значення показників діелектричної постійної поверхні та провідності поверхні

Середовище	ε_r	γ
Вода морська	80	4
Вода прісна	80	0,001
Сільська місцевість	14	0,02
Місто	3	0,0001
Торф сухий	3	0,05
Торф вологий	6	0,1
Глина суха	2	0,03
Глина волога	24	0,6

Сформований таким чином шар дискретних об'єктів має являти собою шар полігональних об'єктів без проміжків і накладень.

2. Дискретизація простору за характерними типовими ознаками просторових ареалів. Існує чисельна кількість аналітичних моделей поширення ЕМХ, одержаних експе-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

риментальним шляхом для того чи іншого типу місцевості. Такі моделі зазвичай рекомендовані до застосування протоколами Міжнародного союзу електров'язку. Відповідно до цих рекомендацій досліджуваний простір може класифікуватися за характером поверхні, як-то місця щільної забудови високоповерховими будівлями, передмістя, ліс, рідколісся тощо. Так, наприклад, для обчислення загасання сигналу засобів мобільного радіозв'язку використовується рекомендація ITU-R P.370, для умов міської місцевості та невеликих відстаней – рекомендація ITU-R P.529. Серед найбільш відомих моделей можна навести моделі Free space + RMD, FCC + RMD, CCIR + RMD, Okumura (Hata), Hata/Davidson/Epstein-Peterson Diffraction, TIREM-EDX, FCC – EDX, FCC – FCC, CCIR – EDX, COST 231 – Hata тощо, які застосовуються до частотно-територіального планування мобільного радіозв'язку, а відповідно і певного частотного діапазону. Отже, така дискретизація геоінформаційного простору вимагатиме, крім класифікації типу просторового об'єкта, і наявності реляційного зв'язку з відношенням типів ДЕМВ та їх частотного діапазону. Сформований таким чином шар дискретних об'єктів повинен являти собою шар полігональних об'єктів без проміжків і накладень.

3. Дискретизація та класифікація за індивідуальними властивостями об'єктів для моделювання явищ дифракції та інтерференції під час поширення ЕМХ. Часто об'єкти простору виконують роль направляючої структури, екрана або дзеркала-відбивача для об'єктів, що знаходяться у безпосередній близькості або у промені траєкторії поширення хвилі. У цьому разі важливим є точна відповідність геометричних характеристик і орієнтування моделі у геоінформаційному просторі реальному об'єкту, а також атрибутивний опис електричних характеристик об'єкта, що ґрунтується на фізико-хімічній структурі об'єкта. В подальшому задача розв'язується методами геометричної оптики і фізичної та геометричної теорії дифракції. Сформований таким чином шар дискретних об'єктів має являти собою набір шарів тривимірних об'єктів із заданими електричними характеристиками. Між об'єктами можуть існувати проміжки, але накладення об'єктів не допускається.

4. Дискретизація поверхні землі за радіовидимістю інтервалу поширення ЕМХ. Дискретизація простору з урахуванням рельєфу і висотних характеристиках об'єктів геопростору по зонах відкритості, тіні та напівтіні має виконуватися, як і попередній випадок, безпосередньо у ході моделювання відносно ДЕМВ і регулярної множини рецепторів. Відкритою вважається траєкторія поширення, для якої перша зона Френеля між ДЕМВ і рецептором не перекривається будь-якою перешкодою. За умови часткового перекриття першої зони Френеля, але не перекриття променю прямої видимості, інтервал траєкторії є напіввідкритим, що відповідає умові поширення хвиль для напівтіні, і відповідно повністю закрыта перша зона Френеля характеризує зону тіні об'єкта. Для кожного типу ДЕМВ мають використовуватися відповідні моделі загасання. Наприклад, для радіопередавачів з частотами 30–40 000 МГц загасання енергії сигналів у цих зонах можна визначити так:

$$W = Z_0 + W_2 + W_3 \text{ при } D < D_{\text{ин}} < D_0;$$

$$W = Z_0 + W_0 + W'_1 + W_3 \text{ при } D_{\text{ин}} \leq D < D_0;$$

$$W = Z_0 + W_0 + W_1 + W_2 \text{ при } D_0 \leq D;$$

$$W = Z_0 + 2W_2 + W_4 \text{ при } D_0 < D, 100 \text{ км} < D < 900 \text{ км}, 30 \text{ МГц} < f < 6000 \text{ МГц},$$

де Z_0 – послаблення радіохвиль у вільному просторі; W_2 – послаблення радіохвиль за рахунок поглинання в атмосфері; W_3 – посилення радіохвиль за рахунок інтерференції; $D_{\text{ин}}$ – протяжність зони інтерференції; D_0 – дальність прямої радіовидимості; W_0 – послаблення радіохвиль на дальності прямої радіовидимості; W'_1 – послаблення радіохвиль

у ближній зоні напівтіні; W_1 – послаблення радіохвиль у дальній зоні напівтіні; W_4 – послаблення радіохвиль за рахунок тропосферного розсіювання.

Протяжність зони інтерференції $D_{\text{ін}}$ (у км) обчислюється згідно з виразом:

$$D_{\text{ін}} = 130 \left[\sqrt{h_1 + \frac{1,2}{\sqrt[3]{f^2}}} + \sqrt{h_2 + \frac{1,2}{\sqrt[3]{f^2}}} \right] - \frac{286}{\sqrt[3]{f^2}},$$

де h_1, h_2 – висоти підняття антени ДЕМВ та висота рецептора, f – частота хвилі.

Послаблення радіохвиль у вільному просторі Z_0 (у дБ):

$$Z_0 = -71 - 10 \lg \left[(h_1 + h_2)^2 + 1,6 \cdot 10^8 \left(1 + \frac{h_1 + h_2}{6371} \right) \sin^2 \frac{D}{12742} \right].$$

Послаблення радіохвиль на дальності прямої видимості W_0 (у дБ):

$$W_0 = -6 - 331 \left(\sqrt[6]{\frac{1}{f} \sqrt{\frac{D_0}{D_1 D_2}}} \right)^{1,4},$$

де D_1, D_2 – радіогоризонти ДЕМВ і рецептора.

Послаблення радіохвиль у ближній зоні напівтіні W'_1 ($D_{\text{ін}} < D < D_0$) (у дБ):

$$W'_1 = \frac{W_0}{D_{\text{ін}} - D_0} (D_0 - D).$$

Послаблення радіохвиль у дальній зоні напівтіні W_1 ($D > D_0$) (у дБ):

$$W_1 = 9 \cdot 10^{-2} \sqrt[3]{f} (D_0 - D).$$

Послаблення радіохвиль за рахунок поглинання в атмосфері W_2 (у дБ) для частот $f < 500$ МГц приймається $W_2 = 0$, для $f \geq 500$ МГц:

$$W_2 = -\gamma D_a,$$

де γ – питома загасання, дБ/км; D_a – протяжність ділянки траси в межах поглинаючого шару атмосфери, км:

$$D_a = \begin{cases} \sqrt{(6371 + h_a)^2 - (6371 + h_1)^2 \cos^2 \beta} - (6371 + h_1) \sin \beta & \text{при } h_1 < 4 \text{ км;} \\ 2\sqrt{6375^2 - (6371 + h_1)^2 \cos^2 \beta} & \text{при } h_1 > 4 \text{ км, } \beta < -\arccos \frac{6375}{6371 + h_1}; \\ 0 & \text{при } h_1 > 4 \text{ км, } \beta < -\arccos \frac{6375}{6371 + h_1}, \end{cases}$$

$$\beta = \arctg \left(\frac{h_2 - h_1}{12742 + h_1 + h_2} \operatorname{ctg} \frac{D}{12742} \right) - \frac{D}{12742}; \quad h_a = \begin{cases} h_2, & \text{якщо } h_2 < 4 \text{ км;} \\ 4 \text{ км,} & \text{якщо } h_2 \geq 4 \text{ км.} \end{cases}$$

Посилення радіохвиль за рахунок інтерференції W_3 у зоні освітленості ($D < D_{\text{ін}}$):

$$W_3 = \begin{cases} \frac{W_0}{D_{\text{ін}} - D_0} (D_{\text{ін}} - D); \\ 20 \lg \left\{ 1 + \exp \left[-8,8 \cdot 10^{-4} (\Delta h f \sin \psi_c)^2 \right] \right\}, \end{cases}$$

де ψ_c – кут ковзання радіохвилі, відбитої від поверхні Землі, рад,

$$\psi_c = \frac{h_1 + h_2}{D} - 6 \cdot 10^{-5} D \frac{h_1^2 + h_2^2}{(h_1 + h_2)^2};$$

Δh – середнє значення нерівності поверхні.

Послаблення радіохвиль за рахунок тропосферного розсіювання W_4 (у дБ) визначається тільки для частот від 30 до 6000 МГц і дальностей D від 100 до 900 км $W_4 = -20 - 10 \lg f - 0,06D$.

Наявність перешкод у промені поширення достатньо просто визначається за допомогою модуля Spatial Analyst ArcGIS як для векторної, так і для растрової моделі геоданих. Для формування контурів зони напівтіні потрібно аналізувати перетин перешкодами першої зони френзеля, для чого вимагатиметься додаткова дія з побудови еліпсоїда обертання для інтервалу поширення ЕМХ (рис. 2).

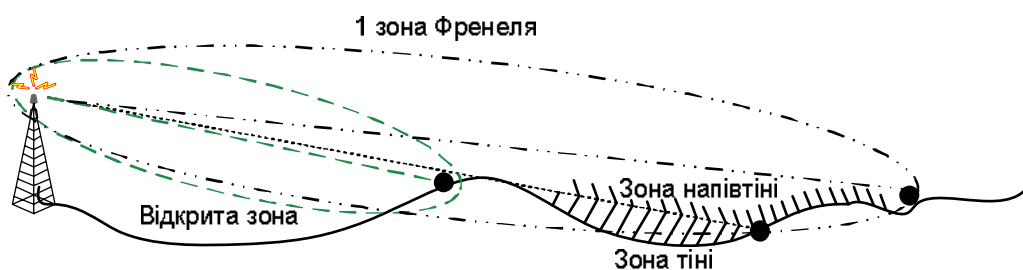


Рис. 2. Формування зон видимості, напівтіні і тіні

Результатом дискретизації простору є формування групи тематичних шарів, яка має використовуватись під час моделювання процесів поширення електромагнітних хвиль. За умови поширення електромагнітних хвиль через декілька дискретних об'єктів з різними електричними характеристиками загальне загасання радіохвиль $W(D)$ на трасі поширення радіохвиль D можна визначити за набором однорідних трас, що в загальному вигляді має вигляд виразу [9]:

$$W(D) = y(s_0 D) + i \sqrt{\frac{D}{\pi}} \sum_{j=1}^N \int_{x_{j-1}}^{x_j} y(s_0 (D - x')) \frac{(\sqrt{s_j} - \sqrt{s_0}) W(x') dx'}{\sqrt{x'(D - x')}}; \quad s_j = \frac{i\omega}{2\epsilon_j^0 c},$$

де $y(s_0 D)$ – деяка нормальна функція послаблення радіохвиль для вихідної діелектрично-однорідної ділянки; x_{j-1} і x_j – границі j -ї ділянки, $x_0 = 0$, $x_N \equiv D$; ω – частота; ϵ_j^0 – діелектрична проникливість j -ї ділянки.

Інакше загасання поширення електромагнітних хвиль для неоднорідних трас можна одержати з виразу:

$$W = \frac{1}{2 \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_3}{d_1 d_3} (d_1 + d_2 + d_3)}},$$

де ρ_1, ρ_3 – чисельна відстань ділянок радіотраси 1 і 3, d_1, d_2, d_3 – протяжності однорідних ділянок радіотраси. Звідси видно, що на загальне загасання радіотраси впливають електричні параметри лише прилеглих однорідних ділянок.

Висновки і пропозиції. Використання пропонованої системи дискретизації геоінформаційного простору дозволить автоматизувати процедури розрахунку електромагнітних полів від множини джерел електромагнітного випромінювання. Автоматизація полягає в автоматичному виборі моделі поширення електромагнітної енергії залежно від джерела параметричних характеристик випромінювання та взаємного положення джерела та рецептора, обчисленні адекватного коефіцієнта загасання електромагнітної енергії, відповідного до умов поширення, створення і використання неоднорідних трас поширення електромагнітних хвиль. Крім того, подібна дискретизація простору може використовуватись під час планування і проектування систем радіозв'язку, контролю виконання умов електромагнітної сумісності, ефективного використання радіочастотного ресурсу з дотриманням вимог з електромагнітної безпеки.

Подальший розвиток досліджень пов'язаний з автоматизацією призначення електричних параметрів земній поверхні, основаних на даних щодо складу та якості земної поверхні і даних щодо її вологості, а також індивідуальних фізико-технічних властивостей об'єктів. Джерелом подібних даних є відповідні кадастрові організації, основними з яких є земельний, водний, лісовий, містобудівельний кадастри, інженерних мереж та інші.

Список використання джерел

1. Корнієнко І. В. Обґрунтування умов і сценаріїв геоінформаційного моделювання електромагнітного забруднення / І. В. Корнієнко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : науковий збірник. – 2012. – № 4 (61). – С. 213–218.
2. Корнієнко І. В. Алгоритм оцінювання електромагнітного забруднення територій / І. В. Корнієнко, С. П. Корнієнко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Серія «Технічні науки» : науковий збірник. – 2013. – № 1 (63). – С. 205–209.
3. Воробьев Н. П. Использование компьютерного моделирования для оценки электромагнитных загрязнений / Н. П. Воробьев, А. А. Сошников // Ползуновский вестник. – 2009. – № 4. – С. 31–33.
4. Корнієнко І. В. Методика побудови просторової структури транкінгової системи зв'язку з ексцентричним розташуванням базових станцій в умовах радіоелектронного впливу противника : дис. ... канд. техн. наук : спец. 20.02.12 «Військова кібернетика, системи управління та зв'язок» / І. В. Корнієнко. – К. : НАОУ, 2006. – 251 с.
5. ICNIRP Guidelines For Limiting Exposure To The Time-Varying Electric, Magnetic And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz) / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. 1998. Retrieved 2013-12-12.
6. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. – Введ. 1986-01-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 12 с.
7. Макаров В. З. Эколого-географическое картографирование городов / В. З. Макаров, Б. А. Новаковский, А. Н. Чумаченко. – М. : Научный мир, 2002. – 140 с.
8. Черенкова Е. Л. Распространение радиоволн / Е. Л. Черенкова, О. В. Чернышов. – М. : Радио и связь, 1984. – 272 с.
9. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности / Е. Л. Фейнберг. – 2-е изд. – М. : Наука. Физматлит, 1999. – 496 с.

І.В. Корнієнко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

А.І. Кошма, аспірант

Чернігівський центр перепідготовки та підвищення кваліфікації працівників органів державної влади, органів місцевого самоврядування, державних підприємств, установ і організацій, м. Чернігів, Україна

ДЕКОМПОЗИЦІЯ ЗАДАЧИ ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ ЗБОРУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

И.В. Корниенко, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

А.И. Кошма, аспирант

Черниговский центр переподготовки и повышения квалификации органов государственной власти, органов местного самоуправления, государственных предприятий, учреждений и организаций, г. Чернигов, Украина

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ СБОРА БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Ihor Korniienko, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

Artem Koshma, PhD student

Chernihiv Center for Retraining and Skills Employees of State Agencies, Local Governments, State Enterprises, Institutions and Organizations, Chernihiv, Ukraine

DECOMPOSITION OF THE ISSUE OF FORMATION OF THE SPACE SYSTEM OF THE NETWORK OF HOUSEHOLD WASTE DISPOSAL

Проведено аналіз факторів, що чинить вплив на проблему збирання екологічно небезпечних побутових відходів. Визначені групи чинників, що мають враховуватися під час формування просторової структури збирання відходів. Виконано постановку задачі геоінформаційного синтезу просторової структури мережі збору екологічно небезпечних побутових відходів.

Ключові слова: екологічно небезпечні побутові відходи, просторова структура, мережа збирання відходів.

Проведен анализ факторов, которые оказывают влияние на проблему сбора экологически опасных бытовых отходов. Определены группы факторов, которые должны учитываться при формировании пространственной структуры сбора отходов. Выполнена постановка задачи геоинформационного синтеза пространственной структуры сети сбора экологически опасных бытовых отходов.

Ключевые слова: экологически опасные бытовые отходы, пространственная структура, сеть сбора отходов.

The paper analyzes the factors that have an impact on the problem of collection of environmentally hazardous waste. The groups of factors that must be taken into account in the formation of the spatial structure of the collection. Formulation of the problem is made geoinformation synthesis of spatial network structure collection of environmentally hazardous waste.

Key words: environmentally hazardous waste, spatial structure, a network of waste collection.

Постановка проблеми. Останніми десятиріччями в містах України спостерігається загострення проблеми утворення, накопичення і збирання множини різноманітних екологічно небезпечних відходів промислового і побутового характеру. Частково це пов'язано зі збільшенням обсягів споживання населенням різноманітної продукції, яка містить складові різного класу небезпеки, від хімічно активних (акумулятори і батарейки) до звичайно забруднюючих з великим терміном розкладення (поліетилен, пінополістирол, скло тощо). Більш докладно причини виникнення цієї ситуації в частині накопичення побутових відходів та заходи, що вживаються з цього питання в нашій державі й у світі, наведені у [1]. Слід зауважити, що особливостями України є низька культура поводження суспільства з побутовими відходами, відсутність обґрунтовано розташованих місць роздільного збирання побутових відходів та, зокрема, відсутність методичного обґрунтування до побудови системи збирання побутових відходів, що робить актуальним завдання формування просторової структури мережі збору побутових відходів. З урахуванням того, що елементами мережі є пункти збирання побутових відходів різного обсягу, маршрути вивезення, а також низькі різнопланові вимоги, що висувуються до місць розташування пунктів, то завдання формування просторової струк-

тури мережі збору побутових відходів набуває ознак системності, що у свою чергу вимагає її декомпозиції на складові.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У межах швейцарсько-українського проекту «Підтримка децентралізації в Україні» DESPRO було проаналізовано матеріали проекту «Планування інтегрованого поводження з ТПВ (ШТПВ) у Тульчинському районі Вінницької області (DESPRO, MGSDP)» (А. Артов – експерт DESPRO) [2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Екологічні питання та протидія забрудненню довкілля за останні століття набули важливого значення у всьому світі. Серед найголовніших питань, присвячених охороні довкілля, є питання поводження з відходами, зокрема з твердими побутовими відходами (ТПВ), які накопичуються в містах та селах України й утворюють господарську та природоохоронну проблеми. На думку авторів, поряд з переробленням побутових відходів основною проблемою сьогодення є налагодження ефективного механізму роздільного збирання відходів у межах населеного пункту, який передбачає наявність певної просторово-розподіленої системи. Формування такої системи передбачає визначення і розгляду основних чинників, що впливають на просторову структуру системи, а також поетапного розв'язування відповідних часткових задач синтезу просторової структури.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є проведення аналізу факторів, що впливають на проблему збирання екологічно небезпечних побутових відходів. Визначити групи чинників, що мають враховуватися під час формування просторової структури збирання відходів. Виконати постановку задачі геоінформаційного синтезу просторової структури мережі збору екологічно небезпечних побутових відходів.

Виклад основного матеріалу. Ефективність функціонування системи збору побутових відходів визначається комплексом дій, що забезпечують своєчасний збір і вивезення в задалегідь визначені місця побутових відходів, що накопичуються в житлових і промислових кварталах. Сам процес збору в нормативній базі одержав термін «поводження з побутовими відходами», що визначається як дії, спрямовані на запобігання утворенню відходів, їх збирання, перевезення, сортування, зберігання, оброблення, перероблення, утилізацію, видалення, знешкодження і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення [3].

Сучасні підходи всього цивілізованого світу до поводження з побутовими відходами ґрунтуються на роздільному збиранні відходів різних типів для їх подальшого перероблення. Кількість типів відходів визначається розвиненістю перероблювальної інфраструктури. Економічне обґрунтування роздільного збору пов'язано з рентабельністю вторинного перероблення, підсиленою питаннями екологічної безпеки навколишнього середовища. Виходячи з цих міркувань, ефективною може вважатися така система збору побутових відходів, яка забезпечує роздільний збір побутових відходів з мінімальними витратами, причому обсяг зібраних відходів має забезпечувати рентабельність перероблювальних підприємств, тобто частка вторинної сировини в несортованих відходах, що вивозяться на сміттєзвалища, має бути мінімальною.

Очевидно, що за таким розумінням ефективності до системи збору побутових відходів висуваються вимоги щодо якості її функціонування і множини обмежувальних факторів. Аналіз методів і способів розв'язку подібних задач у розвинених країнах дозволяє визначити основні групи (сектори) чинників, які можна означити як обмежувальні фактори функціонування системи збирання та перероблення твердих побутових відходів, а саме екологічний, економічний і соціальний сектори. Розглянемо їх вплив на ефективність системи детальніше.

Екологічний сектор. Очевидно, що утворення відходів та подальші дії людини при поводженні з твердими побутовими відходами (особливо небезпечними відходами)

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

значним чином впливають на навколишнє природне середовище та екологію, що вимагає застосування системи спеціальних методів і засобів різних рівнів – від державного рівня до рівня громади.

Відповідно до ст. 1 Закону України «Про відходи» [3], де чітко дані визначення поняття відходів, поводження з ними тощо, дають можливість конкретизувати шкоду, яка завдається, та визначити спеціальні методи і засоби поводження з відходами. Відповідно до цього можна вважати, що екологічний фактор є ключовим. Для того, щоб наносити менше шкоди довкіллю, потрібно дотримуватись всіх вимог, державних санітарних правил та норм [4].

Наприклад, прийнятими нормативами встановлено, що для збирання та тимчасового зберігання твердих побутових відходів використовуються контейнери, які через довготермінове застосування та недосконалий механізм розвантаження деформуються та псуються. У більшості з наявних контейнерів для збирання ТПВ відсутні кришки, що призводить до підвищення вологості ТПВ, зумовлює прискорення процесів загнивання в теплий період року та примерзання їх до контейнерів у морозну погоду, у зв'язку з чим ускладнюється транспортування та стає практично неможливою подальше перероблення ТПВ. Отже, не дотримуючись встановлених правил і норм (що зазвичай і відбувається) спільнотою наноситься значний негативний вплив довкіллю.

Відповідно до нашої задачі, вимогу до забезпечення чинників екологічного сектору можна записати умовою:

$$E \geq E_{\text{дон}}, \quad (1)$$

де E – узагальнений показник екологічної складової, $E_{\text{дон}}$ – критерій екологічної безпеки. На сьогодні можна стверджувати, що діюча структура системи санітарного очищення населених пунктів недосконала та не забезпечує достатнього контролю за санітарним станом територій. Впровадження роздільного збирання ТПВ має супроводжуватись проведенням постійної агітаційної роботи щодо безпечного в санітарно-епідемічному та екологічному відношеннях поводження з ТПВ та необхідності свідомої активної участі усіх верств населення у впровадженні роздільного збирання компонентів ТПВ [5]. Для того, щоб впровадження роздільного збирання ТПВ задовольняло всі вимоги екологічної складової, потрібно дотримуватись всіх державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць. Згідно з цими нормами [6] встановлюються вимоги до санітарного очищення територій населених місць, а також правила виконання робіт з належного прибирання об'єктів благоустрою та державного санітарно-епідеміологічного нагляду у сфері благоустрою населених пунктів і поводження з відходами. Ці обмеження можна звести до задачі лінійного програмування, яка в загальному матиме вигляд:

$$E = \{e_1 \leq e_1^0; e_2 \leq e_2^0; e_3 \leq e_3^0; \dots e_n \leq e_n^0\}, \quad (2)$$

де E – показник екологічної безпеки мережі, $e_1; e_2; e_3; \dots e_n$ – часткові показники екологічної безпеки, $e_1^0; e_2^0; e_3^0; \dots e_n^0$ – граничні величини дотримання санітарних норм.

Економічний сектор. Як зазначалося, успішність реалізації роздільного збору побутових відходів має залежність також і від економічної складової. Нині можна стверджувати, що використання застарілої техніки, устаткування і підходів до збору, перевезення твердих побутових відходів не є оптимальним (і навіть раціональним) і, відповідно, економічно обґрунтованими. Наприклад:

– технічна оснащеність не є достатньою, техніка застаріла і витратна та не відповідає європейським стандартам;

– відсутність контейнерів у місцях скупчення відходів;

- відсутність під'їздів до контейнерів зі сміттям;
- відсутність раціонального логістичного маршруту по збору сміття;
- низький тариф на вивезення ТПВ;
- відсутність баків потрібного стандарту, спеціально обладнаних майданчиків для цих баків;
- навченість обслуговуючого персоналу.

Серед перерахованих факторів знизити собівартість збирання відходів можна за рахунок кількості і раціонального розташування пунктів збору та оптимізації маршрутів руху сміттезбиральної техніки. У разі збільшення кількості точок збору та кількості баків необхідно враховувати місця розташування контейнерних майданчиків на об'єктах благоустрою населених пунктів, що визначаються у складі проектів будівництва житлових і громадських будівель і споруд, а для території садибної забудови – у складі проектів планів цих територій. Враховуючи систему збирання побутових відходів, на об'єктах благоустрою населених пунктів повинні бути обладнані спеціальні майданчики для розміщення контейнерів для зберігання побутових відходів (контейнерні майданчики) зі зручними під'їздами для сміттевозів [7], а також оптимізувати маршрути руху сміттезбиральної техніки.

Отже, для розв'язування нашої задачі ефективною буде вважатися просторова структура мережі збору, де мінімізуються витрати на збирання, тобто:

$$V \rightarrow V_{\min}, \quad (3)$$

де V – економічні витрати.

Для того, щоб ефективно мінімізувати витрати на збирання, потрібно чітко визначити технологічну схему роздільного збирання та заявлену кількість контейнерів для збору. Кількість контейнерів для збирання відходів як вторинної сировини та змішаних відходів визначають відповідно до обсягу надання послуг, визначеного на підставі відсоткового відношення компонентів, що входять до складу твердих побутових відходів, до загального об'єму ТПВ з урахуванням їх середньої щільності [5].

Загалом, рентабельність збирання відходів можна представити таким функціоналом:

$$V = \{V_s, V_p, V_k, V_t, V_z, V_y\}, \quad (4)$$

де V_s – прибуток від переробки вторинної сировини;

V_p – облаштування пунктів збору;

V_k – загальна вартість контейнерів, $V_k = n_k v_k^i$, n_k – кількість контейнерів, v_k^i – вартість одного контейнера i -го типу;

V_t – витрати на вивезення відходів з пунктів збору;

V_z – оплата праці персоналу;

V_y – тарифи на прибирання сміття.

Соціальний сектор. На цьому етапі розвитку українське суспільство не готове до раптового переходу до європейської манери поведінки з ТПВ. На це є багато причин, такі як економічні, соціальні, екологічні, логістичні тощо. Організація чинників соціального сектору в нашій країні, на нашу думку, є найскладнішою проблемою, що пов'язано зі слабким соціальним вихованням. Відповідними програмами [3] передбачені певні напрями підвищення культури поведінки з побутовими відходами, як-то:

- організація соціальної реклами тематичного напрямку про шкоду довкіллю, яку наносить неправильне поведінка зі сміттям;
- створення тематичних передач у достатній кількості;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

- впровадження у шкільну програму уроків про охорону довкілля та навчання молоді принципів роздільного збору сміття;
- підвищення соціальної активності населення у сфері поводження з ТПВ;
- зацікавлення у зменшенні відходів, вже починаючи з власного дому (розділяти відходи вже у себе дома);
- зацікавлення у здаванні відходів як вторинної сировини;
- запровадження ефективної системи контролю і штрафних санкцій тощо.

Проте для побудови просторової структури системи збору побутових відходів з урахуванням недосконалості нашого суспільства (що може виражатися в небажанні виносити відходи або їх роздільно збирати) необхідно мати кількісні показники щодо відсотка потенційно можливого роздільного збору відходів, віддаленості пунктів збору відходів від помешкань громадян, кількості типів відходів, які громадяни погодяться сортувати, та інші локальні чинники. На жаль, на сьогодні немає соціальних досліджень щодо зазначених кількісних характеристик, що описують основні правила та соціальну свідомість при поводженні з побутовими відходами. Тому для успішного вирішення завдання формування мережі просторової структури збирання та перероблення екологічно небезпечних відходів проведення такого дослідження буде необхідним, що дозволить сформулювати умови щодо кількості збираного сміття та певних характеристик віддаленості до контейнерів, кількості контейнерів, що в цілому можна узагальнити в певний показник $S \leq S_{соц}$, де S – граничні умови збирання, за яких збирання ТПВ є рентабельним (який може бути виражений відсотком від всього накопиченого сміття). Таким чином, умови соціального сектору також матимуть систему обмежень:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}, \quad (5)$$

де s_1, s_2, \dots, s_n – локальні чинники, що визначають доступність для населення місць розташування контейнерів, або умови, за яких буде здійснюватися роздільний збір ТПВ.

Отже, просторова структура мережі збирання побутових відходів формується з урахуванням обмежень системи чинників впливу трьох секторів: екологічного, економічного і соціального, при цьому цільову функцію пропонованої мережі можна записати як:

$$V \xrightarrow[\substack{S \leq S_{соц} \\ E \geq E_{дон}}]{\quad} V \min. \quad (6)$$

Така постановка задачі визначає досягнення мінімальної собівартості механізму збирання побутових відходів у разі дотримання всіх екологічних вимог і забезпечення роздільного збирання відходів на місцях не менше заданого.

Формування обмежень цільової функції та синтез просторової структури мережі збирання побутових відходів вимагає розгляду багатьох питань, від детальності дослідження яких залежить якісні і кількісні показники розв'язування цієї задачі. Виділимо найбільш істотні:

- визначення повного складу обмежень екологічного, економічного та соціального показників, а також їх нормативні та стохастичні характеристики;
- вибір й обґрунтування показників і критеріїв оптимальності просторового розташування елементів мережі збирання просторових відходів;
- розроблення математичної моделі процесу збирання побутових відходів;
- розроблення геоінформаційної моделі міста (району) з топологічною ув'язкою дорожньої мережі й елементів прибудинкових територій;
- перевірка принципової можливості розв'язування задачі синтезу просторової структури мережі збирання побутових відходів, відповідної до системи висунутих обмежень;

– розроблення методики геоінформаційного синтезу просторової структури мережі збирання побутових відходів;

– експериментальна перевірка оптимальності синтезованої структури мережі збирання побутових відходів.

Висновки і пропозиції. Формування за поставлених умов мережі збирання та переробки екологічно-небезпечних відходів забезпечить вирішення проблеми ефективного поводження з побутовими відходами в місті. Подальше дослідження, розв'язок даної наукової задачі полягає у деталізації і формалізації запропонованих часткових показників ефективності E , S , V .

Список використаних джерел

1. Корнієнко І. В. Стан і напрями розв'язування проблеми утилізації екологічно-небезпечних побутових відходів [Електронний ресурс] / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма. – Режим доступу : <http://www.chasopis.geci.cn.ua/nomer/2012/1/122-127.pdf>.

2. Артов А. Стратегія інтегрованого поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Тульчинському цільовому регіоні [Електронний ресурс] / А. Артов. – Режим доступу : <http://despro.org.ua/library/presentation/>.

3. Про відходи [Електронний ресурс] : Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>.

4. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення. ДСанПіН 2.2.7.029-99 : Державні санітарні правила та норми від 01.07.1999 № 29.

5. Про затвердження Методики роздільного збирання побутових відходів [Електронний ресурс] : Закон України від 01.08.2011 № 133. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1157-11>.

6. Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць [Електронний ресурс] : Закон України від 17.03.2011 № 145. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0457-11>.

7. Ігнатенко О. П. Побутові відходи – правила гри на ринку : практичний посібник / О. П. Ігнатенко. – К., 2012. – 200 с.

УДК 528.3

С.Д. Крячок, канд. техн. наук

Л.С. Мамонтова, ст. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОСТІЙНОЇ ПОПРАВКИ ЕЛЕКТРОННИХ ВІДДАЛЕМІРІВ

С.Д. Крячок, канд. техн. наук

Л.С. Мамонтова, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РАЗРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОСТОЯННОЙ ПОПРАВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Serhii Kriachok, PhD in Technical Sciences

Liudmyla Mamontova, senior teacher

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE DEVELOPMENT OF A SPATIAL MATHEMATICAL MODEL OF A PERMANENT AMENDMENT OF ELECTRONIC RANGEFINDERS

Проведено аналіз наявних способів визначення постійної поправки електронних віддалемірів. Виокремлено два способи, які не потребують закріплення точок на місцевості та високоточного вимірювання відстаней між цими точками: з розташуванням середнього штатива поза створом та на різній висоті відносно двох крайніх штативів; з розташуванням штативів у створі та вимірюванням відстаней між ними у всіх можливих комбінаціях. Розробле-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

но математичні моделі для визначення постійної поправки та спрощену математичну модель для розрахунку точності визначення постійної поправки з урахуванням вимірних відстаней, горизонтальних кутів і кутів нахилу для позастворного способу та математичну модель для розрахунку допусків на встановлення приладів один відносно одного в плані та по висоті у створному способі.

Ключові слова: вимірювання відстаней, постійна поправка електронного віддалеміра, математичні моделі.

Проведен анализ существующих способов определения постоянной поправки электронных дальнометров. Выделены два способа, которые не нуждаются в закреплении точек на местности и высокоточного измерения расстояний между этими точками: с расположением среднего штатива вне створа и на разной высоте относительно двух крайних штативов; с расположением штативов в створе и измерением расстояний между ними во всех возможных комбинациях. Разработаны математические модели для определения постоянной поправки и упрощенную математическую модель для расчета точности определения постоянной поправки с учетом измеренных расстояний, горизонтальных углов и углов наклона для внестворного способа и математическая модель для расчета допусков на установку приборов друг относительно друга в плане и по высоте в створном способе.

Ключевые слова: измерение расстояний, постоянная поправка электронного дальнометра, математические модели.

The analysis of definition the existing ways of the constant amendment electronic rangefinders was carried out. Two methods which don't need fixing of points on the district and high-quality measurement of distances between these points were selected: with the location of an average tripod out of an alignment and at different height concerning two extreme tripods; with the placement of tripods in the alignment and measurement of distances between them in all possible combinations. Mathematical models for definition the constant amendment and the simplified mathematical model for definition of the calculation accuracy the constant amendment with taking into account the measured distances, horizontal angles and an angle of view for out of alignment method and the mathematical model for calculation of tolerances on the installation devices from each other in the plan and on height in the alignment method were developed.

Key words: measuring the distance, the constant amendment, electronic rangefinder, mathematical models.

Постановка проблеми. Для визначення відстаней, вимірних світло- чи радіовіддалемірами та електронними тахеометрами, необхідно знати сталу, яку прийнято називати постійною поправкою. Постійна поправка виникає через незбігання осей обертання електронного віддалеміра і відбивача з випромінюючою поверхнею віддалеміра та відбивною поверхнею відбивача. Значення постійної поправки можна віднайти у паспорті електронного віддалеміра, в інтернет-джерелах, які стосуються відповідного типу приладу. Але для отримання надійного її значення, краще періодично визначати величину поправки, що дозволяє з більшою достовірністю вимірювати відстані електронними віддалемірами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях [1–4] наведено кілька способів визначення постійної поправки. В першому випадку виконуються вимірювання коротких інтервалів відомої довжини в межах фазового циклу, в другому – вимірюється контрольний базис довжиною 300–500 м, у третьому – вимірюється кілька ліній, довжини яких попередньо визначені із заданою точністю. Постійна поправка визначається як різниця між відомою довжиною відрізка та вимірним його значенням за допомогою електронного віддалеміра. У випадку вимірювання кількох відрізків визначають декілька значень поправки та обчислюють її середню величину. Недоліком усіх цих способів є необхідність попереднього вимірювання інтервалів з точністю $(1-2) \cdot 10^{-6}$ – для геодезичних і топографічних світловіддалемірів та $(3-5) \cdot 10^{-7}$ – для високоточних світловіддалемірів [1] та закріплення кінців інтервалів на місцевості.

У четвертому способі визначають постійну поправку завдяки розрахунку за конструктивними розмірами [1]. Зрозуміло, що у цьому випадку необхідно знати конструктивні параметри віддалеміра і відбивача.

П'ятий спосіб передбачає використання блоку контрольного відліку, який прикріплюється до зорової труби електронного тахеометра [2]. Але не кожен електронний віддалемір має в комплекті таку насадку.

У шостому способі пропонується визначати постійну поправку за різницею віддалі між двома крайніми точками та сумою проєкцій на цю віддалі відстаней від середньої точки до крайніх точок [2]. Всі три точки не закріплюються на місцевості, а тому у визначення постійної поправки не входять похибки за центрування приладу та відбивача. Середня точка розміщується поза створом крайніх точок. Тому необхідно виміряти два горизонтальних кута з крайніх точок на середню. Відступ від створу середньої точки

може складати кілька метрів. Перевагою способу є те, що немає необхідності у попередньому точному визначенні довжин ліній. До недоліків цього способу слід віднести: необхідність вимірювання горизонтальних кутів без вертикальних; вплив похибки незбігання візирної осі зорової труби та віддалемірної осі тахеометра на точність визначення постійної поправки [2].

У сьомому способі вимірюються кілька ліній, розташованих у створі, у всіх можливих комбінаціях. Постійна поправка визначається як середнє значення різниць замикаючих відстаней та пари відстаней, що входять у замикаючі. В цьому випадку немає необхідності у попередньому точному вимірюванні ліній та горизонтальних кутів [3]. У [4] наведено вдосконалений спосіб, коли лінії вимірюються двічі у всіх можливих комбінаціях, що дозволяє контролювати якість вимірювань за різницями подвійних вимірювань безпосередньо на станції. Недоліком способу є необхідність розташування штативів на одній висоті.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З практичного погляду заслуговують на увагу шостий та сьомий способи, які не потребують заздалегідь закріплених на місцевості точок, що закріплюють лінійні інтервали, виміряні високоточними приладами – тобто вірцевих базисів. Вимірювання можна виконувати безпосередньо на штативах з перестановкою віддалеміра та відбивача у підставках, прикріплених до штативів. Ці способи є самодостатні і для їх реалізації пропонуються математичні моделі.

У математичній моделі шостого способу не враховані кути нахилу відстаней, виміряних на прилади, встановлені на штативи, хоча сучасні електронні тахеометри дозволяють вимірювати кути нахилу. Ця обставина не дозволяє використати математичну модель, наведену в [2], для визначення точності встановлення середнього штатива по вертикалі та враховувати вказані кути нахилу для більш достовірного визначення постійної поправки. Цей спосіб назвемо позастворним, оскільки передбачає встановлення середнього штатива поза створом двох крайніх.

Математична модель створних вимірювань ліній у всіх комбінаціях [3] не враховує як горизонтальних кутів, так і кутів нахилу виміряних відстаней, а тому пропонується всі штативи встановлювати на одній висоті строго у створ крайніх штативів [2; 3], що значно ускладнює підготовчі роботи.

Мета статті. Для більш достовірного визначення величини постійної поправки та розрахунку допусків на встановлення приладів один відносно одного в плані та по висоті необхідно побудувати математичні моделі, які враховують як виміряні відстані, так і горизонтальні кути та кути нахилу виміряних ліній для двох виокремлених способів.

Виклад основного матеріалу. Нехай (рис. 1) на станції визначення постійної поправки в точках 1, 2 та 3 земної поверхні встановлено штативи з прикріпленими до них підставками. Вказані точки не фіксуються на місцевості. В точці 1' на висоті інструменту i_1 закріплено електронний віддалемір у відставці. Почергово у підставки в точках 2' та 3' встановлюється відбивач на висотах інструменту i_2 та i_3 і вимірюються похилі відстані S_{12} та S_{13} . Потім у точці 3' на висоті інструменту i_3 встановлюється у підставку електронний тахеометр і вимірюється похила відстань S_{32} . Всі три виміряні відстані S_{ij} містять постійну поправку c . Звичайно, постійна поправка має від'ємне значення, тобто виміряна лінія є довшою, ніж фактична. На рис. 1 виміряні лінії є коротшими фактичних, а тому величину c необхідно додавати до виміряної лінії.

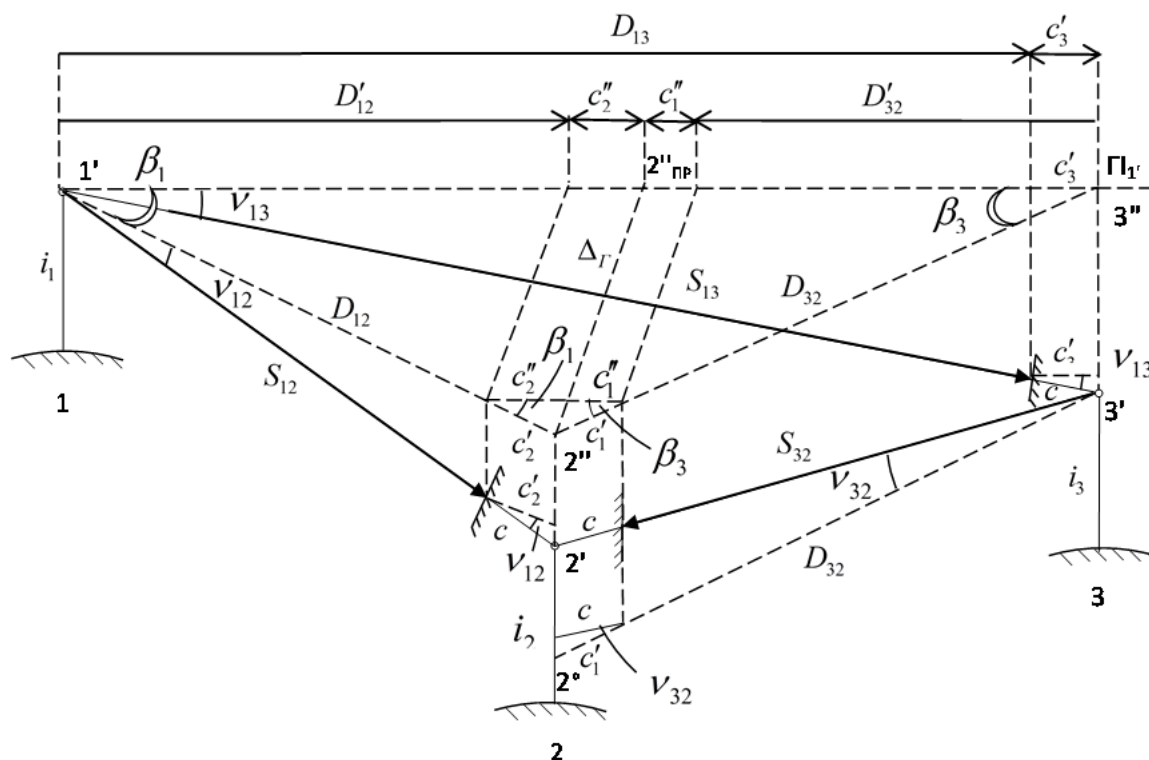


Рис. 1. Просторові параметри на станції визначення постійної поправки

Утворимо горизонтальну площину, яка збігається з горизонтом інструменту точки 1' ($\Pi_{1'}$) та проходить через точки 1', 2'', 3''. Спроекуємо по вертикалі на цю площину кожну з вимірних ліній S_{ij} та постійну поправку c , користуючись відповідними кутами нахилу ν_{ij} . Отримаємо горизонтальні відстані D_{ij} та горизонтальні складові постійної поправки c'_i . Далі спроекуємо на горизонтальну відстань $(D_{13} + c'_3)$ інші дві горизонтальні відстані та складові постійної поправки, які розташовані під горизонтальними кутами β_1 та β_3 до першої. Отримаємо проекції: D'_{12} , c''_2 , D'_{32} , c''_1 . Тоді за умови

$$D_{13} + c'_3 = D'_{12} + c''_2 + D'_{32} + c''_1, \quad (1)$$

величина постійної поправки дорівнюватиме

$$c = \frac{S_{12} \cos \nu_{12} \cos \beta_1 + S_{32} \cos \nu_{32} \cos \beta_3 - S_{13} \cos \nu_{13}}{\cos \nu_{13} - \cos \nu_{12} \cos \beta_1 - \cos \nu_{32} \cos \beta_3}. \quad (2)$$

Формула (2) дозволяє визначити постійну поправку світловіддалеміра за вимірними похилими відстанями S_{12} , S_{13} , S_{32} , горизонтальними кутами β_1 та β_2 і кутами нахилу ν_{12} , ν_{32} , ν_{13} . Зрозуміло, що вимірювання кутів можна виконувати, якщо світловіддалемір кріпиться до теодоліта – наприклад, СТ-5, або окремо за допомогою теодоліта. Для електронних тахеометрів, які дозволяють обчислити горизонтальні відстані D_{12} , D_{13} та D_{32} , формулу (2) можна записати у вигляді

$$c = \frac{D_{12} \cos \beta_1 + D_{32} \cos \beta_3 - D_{13}}{\cos \nu_{13} - \cos \nu_{12} \cos \beta_1 - \cos \nu_{32} \cos \beta_3}. \quad (3)$$

З формули (2) видно, що за умови $\beta_1 = \beta_2 = 0$ та $\nu_{12} = \nu_{13} = \nu_{32} = \nu$

$$c = S_{13} - (S_{12} + S_{32}). \quad (4)$$

Отримана залежність буде відповідати розміщенню приладів на станції у створі вздовж похилої лінії $1'-3'$, яку назвемо базовою (рис. 2).

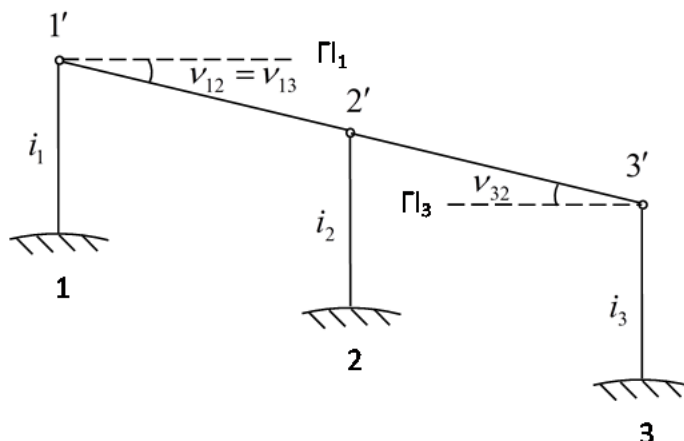


Рис. 2. Розташування штативів на одній похилій лінії

Залежність (2) за вказаних для неї значень β_i і v_{ij} та рис. 2 доводять, що для створного способу визначення постійної поправки віддалемір та відбивач на штативах можна розмішувати на похилій площині на одній лінії, а не прагнути обов'язково встановити прилади на одній висоті, як інформується у статті [2].

Скористаємось розкладанням у ряд функції косинуса $\cos x = 1 - x^2/2$ для косинусів кутів нахилу та горизонтальних кутів у формулі (2). Нехтуючи величинами вище другого порядку відносно кутів v_{ij} , β_i та з врахуванням коефіцієнта переходу $\rho = 57''{,}296$ до градусної міри кутів, отримаємо після перетворень наближену математичну модель обчислення постійної поправки на станції

$$c = [S_{13} - (S_{12} + S_{32})] - \frac{1}{2\rho^2} [S_{13}(2v_{13}^2 - v_{12}^2 - v_{32}^2) + S_{12}(v_{32}^2 - v_{13}^2) + S_{32}(v_{12}^2 - v_{13}^2)] + \frac{1}{2\rho^2} (S_{12}\beta_1^2 + S_{32}\beta_3^2). \quad (5)$$

Виконаємо тестування математичних моделей, наведених формулами (2) та (5). Для цього необхідно створити математичну модель-імітатор параметрів станції, яка дозволить за вхідними величинами: S_{13} , S_{12} , c , v_{13} , v_{12} , β_1 , визначити вихідні величини S_{32} , v_{32} , β_3 . На рис. 1 приймемо напрям GI_1 за вісь X , точку $1'$ за початок координат, перпендикуляр до GI_1 , який лежить у горизонтальній площині $1'-2''-3''$, за вісь Y . Позначимо $S_{ij} + c = S'_{ij}$. Тоді:

$$\left. \begin{aligned} X_{2'} &= X_{2''} = S'_{12} \cos v_{12} \cos \beta_1, & Y_{2'} &= Y_{2''} = S'_{12} \cos v_{12} \sin \beta_1, & Z_{2'} &= S'_{12} \sin v_{12}; \\ X_{3'} &= X_{3''} = S_{13} \cos v_{13}, & Y_{3'} &= Y_{3''} = 0, & Z_{3'} &= S'_{13} \sin v_{13}; \\ S'_{32} &= \sqrt{(X_{3'} - X_{2'})^2 + (Y_{3'} - Y_{2'})^2 + (Z_{3'} - Z_{2'})^2}, & S_{32} &= S'_{32} - c; \\ v_{32} &= \arcsin\left(\frac{Z_{3'} - Z_{2'}}{S'_{32}}\right), & \beta_3 &= \arctg\left(\frac{Y_{2''}}{X_{3'} - X_{2''}}\right). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для $S_{13} = 10$ м; $S_{12} = 5,0199$ м; $c = +40$ мм – постійна поправка, до значення якої наближаються абсолютні величини постійних поправок комплектів «світловіддалемір –

відбивач» багатьох виробників; $v_{13} = 20^\circ$; $v_{12} = 15^\circ$; $\beta_1 = 1^\circ$ за формулами (6) обчислено значення: $S_{32} = 4,97940\text{м}$; $v_{32} = 25^\circ,014988$; $\beta_3 = 1^\circ,074519$. Обчислення за формулою (2) дають значення постійні поправки $c = +40,00\text{мм}$, яку можна назвати математичною моделлю-компаратором. Обчислення за наближеною формулою (5) дають значення постійні поправки $c = +39,75\text{мм}$. Похибка обчислення постійної поправки за цією формулою становить $\Delta_C = -0,25\text{мм}$, або $0,25/40 = 0,62\%$. Як видно з обчислень, математична модель за наближеною формулою (5) для суттєвих значень кутів нахилу дозволяє обчислити значення постійної поправки з досить високою точністю.

Перейдемо до лінійних величин, які характеризують відхилення у просторі точки $2'$ від базової лінії $1' - 3'$ (рис. 1). У горизонтальній площині таке відхилення характеризується величиною Δ_r . З рис. 1 видно, що

$$\Delta_r = S'_{12} \cos v_{12} \sin \beta_1 = S'_{32} \cos v_{32} \sin \beta_3. \quad (7)$$

Після розкладання в ряд функції $\cos x$ та $\sin x \approx x$, нехтуючи величинами вище другого порядку відносно кутів v_{ij} , β_i та величиною c , вираз (7) набуде вигляду

$$\Delta_r \approx S_{12} \frac{\beta_1}{\rho} \approx S_{32} \frac{\beta_3}{\rho}. \quad (8)$$

Підстановка значення Δ_r згідно з (8) у останній доданок формули (5) та після перетворень дає вираз

$$\frac{1}{2\rho^2} (S_{12}\beta_1^2 + S_{32}\beta_3^2) = \frac{\Delta_r^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right). \quad (9)$$

Для застосування допуску Δ_B на відхилення середнього штатива у вертикальній площині від базової лінії необхідно спроектувати просторовий трикутник $1'2'3'$ на площину $1'3''3'$ (рис. 1). Для цього спроектуємо S_{12} на вказану площину та з урахуванням розкладання тригонометричних функцій у ряд отримуємо

$$1' - 2'_{\text{пр}} = \sqrt{(S'_{12})^2 \cos^2 v_{12} \cos^2 \beta_1 + (S'_{12})^2 \sin^2 v_{12}} \approx S_{12} \left(1 - \frac{\beta_1^2}{2\rho^2} \right). \quad (10)$$

Аналогічно

$$2'_{\text{пр}} - 3' \approx S_{32} \left(1 - \frac{\beta_3^2}{2\rho^2} \right). \quad (11)$$

З рис. 3 видно, що

$$\Delta_B = (1' - 2'_{\text{пр}}) \sin \Delta v_1 \approx S_{12} \frac{\Delta v_1}{\rho}, \quad (12)$$

$$\Delta_B \approx S_{32} \frac{\Delta v_3}{\rho}, \quad (13)$$

$$v'_{32} = \arcsin \frac{S'_{32} \sin v_{32}}{2'_{\text{пр}} - 3'} \approx v_{32}. \quad (14)$$

Аналогічно

$$v'_{12} \approx v_{12}. \quad (15)$$

Тоді

$$\Delta v_1 = v_{13} - v'_{12} \approx v_{13} - v_{12}, \tag{16}$$

$$\Delta v_3 = v'_{32} - v_{13} \approx v_{32} - v_{13}. \tag{17}$$

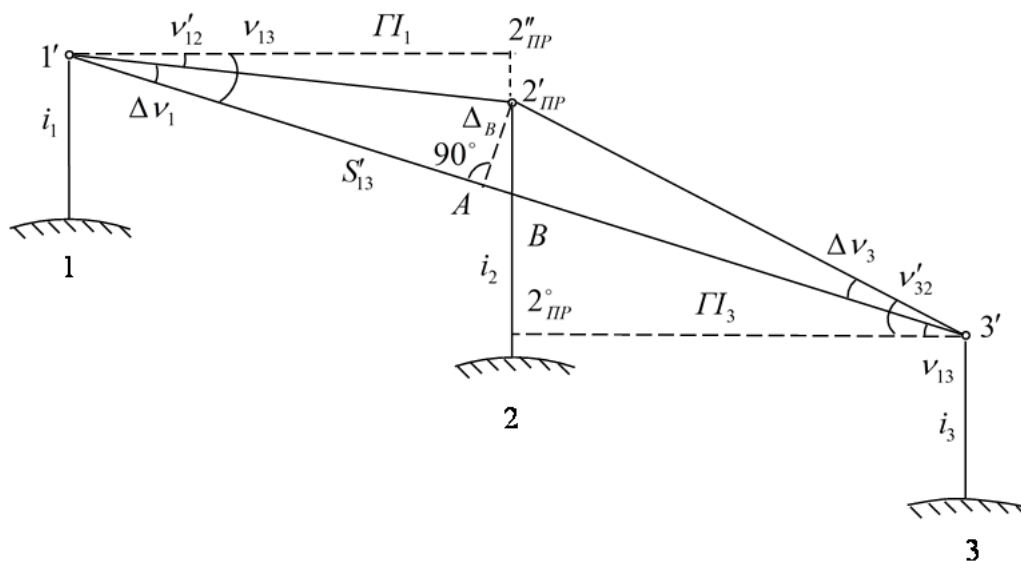


Рис. 3. Відхилення середнього штатива від базової лінії 1'–3'

Тоді формули (12) та (13) з рахуванням (16) та (17) матимуть вигляд

$$\Delta_B \approx \frac{S_{12}}{\rho} (v_{13} - v_{12}), \tag{18}$$

$$\Delta_B \approx \frac{S_{32}}{\rho} (v_{32} - v_{13}). \tag{19}$$

З рис. 3 видно, що з урахуванням (10)

$$1' - A = (1' - 2''_{ПП}) \cos \Delta v_1 \approx S_{12} \left(1 - \frac{\beta_1^2}{2\rho^2} - \frac{\Delta v_1^2}{2\rho^2} \right), \tag{20}$$

та аналогічно з урахуванням (11)

$$A - 3' = (2''_{ПП} - 3') \cos \Delta v_3 \approx S_{12} \left(1 - \frac{\beta_3^2}{2\rho^2} - \frac{\Delta v_3^2}{2\rho^2} \right), \tag{21}$$

$$S'_{13} = (1' - A) + (A - 3') \approx S_{13}. \tag{22}$$

Тоді другий доданок формули (5) з урахуванням виразу (22), (16)–(19) та після перетворень набуде вигляду

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2\rho^2} \left[S_{13} (2v_{13}^2 - v_{12}^2 - v_{32}^2) + S_{12} (v_{32}^2 - v_{13}^2) + S_{32} (v_{12}^2 - v_{13}^2) \right] = \\ & = -\frac{1}{2\rho^2} \left[S_{12} (v_{13}^2 - v_{12}^2) - S_{32} (v_{32}^2 - v_{13}^2) \right] = \\ & = +\frac{\Delta_B}{2} \left[(v_{32} - v_{13}) \frac{S_{32}}{S_{32}} + (v_{13} - v_{12}) \frac{S_{12}}{S_{12}} \right] = +\frac{\Delta_B^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right). \end{aligned} \tag{23}$$

У підсумку формула (5) з урахуванням (9), (23) набуде вигляду з точністю до члена другого степеня розкладання в ряд тригонометричних функцій відносно кутів v_{ij} та β_i

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32} + \frac{\Delta_B^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right) + \frac{\Delta_G^2}{2} \left(\frac{1}{S_{12}} + \frac{1}{S_{32}} \right). \quad (24)$$

Проведено тестування отриманої математичної моделі з використанням попередніх даних тестування та обчислення значень Δ_G та Δ_B за формулами (8) і (12), отримано $c = +40,62$ мм. Похибка обчислення постійної поправки за цією формулою становить $+0,62$ мм, або $0,62/40 = 1,3$ %. Отримана точність обчислення достатня для використання математичної моделі за формулою (24) для визначення припустимих значень Δ_G та Δ_B на станції. Математична модель (24) має елемент Δ_B та Δ_G – відхилення середнього штатива у плані та по висоті від базового напрямку. Цю математичну модель можна використати для способу створних вимірювань ліній у всіх можливих комбінаціях.

Формулу (5) можна спростити, якщо перетворити вираз (24) з урахуванням (8), (12), (13), до вигляду

$$c = S_{13} - S_{12} - S_{32} + \frac{1}{2\rho^2} [S_{12}(v_{13} - v_{12})^2 + S_{32}(v_{32} - v_{13})^2 + S_{12}\beta_1^2 + S_{32}\beta_3^2]. \quad (25)$$

Обчислення за формулою (25) з використанням попередніх вихідних даних тестування дозволяє отримати значення $c = 40,53$ мм, що становить $\frac{0,53}{40} = 1,3$ %. Математичну модель (25) можна використовувати для розрахунку допусків на встановлення приладів один відносно одного у плані та по висоті у позастворному способі визначення постійної поправки. Значення самої поправки необхідно визначати за формулами (2) або (3).

Висновки і пропозиції. Розроблено математичну модель для визначення постійної поправки електронних віддалемірів та спрощену математичну модель для розрахунку точності визначення постійної поправки з урахуванням вимірних відстаней, горизонтальних кутів та кутів нахилу відстаней для випадку розташування середнього штатива поза створом та на різній висоті відносно двох крайніх штативів.

Розроблено математичну модель для розрахунку допусків на встановлення приладів один відносно одного в плані та по висоті у створному способі вимірювань ліній у всіх можливих комбінаціях з визначення постійної поправки. Виявлено, що проміжні штативи можна встановлювати не тільки на одній висоті, а й вздовж похилої лінії, яку утворюють два крайні штативи, що спрощує вибір місцевості для створу.

У подальшому необхідно виконати розрахунки точності визначення постійної поправки та допусків на встановлення приладів один відносно одного у плані та по висоті для розглянутих способів.

Список використаних джерел

1. *Сборник* инструкций по производству поверок геодеических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М. : Недра, 1988. – 77 с.
2. *Ворошилов А. П.* Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра / А. П. Ворошилов // *Геопрофи.* – 2005. – № 4. – С. 46–47.
3. *Бронштейн Г. С.* Комбинированные способы измерения расстояний / Г. С. Бронштейн. – М. : Недра, 1991. – 92 с.
4. *Крячок С. Д.* До визначення постійної поправки електронними віддалемірами / С. Д. Крячок // *Вісник геодезії та картографії.* – 2015. – № 2. – С. 4–7.
5. *Видув Н. Г.* Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений / Н. Г. Видув, Г. С. Кондра. – М. : Недра, 1969. – 320 с.

УДК 519.854.2

О.О. Мельник, канд. техн. наук

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛГОРИТМУ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДІВ
ЗА КРИТЕРІЄМ СУМАРНОГО ВИПЕРЕДЖЕННЯ І ЗАПІЗНЕННЯ
ІЗ НАЛАГОДЖЕННЯМИ, ЩО ЗАЛЕЖАТЬ ВІД ПОСЛІДОВНОСТІ****Е.А. Мельник**, канд. техн. наук

Государственное высшее учебное заведение «Ужгородский национальный университет», г. Ужгород, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АЛГОРИТМА СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ
ПО КРИТЕРИЮ СУММАРНОГО ОПЕРЕЖЕНИЯ И ЗАПАЗДЫВАНИЯ
С НАЛАДКАМИ, КОТОРЫЕ ЗАВИСЯТ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ****Olena Melnyk**, PhD in Technical Sciences

State University «Uzhhorod National University», Uzhhorod, Ukraine

**RESEACH OF CHARACTERISTICS OF THE ALGORITHM IN SCHEDULING
BY THE CRITERIA OF THE TOTAL EARLINESS-TARDINESS WITH
ONE DEVICE ADJUSTMENT DEPENDING ON THE SEQUENCE**

Розглянуто алгоритм розв'язання задачі мінімізації сумарного випередження і запізнення завдань на одному приладі з налагодженнями, залежними від послідовності, і оцінено його ефективність. Результати показали, що запропонований евристичний алгоритм генерує за прийнятний час розв'язки, достатньо близькі до оптимальних.

Ключові слова: складання розкладів, одноетапні задачі, налагодження обладнання, випередження, запізнення.

Рассмотрен алгоритм решения задачи минимизации суммарного опережения и запаздывания заданий на одном приборе с наладками, зависящими от последовательности, и оценена его эффективность. Результаты показали, что предложенный эвристический алгоритм генерирует за приемлемое время решения, достаточно близкие к оптимальным.

Ключевые слова: составление расписаний, одноэтапные задачи, наладка оборудования, опережение, запаздывание.

We consider the one machine scheduling problems of minimizing the total earliness and tardiness of the tasks with one device adjustment depending on the sequence. Proposed heuristic algorithms are empirically evaluated in terms of their effectiveness. The results show that they generate in acceptable solutions that are sufficiently close to optimal.

Key words: scheduling, one-stage problem, device adjustment, earliness, tardiness.

Постановка проблеми. Складанню розкладів відносно директивних строків приділяється значна увага в літературі. Принцип виробництва «точно у строк» установлює, що необхідна кількість товарів повинна бути вироблена або поставлена точно в заданий час. Виконання робіт із випередженням призводить до витрат на складування, запізнення робіт – до штрафів і, як наслідок, втрати доброзичливості клієнтів і репутації фірми.

Задача мінімізації сумарного випередження та запізнення під час виконання завдань одним приладом з налагодженнями (1-МВЗН), залежними від послідовності, може бути сформульована таким чином: множина з n незалежних завдань $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ повинна бути призначена на виконання без переривань на одному приладі, який може працювати не більше ніж з одним завданням одночасно. Прилад та завдання передбачаються безупинно доступними з моменту часу нуль, а простої приладу не допускаються. Завдання j , де $j = 1, 2, \dots, n$, вимагає часу виконання p_j і в ідеалі повинно бути закінчене у свій директивний термін d_j . Для окремих завдань задано час налагодження s_{ij} . Це означає, що в розкладі, в якому завдання j виконується відразу після завдання i , повинен бути час налагодження s_{ij} одиниць часу між моментами завершення завдання i , позначеним через c_i , та часом початку завдання j , що дорівнює $c_j - p_j$. Упродовж періоду налагодження жодне інше завдання не може виконуватися приладом. Тривалості налагодження залежні від послідовності, тому що вони залежать як від i , так і від j . Мета полягає в тому, щоб знайти

розклад, який мінімізує сумарне випередження і запізнення всіх завдань:
$$\sum_{j=1}^n (E_j + T_j).$$

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для задачі мінімізації сумарного випередження і запізнення на одному приладі Бейкер і Скуддер [4] дають огляд упорядкування зі штрафами за випередження та запізнення, а Кенет і Шрідхаран [7] надають огляд щодо складання розкладів зі вставкою простою. Коулман [5] описує оптимальну процедуру для задач малої розмірності на одному приладі, коли між роботами є налагодження, що залежать від послідовності.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Більшість відомих напрацювань, присвячених проблемі розв'язання задач планування, пов'язаних з налагодженням приладів, передбачають одержання оптимального розв'язку на основі методів: гілок та границь, динамічного планування або частково цілочисельного програмування, здебільшого, для задач невеликої розмірності (до 20 завдань). Проте недостатньо досліджені питання розв'язання задач оптимізації одним приладом з налагодженнями евристичними методами та для великої кількості завдань.

У [3] запропоновано ефективний евристичний алгоритм розв'язання задачі 1-МВЗН, в основу якого покладено новий підхід до розв'язання задачі мінімізації сумарного випередження й запізнення на одному приладі (МВЗ), викладений у [1; 2].

Мета статті. Стаття присвячена дослідженню ефективності евристичного алгоритму, побудованого на основі методу, викладеного в [3]. Оцінювались: вплив розмірності задачі на час її розв'язання, вплив діапазону директивних строків R і фактора запізнення T , ефективність алгоритму в порівнянні з методом гілок і границь.

Виклад основного матеріалу. Алгоритм складання розкладів за критерієм 1-МВЗН із налагодженнями, що залежать від послідовності:

Блок 1. Побудова початкової послідовності. На множині $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ без урахування налагоджень розв'язується задача МВЗ [1]. Отримуємо послідовність σ^R .

Блок 2. У послідовності σ^R для завдань, щодо яких задані налагодження приладу, включаємо значення налагоджень. Отримуємо послідовність σ^{R1} .

Блок 3. Локальний пошук кращого розв'язку. Локальний пошук алгоритму А4 включає дві процедури: процедуру А, що заснована на перестановках, та процедуру В, засновану на вставках.

Процедура А (окіл перестановок). Розглянемо послідовність σ^{R1} . Послідовно міняються місцями два чергові завдання, починаючи з першої позиції. Завдання на позиції 1 поступово міняється місцями із завданнями, що мають позиції 2, 3, ..., $n-1$. Нехай вже виконані перестановки для завдань на позиціях 1, 2, ..., $i-1$. Завдання на позиції i міняється із завданнями на позиціях $i+1, i+2, \dots, n$. Нехай σ_{ij} – послідовність, що отримана з поточної послідовності перестановкою завдань i та j , $i, i \leq j \leq n$. У цій послідовності відкоригуємо значення налагоджень. Значення функціоналу часткової послідовності становить:

$$F_{i,j}(SWAP) = |c_j - d_i| + |c_i - p_i + p_j - d_j| + \sum_{l=i+1}^{j-1} |c_l - p_i + p_j - d_l|.$$

Після кожної перестановки корегується в поточній послідовності значення налагоджень, які залежать від послідовності завдань, і визначається значення функціонала. Якщо це значення не краще поточного, завдання повертаються на свої позиції, але якщо значення функціоналу зменшується після перестановки, тоді поточна послідовність оновлюється, і процес починається із завдання в позиції $i-1$.

Процедура В (окіл вставок). Розглядається послідовність σ^{R1} з початку. Кожне чергове завдання i поступово вбудовується на позицію j в послідовності σ^{R1} , $i = \overline{1, n}$.

Нехай розглядається завдання, яке посідає позицію i . Поступово вбудовуємо його на позицію j , $j = \overline{1, n}$. У поточній послідовності корегуємо тривалість налагоджень і ви-

значаємо значення функціонала часткової послідовності i, \dots, j . Якщо $j < i$, використо-

вується вираз: $F_{i,j}(EBSR) = |c_i - p_i + p_j - d_j| + \sum_{l=i+1}^{j-1} |c_l + p_j - d_l|$.

Якщо $i < j$: $F_{i,j}(EFSR) = |c_j - d_i| + \sum_{l=i+1}^j |c_l - p_i - d_l|$.

Якщо значення функціоналу не покращилося, повертаємо завдання на позицію i , інакше оновлюємо поточну послідовність. Процес продовжуємо, починаючи з позиції $i+1$.

Схема генерації даних, запропонована Фішером [6], використовувалася для тестування алгоритму на різних типах прикладів, тип задачі визначається комбінацією фактора запізнення T і діапазону директивних строків R . Для кожної задачі спочатку генеруються тривалості виконання і часи налагоджень із рівномірного розподілу із заданими границями. Потім обчислюються директивні строки з розподілу, рівномірного на $[p^*(1-T-R/2), p^*(1-T+R/2)]$, де p^* – сума всіх тривалостей. Значення T і R вибираються з множин $\{0,2; 0,4; 0,6; 0,8\}$ і $\{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0\}$, відповідно, даючи по 20 задач кожного типу.

У табл. 1–4 представлено середньоарифметичний час розв'язання задач різної розмірності.

Таблиця 1

Середній час розв'язання задач для $n = 10$ (мс)

T \ R	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0	0,8	0,8	0,8	1,2	1,2	1,2
0,2	2,2	9,5	3,4	1,2	1,2	1,7
0,4	2,2	225,52	78,33	54,4	6,2	4,7
0,6	2,2	291,97	638,04	699,85	1092,96	1461,20
0,8	2,2	66,6	62,7	249,0	244,07	1220,14
1	2,2	5,5	8,8	9,7	26,5	168,2

Таблиця 2

Середній час розв'язання задач для $n = 15$ (мс)

T \ R	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0	1,4	1,4	1,4	2,2	2,2	2,2
0,2	4,0	17,4	6,2	2,2	2,2	3,0
0,4	4,0	414,33	144,26	100,1	11,3	8,6
0,6	4,0	536,43	1175,66	1291,96	2018,11	2702,69
0,8	4,0	122,6	115,4	457,7	448,67	2247,5
1	4,0	10,0	16,2	17,8	49,1	311,6

Таблиця 3

Середній час розв'язання задач для $n = 20$ (мс)

T \ R	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0	2,2	2,2	2,2	3,4	3,4	3,4
0,2	6,2	26,8	9,5	3,4	3,4	4,7
0,4	6,2	637,92	222,49	154,2	17,4	13,3
0,6	6,2	825,94	1813,89	1995,97	3118,29	4181,18
0,8	6,2	189,1	177,8	704,9	691,07	3466,77
1	6,2	15,5	25,0	27,6	75,9	482,5

Таблиця 4

Середній час розв'язання задач для $n = 25$ (мс)

T \ R	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0	3,0	3,0	3,0	4,7	4,7	4,7
0,2	8,6	37,5	13,3	4,7	4,7	6,5
0,4	8,6	891,53	311,37	215,6	24,4	18,5
0,6	8,6	1154,34	2539,16	2796,92	4370,12	5865,27
0,8	8,6	264,7	248,7	985,4	966,13	4852,03
1	8,6	21,7	35,0	38,6	106,5	677,3

Зведемо результати з табл. 1–4 у табл. 5. У колонці «Опт» показано час оптимального розв'язання задачі, отриманого алгоритмом гілок і границь. Утворюємо на основі таблиць 1–4 три комбінації параметрів R і T , що відображають для кожної комбінації f і n_f найбільш складні випадки задачі – комбінація I: $R=1,0$; $T=0,6$; комбінація II: $R=0,8$; $T=0,6$; комбінація III: $R=0,2$; $T=0,6$.

Таблиця 5

Середній час розв'язання t_{cp} порівняно з точним алгоритмом (с)

Параметри задачі		t_{cp}		Параметри задачі		t_{cp}	
n	Комбінація параметрів	Опт	A	n	Комбінація параметрів	Опт	A
10	I	3,2	1,461	20	I	40,5	4,811
10	II	3,3	0,291	20	II	38,2	0,862
10	III	3,1	1,092	20	III	31,0	3,118
15	I	15,9	2,702	25	I	115,9	5,665
15	II	16,2	0,526	25	II	119,1	1,154
15	III	14,8	2,018	25	III	77,2	4,370

Результати табл. 5 показують, що досліджуваний алгоритм був ефективним. У середньому на розв'язання треба було менше, ніж 5,7 секунди для будь-якого набору з 20 задач. Середня кількість часу, необхідного для оптимального розв'язання алгоритмом гілок і границь, становила не більше 2 хвилин. Час, необхідний для оптимального розв'язання, швидко збільшувався під час зростання розмірності.

У табл. 6 показано середнє відхилення значення функціонала від оптимального у відсотках. Відсоток відхилення Δ обчислюється таким чином: $\Delta = (Z - Z_{opt}) \cdot 100 / Z_{opt}$, де Z_{opt} – сумарне випередження/запізнення розв'язку, зробленого алгоритмом гілок і границь, а Z – сумарне випередження/запізнення розв'язку, зробленого евристичним алгоритмом.

Таблиця 6

Середнє відхилення значення функціонала від оптимального

Комбінація параметрів	I	II	III
10	0,0	0,0	0,0
15	0,1	0,1	0,0
20	0,8	0,7	1,2
25	7,0	5,0	9,0

Результати табл. 6 показують, що для всіх задач з розмірністю 10 алгоритм знайшов оптимальний розв'язок. Середній відсоток відхилення становив близько 2 % на всіх множинах задач і менше 1 % для 8 з 12 множин задач.

Висновки. Дослідження показали, що запропонований алгоритм дає змогу одержати розв'язки задачі, наближені до оптимальних з невеликим відхиленням.

Список використаних джерел

1. Згуровский М. З. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами : монография / М. З. Згуровский, А. А. Павлов. – К. : Наукова думка, 2010. – 573 с.
2. Павлов О. А. Дослідження властивостей та розв'язання задачі «Мінімізація сумарного штрафу як за випередження, так і за запізнення відносно директивних строків при виконанні незалежних завдань одним приладом» / О. А. Павлов, О. Б. Місюра, О. В. Мельников // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : зб. наук. пр. – К. : ВЕК+, 2008. – № 48. – С. 3–6.
3. Складання розкладів сумарного випередження і запізнення із налагодженнями, що залежать від послідовності / Ф. Г. Ващук, О. А. Павлов, О. Б. Місюра, О. О. Мельник // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : зб. наук. пр. – К. : ВЕК+, 2011. – № 53. – С. 192–194.
4. Baker K.R. Sequencing with earliness and tardiness penalties: a review / Baker K.R., Scudder G.D. // Operations Research. – 1990. – № 38 (1). – P. 22–36.
5. Coleman B.J. A simple model for optimizing the single machine early/tardy problem with sequence dependent setups / B. JAY Coleman // Production and Operations Management. – 1992. – Vol. 1 (2). – P. 225–228.
6. Fisher M.L. A dual algorithm for the one-machine scheduling problem / Marshall L. Fisher // Mathematical Programming. – 1976. – Vol. 11 (1). – P. 229–251.
7. Kanet J.J. Scheduling with inserted idle time: Problem taxonomy and literature review / Kanet J.J., Sridharan V. // Operations Research. – 2000. – № 48 (1). – P. 99–110.

УДК 528.4:528.3

О.І. Терещук, канд. техн. наук**І.О. Нисторьяк**, викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ДОСВІД ФУНКЦІОНУВАННЯ ПЕРМАНЕНТНОЇ GNSS-СТАНЦІЇ
«ЧЕРНІГІВ» (CNIV) У МЕРЕЖІ EPN****А.И. Терещук**, канд. техн. наук**И.А. Нисторьяк**, преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ОПЫТ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРМАНЕНТНОЙ GNSS-СТАНЦИИ
«ЧЕРНИГОВ» (CNIV) В СЕТИ EPN****Oleksii Tereshchuk**, PhD in Technical Sciences**Ivan Nystoriak**, teacher

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

**EXPIRIENCE OF FUNCTIONING OF THE PERMANENT GNSS-STATION
«CHERNIHIV» (CNIV) IN EPN NETWORK**

Стаття присвячена десятій річниці роботи перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV). Висвітлено історію розвитку станції, зокрема, внесення її до EPN – EUREF Permanent Network, зміну обладнання під час експлуатації та основні етапи становлення GNSS-мережі в Україні загалом.

Проаналізовано зміни координат за час роботи станції, кількість спостережень, вплив багатопроменевості та розглянуто координати станції у різних системах. Оцінено також комбіновані координати, швидкості їх зміни та значення тропосферної рефракції. Досліджено вплив та величину річних і сезонних тропосферних рефракцій на станції.

Зазначено, що станція «CNIV» віднесена до класу точності «А» через високий статус свого стабільного положення, похибка якого становить до 1 см у всіх епохах проведених спостережень. З огляду на це станція CNIV може використовуватися як довірна станція для EUREF ущільнення.

Ключові слова: перманентна станція, GPS, спостереження, GNSS, клас точності, CNIV.

Статья посвящена десятой годовщине работы перманентной GNSS-станции «Чернигов» (CNIV). Освещена история развития станции, в частности, внесение ее в EPN – EUREF Permanent Network, изменение оборудования при эксплуатации и основные этапы становления GNSS сети в Украине в целом.

Проанализированы изменения координат за время работы станции, количество наблюдений, влияние многолучевости и рассмотрены координаты станции в различных системах. Оценены также комбинированные координаты

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

ты, скорости их изменения и значение тропосферной рефракции. Исследовано влияние и величину годовых и сезонных тропосферных рефракций на станции.

Отмечено, что станция «CNIV» отнесена к классу точности «А» через высокий статус своего стабильного положения, погрешность которого составляет до 1 см во всех эпохах проведенных наблюдений. Учитывая это, станция CNIV может использоваться в качестве доверительной станции для EUREF сгущения.

Ключевые слова: перманентная станция, GPS, наблюдения, GNSS, класс точности, CNIV.

The article is devoted to the tenth anniversary of permanent GNSS-station "Chernihiv" (CNIV). The history of the station, including introducing her to EPN – EUREF Permanent Network, change equipment during operation and the main stages of formation GNSS-network in Ukraine as a whole.

The article analyzes the change of coordinates on the work station observations, the effect of multipath and reviewed coordinate stations in different systems. Estimated combined as coordinates, velocity of change and value troposphere refraction. The influence and size of annual and seasonal tropospheric refraction at the station.

Specified that the station «CNIV» attributed to accuracy class "A" due to the high status of its stable position error which is 1 cm in all the eras performed observations. With this in mind, CNIV station can be used as the confidential EUREF stations for thickening.

Key words: permanent station, GPS, observations, GNSS, accuracy class, CNIV.

Постановка проблеми. Одним із пріоритетних векторів розвитку інженерно-будівельного факультету, який був заснований у 2003 році та проводив освітню діяльність з напрямів підготовки інженерного спрямування, вважалося створення відповідних умов для розгортання сучасних супутникових технологій координатного забезпечення. Впровадження цих технологій, зокрема і в навчальний процес, вважалося певним «локомотивом» у становленні та розвитку вже ліцензованих на той час спеціальностей – землевпорядкування та кадастр і геоінформаційні системи й технології.

Аналіз останніх досліджень. За результатами проведеного моніторингу з цих питань з'ясувалося, що до 2003 року ринок надання супутникових навігаційних послуг в області тільки формувався і необхідність створення на цих теренах перманентної GPS-станції стала очевидною, оскільки на Чернігівщині такої станції не було. Правда, в Україні на той час уже працювали вісім перманентних станцій, які входили, крім української, ще і до європейської перманентної мережі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Було прийняте рішення щодо придбання та встановлення 9-ї в Україні перманентної станції на базі факультету в м. Чернігові. Залишилося тільки придбати двохчастотний GPS-приймач з антеною. Вартість цього обладнання і на сьогодні залишається надзвичайно високою, не кажучи, які це кошти були 12 років тому. На той час фінансовий стан інституту не дозволяв придбати для навчального закладу приймач навіть зі знижкою від виробника. Тому довелося звернутися за допомогою до наших колег-науковців з Києва, які фундаментально працювали над питаннями координатного забезпечення України. Після недовгих вагань директор ГАО НАН України академік Ярослав Яцків передав нам у тимчасове користування комплект супутникового приймача Trimble 4000SSi з антеною Choke Ring [14; 9]. Комплект обладнання потребував, як з'ясувалося згодом, серйозного ремонту. Кошти на ремонт знайшлися, завдяки небайдужості осіб, які були позитивно налаштовані на вирішення цієї проблеми.

Далі вирішувалися суто технічні питання, пов'язані із встановленням та розгортанням станції на даху навчальної споруди інституту. Спочатку виникали певні занепокоєння щодо місця встановлення антени GPS-станції, беручи до уваги 2–3-поверховість споруд навчального корпусу інституту та їх розташування «по-сусідству» з дев'ятиповерхівками. Після проведеного детального аналізу щодо можливості встановлення антени у таких умовах, за яких задовольнялися б вимоги міжнародних служб до встановлення антен-станцій, вихід був знайдений.

Для встановлення антени приймача була запроектована та виготовлена 6-метрова термостатована телескопічна щогла, частина якої, приблизно половина, кріпилася анкерними болтами та розтяжками до плит перекриття на горищі, інша – як продовження

на даху. За попередніми розрахунками запроєктована щогла мала б витримувати наявні температурні впливи та бути стійкою до вітрових навантажень [16].

На сьогодні можемо констатувати, що за результатами 10-річних спостережень [8; 10; 15; 17; 18] станція CNIV підтверджує свою стійкість у планово-висотному положенні. Розроблена телескопічна конструкція щогли таких розмірів для кріплення антени приймача є чи не єдиною в Україні, а може і в Європі.

Мета статті. Головною метою цієї роботи було вивчити та проаналізувати роботу станції за всі десять років її функціонування. Оцінити швидкості зміни координат станції CNIV, що входить у EPN. Визначити основні критерії якості роботи станції та дослідити точність отримуваних розв'язків і стабільність роботи станції CNIV.

Виклад основного матеріалу. Нову GNSS-станцію «Чернігів» [18] (ідентифікатор: CNIV, номер IERS DOMES: 15501M001) було встановлено 1 квітня 2005 р. та 19 травня цього ж року введено в експлуатацію у межах співпраці між Головною астрономічною обсерваторією НАН України (ГАО НАН України, м. Київ) та Чернігівським державним інститутом економіки і управління (нині Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів) з метою розвитку української постійної GNSS-мережі [19].

Станція розташована в будівлі інженерно-будівельного факультету ЧДІЕУ (нині ЧНТУ) за адресою м. Чернігів, вул. Генерала Белова, 4. Антена встановлена на металевій телескопічній опорі висотою 6 м, яку змонтовано на даху третього поверху навчального корпусу (рис. 1, а). Конструктивні дані опори та розрахунок конструкції на міцність залежно від температурного режиму та вітрового навантаження наведено в [16].

На станції «Чернігів» (CNIV) встановлено комплект GNSS-апаратури від фірми Trimble Navigation, Ltd.:

- приймач «Trimble 4000SSi» (рис. 1, б);
- антену дизайну Choke Ring (код IGS: TRM29659.00);
- антенний кабель довжиною 30 м.



а



б

Рис. 1. Обладнання постійної станції «Чернігів»

Вищевказане обладнання використовувалось до модернізації, яка відбулася у 2011 році, а саме 15 травня 2011 року було встановлено (рис. 2):

- приймач NovAtel DL-V3 (код IGS:NOV OEMV3) ;
- антену без купола Novatel-702GG (код IGS: NOV702GG);
- антенний кабель довжиною 25 м.

14 лютого 2013 р. (день року 045) на станції CNIV (Чернігів) встановлено обладнання компанії System Solutions (рис. 3):

- приймач LEICA GRX1200+GNSS (S/N 496975);
- антену LEIAR10(S/N 15303008);
- антенний кабель довжиною 30 м.



Рис. 2. Оновлене обладнання на станції «Чернігів» – приймач NovAtel DL-V3



Рис. 3. Обладнання фірми Leica на постійній станції «Чернігів»

Спостереження GNSS-супутників відновлені в 11:46 GPS. Відтепер станція CNIV входить у мережу System.NET.

23 вересня 2014 р. приймач було замінено на LEICA GR10 (S\N 701077), який працює дотепер.

У табл. наведено координати станції в різних системах координат.

Таблиця

Координати станції

Система координат	X	Y	Z (H)
СК-63 [5]	5515018,228	5385917,219	124,074
УСК-2000 [6]	5711277,038	6383062,412	151,970
IGS08	3397784,981	2066990,660	4969811,615
IGb08 (епоха: 2012.0) [4]	3397784,996	2066990,520	4969811,521
ETRF2000 (епоха: 2012.0) [3]	3397785,555	2066990,333	4969811,346
ITRF [1]	3397785,211	2066990,560	4969811,575
Географічні	+513108,18	+0311848,96	175,9

Регулярні спостереження GNSS-супутників на станції «Чернігів» розпочато 2 вересня 2005 р. Управління станцією здійснюється за допомогою програми Весux під операційною системою Linux в автоматичному режимі. Режим роботи станції дещо видозмінювався, але нині має такий вигляд:

- інтервал реєстрації сигналів від супутників – 1 с;
- мінімальний кут місця для супутників, що спостерігаються – 0° ;
- пересилання файлів спостережень – щогодини.

Дані спостережень пересилаються у внутрішньому бінарному форматі до Операційного центру даних у ГАО НАН України, де вони перетворюються у формат Compact RINEX.

Кількість зареєстрованих спостережень GNSS-супутників на станції «Чернігів» показано на рис. 4. Як ми бачимо, за 10 років кількість спостережень збільшилася на 4 500, що пов'язано, на нашу думку, зі збільшенням супутників, які спостерігають. Оцінений вплив багатопроменевості на частотах L1 та L2 на станції, для прикладу, за 2012 рік, наведено на рис. 5.

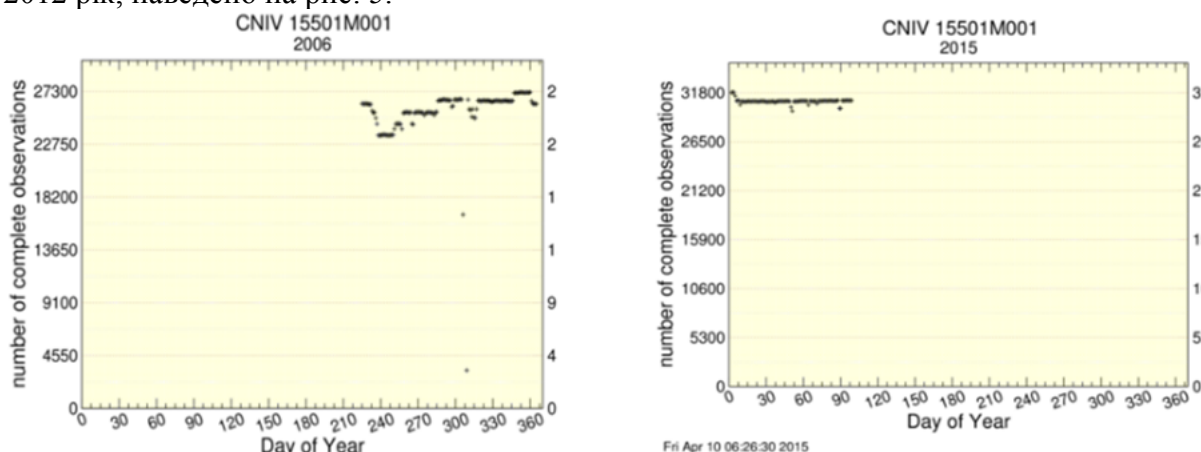


Рис. 4. Кількість спостережень на станції «Чернігів» за 2006 та 2015 рр.

29 жовтня 2006 р. (GNSS-тиждень 1399) станцію «Чернігів» було включено до Європейської перманентної GNSS-мережі (EPN) [23]. На веб-сторінці Центрального Бюро EPN, присвяченій станції CNIV, наведено інформацію про станцію, оцінювання якості спостережень, часові ряди координат станції, реалізовано доступ до даних спостережень з інтервалом 30 с та до листів з електронної розсилки EPN, що відносяться до станції [11; 12]. На рис. 5 показано вплив багатопроменевості на частоті L1 та L2, для прикладу, за 2012 рік. Як видно з рис. 5, на частоті L1 вплив багатопроменевості в середньому становить 0,4 м, тоді як на частоті L2 він сягає більше 1 м.

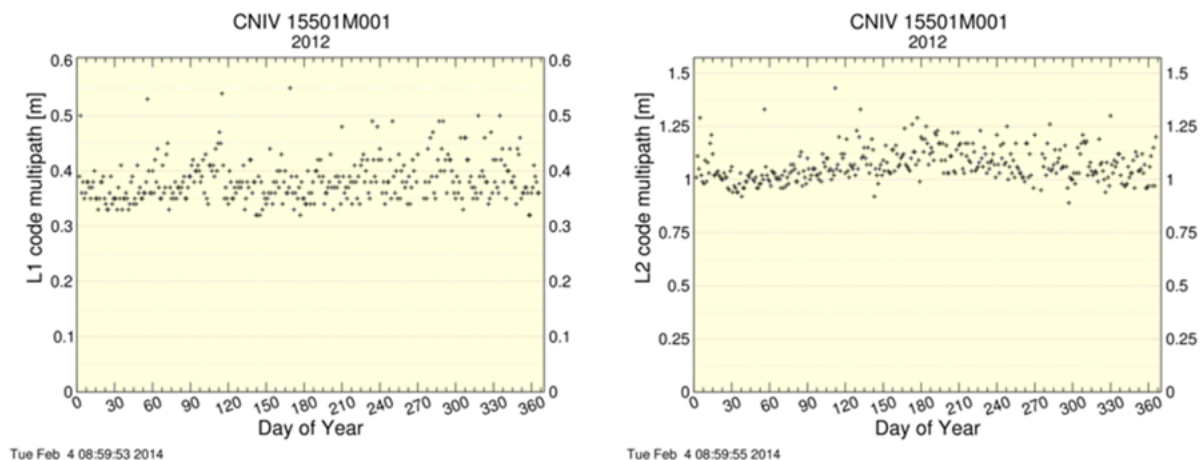


Рис. 5. Вплив багатопроменевості на станції «Чернігів» за 2012 рік по частотах L1 та L2

Починаючи з GNSS-тижня 1399 дані спостережень на станції «Чернігів» обробляються чотирма центрами аналізу даних EPN:

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

- OLG (Інститут космічних досліджень, м. Грац, Австрія);
- SGO (Супутникова геодезична обсерваторія, м. Пенц, Угорщина);
- UPA (Університет Падуї, м. Падуя, Італія);
- WUT (Варшавська політехніка, м. Варшава, Польща).

Оцінені комбіновані координати та швидкості станції «Чернігів» також доступні як на веб-сторінці [11], так і на ftp-сервері [24] Центрального Бюро EPN.

Спостереження GNSS-супутників на станції «Чернігів» (CNIV) для GNSS-тижнів 1338–1399 було оброблено в Локальному центрі аналізу GNSS-даних ГАО НАН України за допомогою програмного комплексу «Bernese GNSS Software ver. 4.2» [21] відповідно до вимог EPN, дійсних на той час. Отримані оцінки координат станції «Чернігів» та значення тропосферної рефракції для цієї станції показані на рис. 9–11.

Нами були проведені експериментальні GNSS-спостереження у 2011 [8] та 2014 роках [10] на роверних станціях у Чернігівській та Київській областях, в яких станція «Чернігів» (рис. 6) виконувала роль однієї з базових станцій [10; 8; 15; 17].



Рис. 6. Схема розташування перманентних GPS-станцій CNIV-Чернігів, PRYL-Прилуки, KОРP-Короп

Як видно з рис. 7–9, величина зміни координат за весь час роботи станції становить до 5 мм у плані та до 10 мм по висоті, що є досить вагомим показником, враховуючи умови встановлення станції [13; 16; 18]. Зважаючи на це, EUREF класифікував CNIV (Чернігів, Україна) у класі точності А. Це означає, що станція може використовуватися як довірна станція для EUREF ущільнення [22].

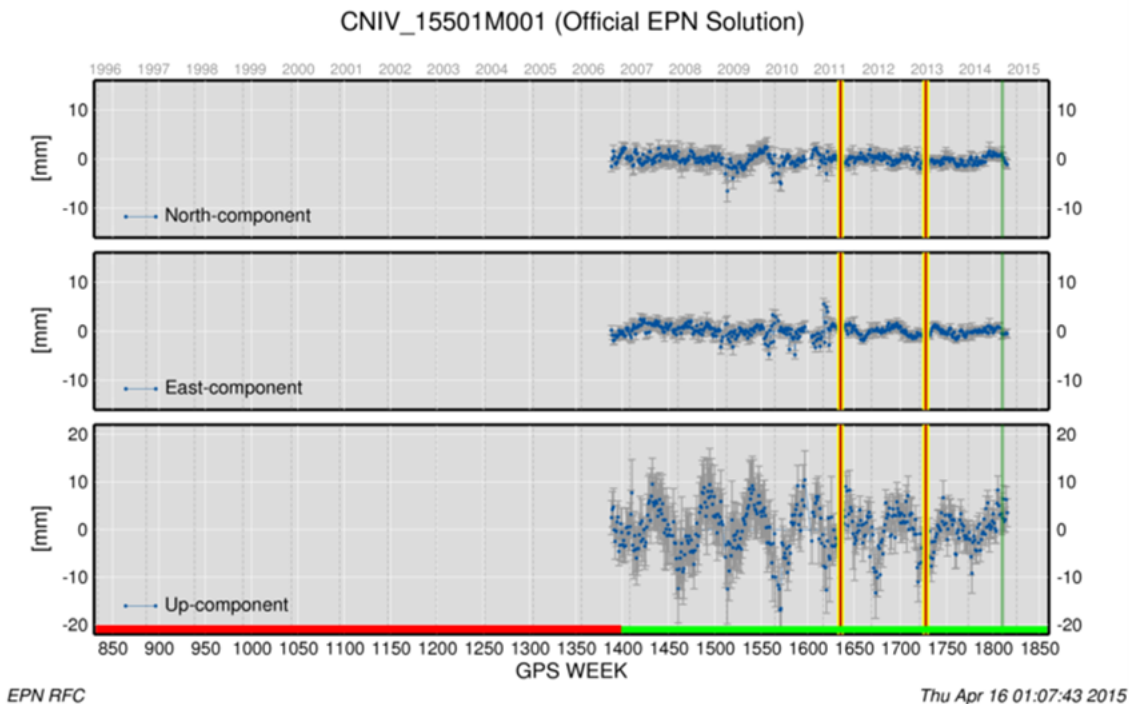


Рис. 7. Зміни координат станції «Чернігів»

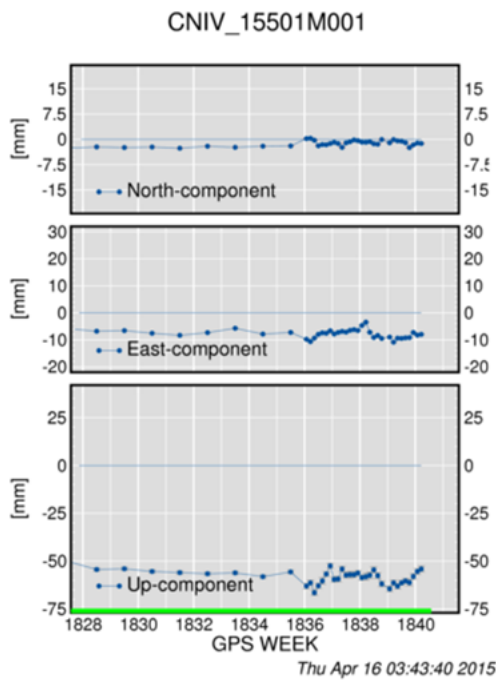


Рис. 8. Щотижневі рішення EPN положення станції «Чернігів» (за останні тижні)

EPN_A_ETRF2000_C1815.SSC - EPN_A_IGb08_C1815.SSC (January 22, 2015)

ETRF2000	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
048/2013 - 298/2014	001/2005	3397785.555 ± 0.001	2066990.333 ± 0.001	4969811.345 ± 0.001	0.0005 ± 0.0001	-0.0005 ± 0.0001	0.0004 ± 0.0001
136/2011 - 040/2013	001/2005	3397785.599 ± 0.001	2066990.360 ± 0.001	4969811.407 ± 0.001	0.0005 ± 0.0001	-0.0005 ± 0.0001	0.0004 ± 0.0001
225/2006 - 132/2011	001/2005	3397785.598 ± 0.000	2066990.359 ± 0.000	4969811.410 ± 0.001	0.0005 ± 0.0001	-0.0005 ± 0.0001	0.0004 ± 0.0001
IGb08	epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/y)		
		X	Y	Z	V_x	V_y	V_z
048/2013 - 298/2014	001/2005	3397785.181 ± 0.001	2066990.519 ± 0.001	4969811.520 ± 0.001	-0.0196 ± 0.0001	0.0143 ± 0.0001	0.0090 ± 0.0001
136/2011 - 040/2013	001/2005	3397785.225 ± 0.001	2066990.547 ± 0.001	4969811.582 ± 0.001	-0.0196 ± 0.0001	0.0143 ± 0.0001	0.0090 ± 0.0001
225/2006 - 132/2011	001/2005	3397785.224 ± 0.000	2066990.545 ± 0.000	4969811.585 ± 0.001	-0.0196 ± 0.0001	0.0143 ± 0.0001	0.0090 ± 0.0001

Рис. 9. Фрагмент таблиці координат та їх змін для станції «Чернігів», що публікуються EUREF

Затримки розповсюдження кодових і фазових GNSS сигналів, що зумовлені нейтральною атмосферою (тобто тропосферою), напевне один із останніх факторів, що обмежує точність геодезичних застосувань GNSS. Зенітна затримка (ZTD) через тропосферну рефракцію має порядок 2,3 м або близько 8 нс для станції на рівні моря в стандартних атмосферних умовах [2]. На рис. 10 показані значення тропосферної рефракції для станції «Чернігів» по роках.

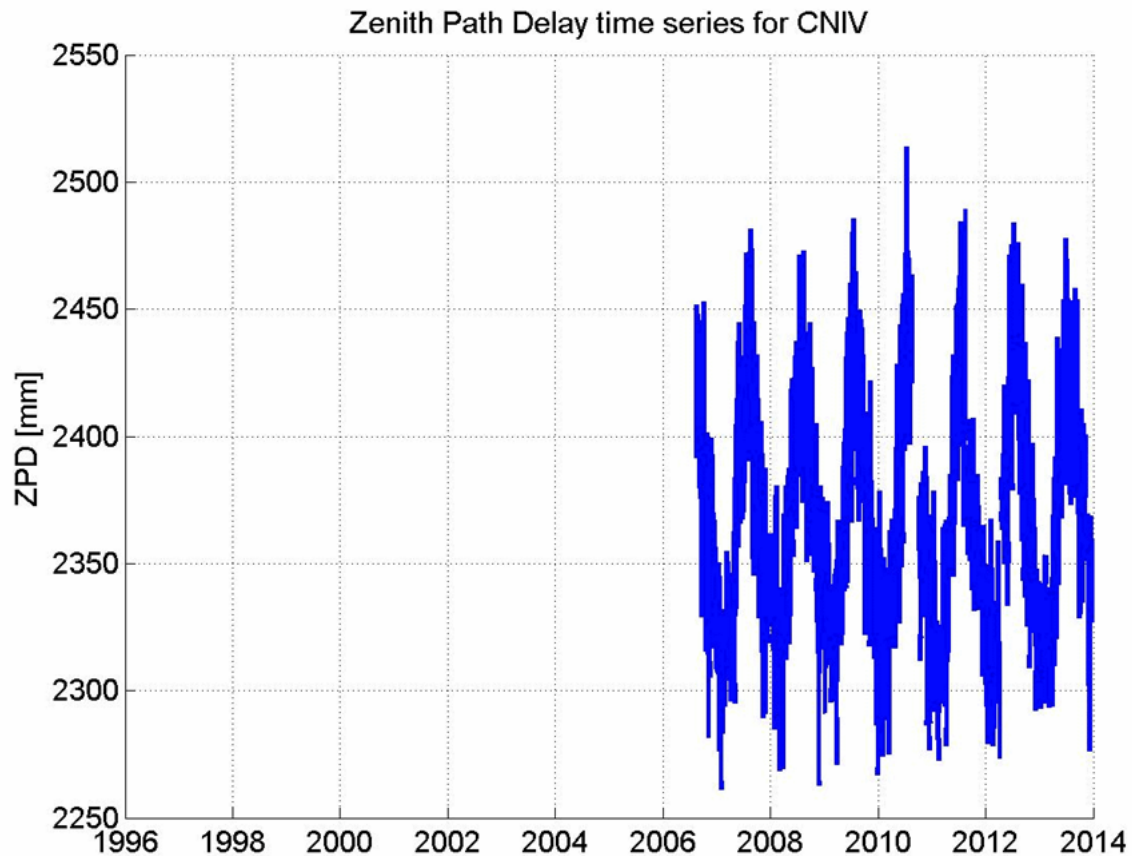


Рис. 10. Значення тропосферної рефракції для станції «Чернігів» по роках

Аналізуючи рис. 11, можна зробити висновок, що найбільша інтенсивність варіацій зенітної тропосферної затримки радіосигналів досягається в літній період, мінімальна – у зимовий. Навесні і восени рівень варіацій усіх масштабів практично відповідає середньорічному. Цікаво, що в середньому інтенсивність мезомасштабних процесів щодо величини добового ходу становить 30–50 %, однак максимальне співвідношення інтенсивності мезомасштабних процесів у кілька разів можуть перевищувати величину добового ходу в окремі моменти часу. Тобто вимушені коливання атмосферної рефракції (добовий хід метеопараметрів) і мезомасштабна динаміка, як і слід було очікувати, обумовлені різними причинами [7].

У теплий період року, переважно в денні години, мезомасштабна динаміка обумовлена конвекцією, викликані нагріванням підстилаючої поверхні. Крім того, при позитивних приземних температурах повітря збільшується кількість водяної пари у тропосфері, а його поле істотно неоднорідне [20]. Отже, зростає вплив неоднорідностей водяної пари у варіації індексу рефракції, що також може посилювати сезонний хід флуктуацій тропосферної затримки радіохвиль. Вплив поля тиску на інтенсивність мезомасштабної динаміки тропосфери, швидше за все також пов'язаний з комплексним впливом конвекції і зростаючої концентрації водяної пари у тропосфері.

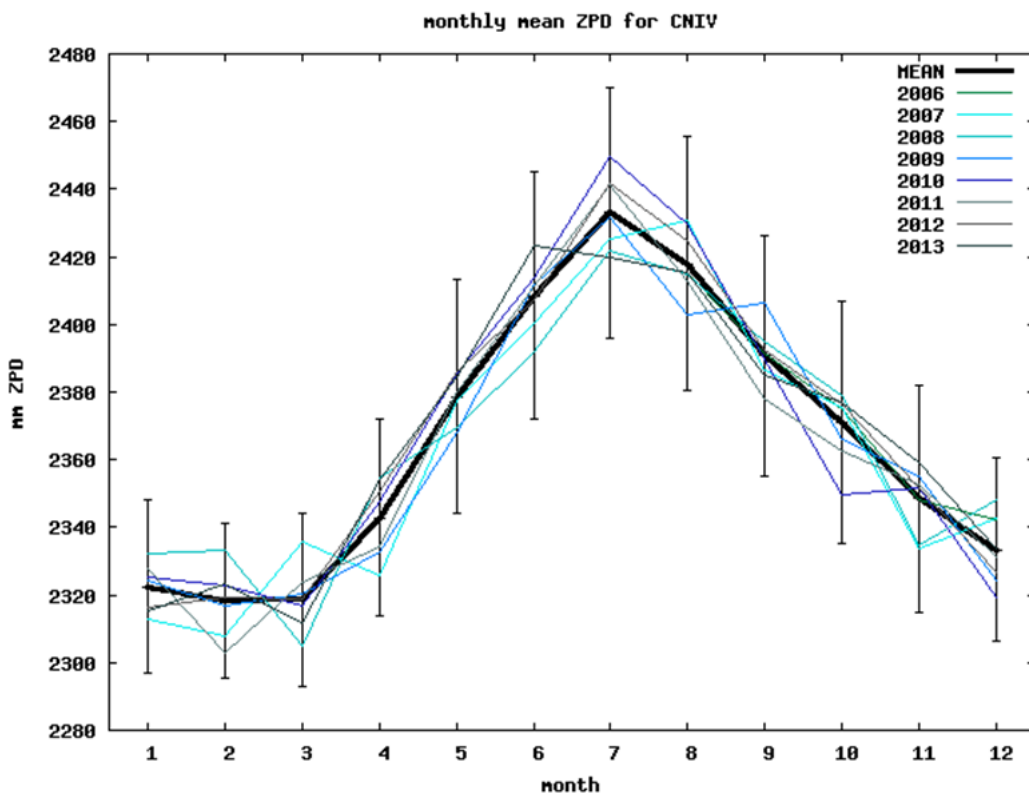


Рис. 11. Значення тропосферної рефракції для станції «Чернігів» по місяцях

Враховуючи десятилітні спостереження на станції CNIV та запровадження EPN у 2012 році певної класифікації станцій за швидкостями змін координат, станцію CNIV було класифіковано у класі А (рис. 12). Це означає, що станція може використовуватися як довірна станція для EUREF ущільнення [22].

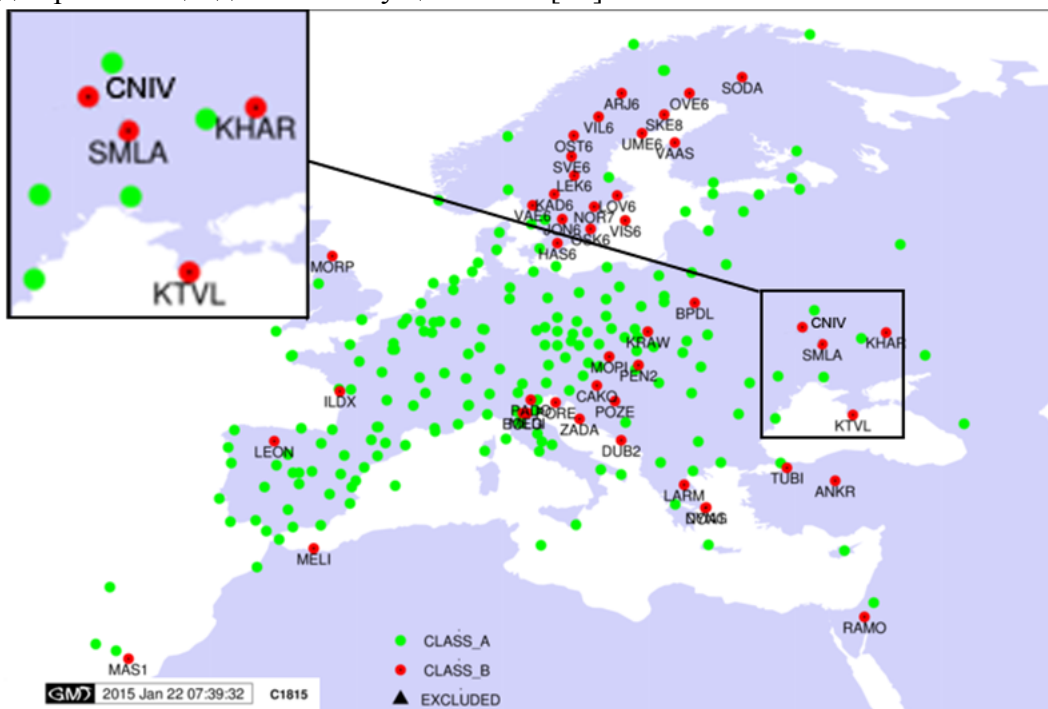


Рис. 12. Карта станцій EPN: станції, позначені зеленим кольором, – станції класу А (точність визначення координат до 1 см на всіх епохах спостережень); станції, позначені червоним кольором, – станції класу В (точність визначення координат до 1 см в епоху мінімальної дисперсії кожної станції)

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Цей підхід до класифікації станцій є прагматичним, адже під час класифікації враховується консолідація послідовних оцінок швидкості як основний фактор, щоб перевірити очікувану стабільність координат ETRS89. Основним критерієм є стаціонарність оцінок швидкості станції, де всі 3 компоненти розглядаються окремо.

Станція класу А повинна мати кращі результати, ніж:

- 0,5 мм/рік швидкість «повторюваності» вираховується за останній рік, що відповідає 10 послідовним оцінкам 5-тижневих кроків;
- 0,5 мм/рік швидкість невизначеності вираховують із останніх 3 послідовних накопичувальних рішень, причому жоден компонент з будь-яких трьох рішень не може перевищувати встановлену межу.

В обох випадках усі компоненти перевіряються окремо і всі повинні виконувати вимоги. Станції, що мають менше ніж 2 роки спостережень, у цій класифікації не розглядаються [25].

Висновки. Аналіз роботи перманентної GNSS-станції Чернігів та отримані значення похибки планово-висотного положення свідчать про її високу стійкість, стабільність та надійність результатів спостережень.

Досліджено вплив річних і сезонних тропосферних рефракцій на станції, оцінені також комбіновані координати та швидкості їх зміни.

Впродовж десяти років безперебійної роботи станції тричі змінювалося обладнання при незначних змінах швидкості координат. Зважаючи на цей факт, станцію CNIV віднесено до класу точності «А» через її високий статус стабільного (стійкого) положення, похибка якого становить до 1 см у всіх епохах проведених спостережень. З огляду на це станція CNIV може використовуватися як довірна станція для мережевого ущільнення EUREF.

Список використаних джерел

1. Журнал станції CNIV в мережі EPN [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.epncb.oma.be/_networkdata/logfile.php?name=cniv_20140929.log_log&button=View.
2. Каблак Н. І. Сучасні підходи до визначення та використання тропосферних затримок / Н. І. Каблак // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2009. – Вип. 72. – С. 22–27.
3. Координати станцій мережі EPN. ETRF2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : ftp://epncb.oma.be/pub/station/coord/EPN/EPN_A_ETRF2000_C1770.SSC.
4. Координати станцій мережі EPN. IGB08 [Електронний ресурс] // Режим доступу : ftp://epncb.oma.be/pub/station/coord/EPN/EPN_A_IGB08_C1770.SSC.
5. Координати станцій мережі System.NET. СК-63 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://systemnet.com.ua/ua/coverage-ukr/stantsiji-merezhi/sk-63>.
6. Координати станцій мережі System.NET. УСК-2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://systemnet.com.ua/ua/coverage-ukr/stantsiji-merezhi/usk-2000>.
7. Мониторинг вариаций параметров тропосферы с помощью сети приемников спутниковых навигационных систем / О. Г. Хуторова, Г. М. Тептин, В. Е. Хуторов, В. В. Калинин // Распространение радиоволн : труды XXIV всероссийской конференции. – Иркутск, 2014. – С. 272–275.
8. Перша GNSS-кампанія у Північному регіоні України / О. Терещук, Я. Яцків, В. Мовенко та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – № 1 (23). – С. 38–40.
9. Практика створення в Україні інформаційно-виміральної GNSS-системи та мережної VRS-технології забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок / Я. С. Яцків, В. П. Харченко, В. М. Шокало та ін. // Наука та інновації. – 2009. – Т. 5, № 2. – С. 5–22.
10. Предварительные результаты GNSS-наблюдений на пунктах геодезической сети Северного региона Украины / А. Терещук, И. Нисторяк, А. Жалило, А. Желанов // Вестник СГГА (Сибирской государственной геодезической академии). – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 29–38.

11. *Сайт* відстеження змін координат станції CNIV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.epncb.oma.be/_trackingnetwork/coordinates/stationcoordinates4onestation.php?station=CNIV.
12. *Сайт*, присвячений станції CNIV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.epncb.oma.be/_trackingnetwork/siteinfo4onestation.php?station=CNIV_15501M001.
13. *Супутникова* радіонавігація, моніторинг радіонавігаційного поля, геометричний фактор / В. П. Харченко, В. В. Конін, О. С. Погурельський, О. П. Сушич // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 7. – С. 250–258.
14. *Терещук О. І.* Активні GNSS-мережі та регіональна геодинаміка / О. І. Терещук, С. Г. Савчук, І. О. Нисторяк // *Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : збірник наукових праць VII Міжнародної науково-практичної конференції*. – 2011. – Вип. II (22). – С. 79–81.
15. *Терещук О. І.* Аналіз GNSS-спостережень у Північному регіоні України / О. І. Терещук, І. О. Нисторяк // *Містобудування і територіальне планування*. – 2013. – № 48. – С. 443–451.
16. *Терещук О. І.* Попереднє обґрунтування конструкції телескопічної опори антени перманентної GPS-станції «Чернігів» / О. І. Терещук, В. В. Суровець, В. І. Мовенко // *Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції*. – 2005. – Вип. 1. – С. 26–31.
17. *Терещук О.* Попередні результати та аналіз GNSS-спостережень на Чернігівщині / О. Терещук, І. Нисторяк // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2013. – Вип. II (26). – С. 58–61.
18. *Терещук О. І.* Постійнодіюча GPS-станція «Чернігів»: перші п'ять років функціонування / О. І. Терещук, О. О. Хода, М. О. Литвин // *Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції*. – 2010. – Вип. II (20). – С. 7–13.
19. *Третя* на Чернігівщині перманентна GPS-станція / Я. Яцків, О. Терещук, О. Хода та ін. // *Вісник геодезії та картографії*. – 2012. – № 2. – С. 18–19.
20. *Хуторова О. Г.* Вариации интегрального атмосферного влагосодержания, полученные по фазовым измерениям приемников спутниковых навигационных систем / О. Г. Хуторова, В. В. Калинин, Т. Р. Курбангалиев // *Оптика атмосферы и океана*. – 2012. – Т. 25, № 6. – С. 529–533.
21. *Bernese GPS Software Version 4.2* / Eds. Hugentobler U., Schaer S., Fridez P. – Berne : Astronomical Institute, University of Berne. – 2001. – 515 p.
22. *Bruyninx C – Altamimi Z – Caporali A – Kenyeres A – Lidberg M – Stangl G – Torres JA* (2012): *Guidelines for EUREF Densifications* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : ftp://epncb.oma.be/pub/general/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf.
23. *EPN – Європейська перманентна мережа* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.epncb.oma.be/>.
24. *FTP сервер EPN* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <ftp://epncb.oma.be/pub/product/>.
25. *Kenyeres A.* The implementation of IGS08 in the EPN ETRS89 maintenance products // *Published online* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : ftp://epncb.oma.be/pub/station/coord/EPN/IGS08_densification_V4.pdf.

Н.Л. Чедия, канд. техн. наук

М.В. Чхартишвили, академ. д-р инженер. наук

Батумский государственный университет Шота Руставели, г. Батуми, Грузия

ОТДЕЛЕНИЕ ДЛЯ РАЗГРУЗКИ СЕТИ ОПЕРАТОРСКОГО КЛАССА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ WI-FI

Н.Л. Чедия, канд. техн. наук

М.В. Чхартишвили, академ. д-р инженер. наук

Батумський державний університет Шота Руставелі, м. Батумі, Грузія

ВІДДІЛЕННЯ ДЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ МЕРЕЖІ ОПЕРАТОРСЬКОГО КЛАСУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ WI-FI

Nugzar Chediya, PhD in Technical Sciences

Marina Chkhartishvili, academic doctor of engineering

Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia

SOLUTION FOR NETWORK UNLOAD OF OPERATOR'S CATEGORY BASED ON WI-FI TECHNOLOGY

Предложено решение для разгрузки сети операторского класса на основе технологии Wi-Fi с использованием Aruba networks. Приведена структурная схема развертывания сети операторского класса, а также схема разгрузки сети. Описаны компоненты технологии и обоснован выбор. Возможность получения в режиме реального времени информации о состоянии загрузки сети определяется как приоритет Aruba. Связь между инфраструктурой Wi-Fi и IP-шлюзами, которые взаимодействуют с мобильными элементами, обеспечивается с помощью туннелей GRE / IPsec. Предложенное решение разгрузки трафика позволяет операторам разрабатывать и осуществлять безопасную и экономически выгодную стратегию развертывания нагрузки.

Ключевые слова: разгрузка сети, операторский класс, Wi-Fi, IP-шлюз, туннель, скорость передачи, пропускная способность, беспроводные сети.

Запропоновано рішення щодо розвантаження мережі операторського класу на основі технології Wi-Fi з використанням Aruba networks. Наведено структурну схему розгортання мережі операторського класу, а також схему розвантаження мережі. Описано компоненти технології й обґрунтовано вибір. Можливість отримання в режимі реального часу інформації про стан завантаженості мережі визначається як пріоритет Aruba. Зв'язок між інфраструктурою Wi-Fi і IP-шлюзами, які взаємодіють з мобільними елементами, забезпечується за допомогою тунелів GRE / IPsec. Запропоноване рішення розвантаження трафіку дозволяє операторам розробляти і здійснювати безпечно й економічно вигідну стратегію розгортання навантаження.

Ключові слова: розвантаження мережі, операторський клас, Wi-Fi, IP-шлюз, тунель, швидкість передачі, пропускна здатність, бездротові мережі.

It offers solutions for unloading the network, carrier-class technology based on Wi-Fi using Aruba networks. Is a block diagram of a carrier-class deployment and discharge pattern network. Describes the components of technology and justified the choice. The possibility of obtaining real-time information about the network load condition is determined as a priority Aruba. The relationship between the Wi-Fi infrastructure and IP-gateways, that interface with mobile elements is provided via tunnels GRE / IPsec. The proposed solution allows operators to unload traffic to develop and implement a secure and cost-effective deployment strategy load.

Key words: offload network carrier grade, Wi-Fi, IP-gateway, the tunnel, the transmission speed, bandwidth, wireless networks.

Постановка проблемы. Уровень передачи данных в сетях операторского класса несколько лет подряд стремительно растет, это, прежде всего, связано с тем, что среди абонентов набирают популярности смартфоны и планшетные компьютеры [1]. На основании этого операторы стремятся увеличить плотность покрытия для обеспечения большей полосы пропускания. Однако данное решение является экономически не выгодным.

Еще одним решением проблемы следует выделить технологию Wi-Fi Offload, которая призвана разгрузить сети операторского класса от трафика передачи данных за счет применения технологии Wi-Fi. Тем самым, стоит отметить, что на основании данной технологии трафик передачи данных выводится из радиосети оператора в отдельную радиосеть, работающую с использованием собственных магистральных каналов.

Исходя из указанного, следует отделить сущность распределенной технологии, которая представляет собой совокупность логических процессов, которые взаимодейст-

вуют между собой. Так, логические процессы распределяются по разным вычислительным узлам и могут функционировать параллельно.

Основываясь на вышеизложенном, распределение нагрузки сети операторского класса актуально в условиях роста трафика.

Ссылаясь на прогнозы экспертов Arubanetworks [2], до 2017 года включительно, спрос на услуги передачи данных будет ежегодно возрастать в два раза. Такая тенденция является приоритетным направлением развития операторов относительно получения прибыли, хотя, в свою очередь, и выступает технической проблемой в рамках обеспечения пропускной способности и поддержания необходимого уровня передачи трафика между абонентами.

Учитывая перспективное развитие отрасли, ИТ-рынок представлен широким спектром ассортимента технических решений, однако экономически эффективная стратегия развертывания трафика, в рамках нынешних условий, не выделена и требует научной обоснованности.

Анализ последних исследований и публикаций. Литературный обзор по теме исследования показал, что на сегодняшний день в научной литературе существует много различных подходов к проектированию алгоритмов разгрузки сети операторского класса, которые различаются по методам выбора технических средств, между которыми передается нагрузка. Среди основных методов распределения современные ученые выделяют централизованную политику: E. Reckard [3], W. Gordon and G. Newell [4]. Недостаток – снижение трафика.

Децентрализованный подход: H. Kaaniche, F. Kamoun [5].

Всего в теоретической части исследования следует выделить таких ученых, как: S. Formica and M. Olsen [6].

С практической точки зрения, актуальны труды К. Ледовского [7], В. Ткаченко [8].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Однако вопрос распределения нагрузки сетей операторского класса, на данный момент, остается раскрытым не в полной мере, что побуждает к дальнейшим глобальным исследованиям в этой сфере.

Цель исследования. Найти решение для разгрузки сети операторского класса на основе технологии Wi-Fi. Привести структурную схему развертывания сети операторского класса, а также схему разгрузки сети. Описать компоненты технологии и обосновать выбор. Раскрыть возможность получения в режиме реального времени информации о состоянии загруженности сети. Определить связь между инфраструктурой Wi-Fi и IP-шлюзами, которые взаимодействуют с мобильными элементами. Предложить решение разгрузки трафика, позволяющее операторам разрабатывать и осуществлять безопасную и экономически выгодную стратегию развертывания нагрузки.

Изложение основного материала. Вездесущность Wi-Fi и распространение смартфонов двойного режима предоставляют большие возможности для операторов мобильной связи, однако уровень загруженности сети во многих случаях превышает допустимый, чем снижает пропускную способность и приводит к снижению скорости передачи данных. На сегодняшний день ИТ-технологии достаточно развиты и рынок предлагает огромное количество решений [9] относительно разгрузки трафика, но, следует отметить, что большинство из них не отвечают поставленным требованиям пользователя либо же являются дорогостоящими.

Сумма мобильной передачи данных и видеотрафика взрывается за счет роста пропускной способности приложений, учитывая, что смартфоны и планшеты используются абонентами довольно часто, создается реальная проблема для сетей сотовой связи в рамках пропускной способности [10]. Многие операторы находят выход в развертыва-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

нии на более мелкие клетки (зоны). Это, однозначно, является решением проблемы, но ограниченный и дорогостоящий спектр делает этот подход слишком дорогим.

На основании этого, в рамках данного исследования предлагается решение для разгрузки сети операторского класса на основе технологии Wi-Fi с использованием Aruba networks.

Компонентами архитектуры беспроводных сетей Aruba на основе зависимых точек доступа являются:

- точки беспроводного доступа;
- контроллеры точек доступа;
- система централизованного управления AirWave [9].

Представленное решение дает возможность распространения сети практически в любом месте собрания людей, в том числе в аэропортах, гостиницах, ресторанах, больницах, школах, аудиториях, на стадионах и т. д.

Решение операторского класса Wi-Fi Aruba используется многими из крупнейших в мире операторов мобильной связи, однако на территории Украины данная технология не является лидером и уступает Cisco.

Для успешной разгрузки сети операторского класса требуется:

- выявление и обеспечение оптимальных мест для размещения;
- полная видимость и контроль над сетью Wi-Fi;
- бесперебойная, безопасная и автоматическая аутентификация абонента в сети Wi-Fi.

В силу того, что Wi-Fi не имеет тесной интеграции с операторской инфраструктурой, решением относительно разгрузки сети может стать использование Wi-Fi в комплексе с 3G технологиями в рамках общей сети (рис. 1).

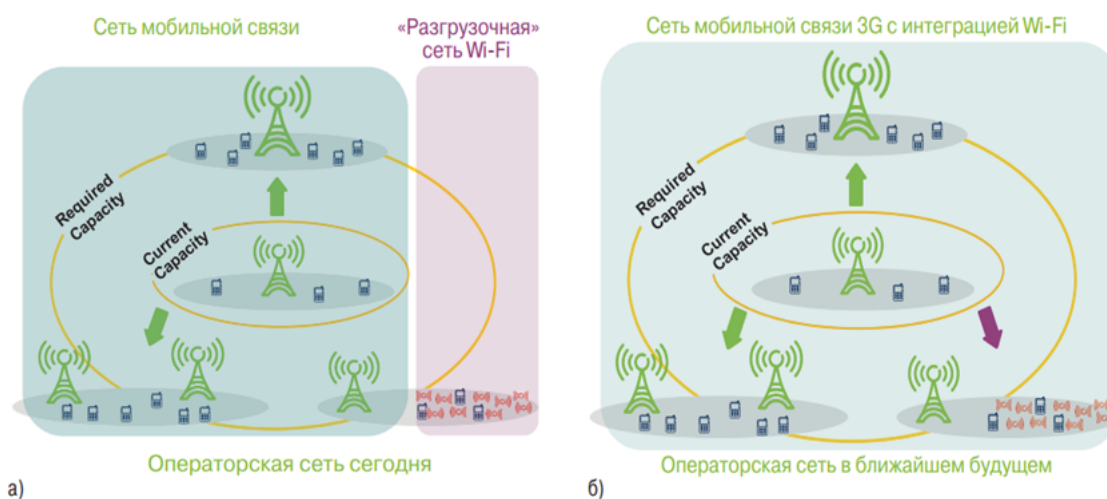


Рис. 1. Структурная схема развертывания сети операторского класса [8]

Предлагаемое решение разгрузки включает в себя серию блоков (WBSn, Alvarion ВКК-1000, WavioNet), каждый из которых выполняет отведенную функцию и является комплексом распределения нагрузки.

WBSn – расширение операторского класса Wi-Fi, базовая станция с уникальным двусторонним формированием сигнала 802.11n. Основной способностью WBSn является мощность сигнала 2,4 и 5 ГГц и уровень емкости – до гигабита, Non-Line видимость (NLOS), а также степень надежности связи.

Контроллеры распределенного доступа – каждая базовая станция включает в себя WBSn встроенный контроллер доступа для управления трафиком базовой станции. Это

обеспечивает мощное решение относительно распределенного доступа. Контроллер является масштабируемым и не имеет единой точки отказа.

Alvarion BKK-1000 – Wi-Fi контроллер для управления слоем и ядром интеграции шлюза.

Основные функции:

- RADIUS-прокси для снижения сигналов, связанных с AAA оператором;
- управление мобильностью;
- конфигурация загрузки;
- веб-сервер для аутентификации пользователя.

WavioNet – комплексное решение для управления сетью с полной поддержкой управления FCAPS, обеспечивает единую точку управления для конфигурации с верхних связанных интерфейсов для высшего уровня управления.

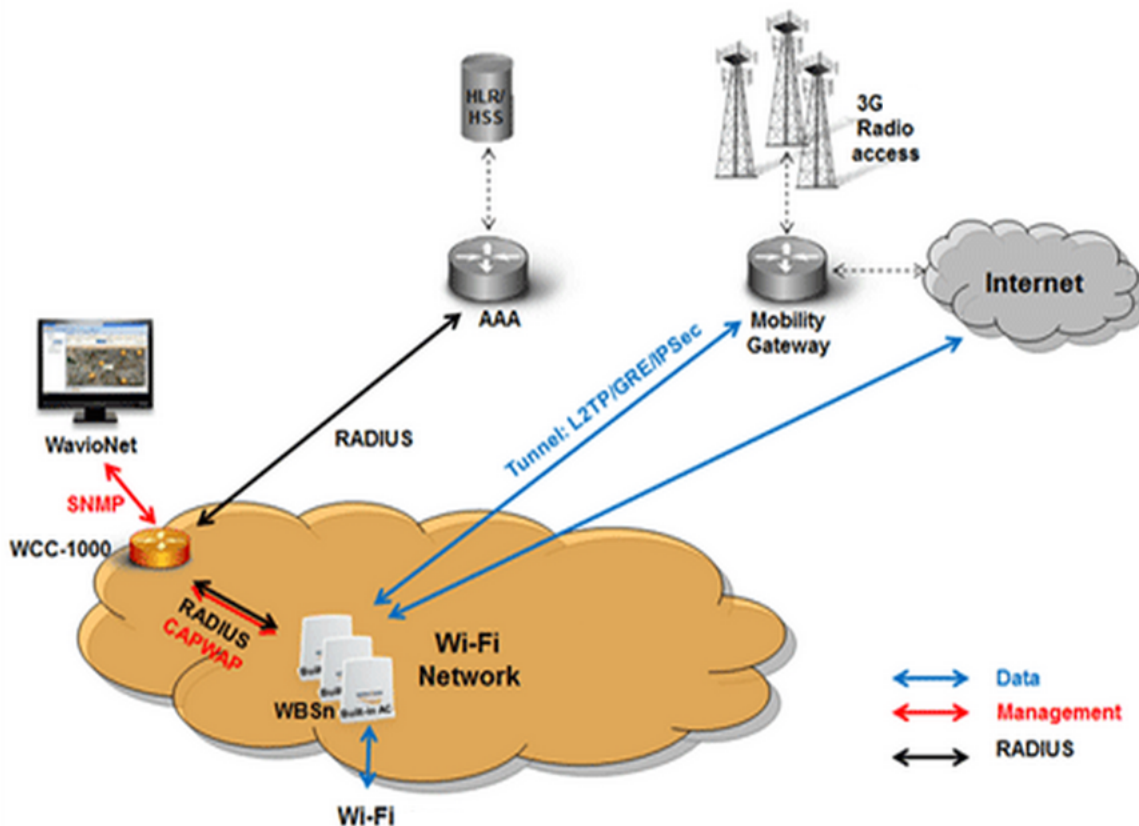


Рис. 2. Схема разгрузки сети операторского класса на основе технологии Wi-Fi [9]

Основные характеристики:

- огромный охват, емкость с двусторонним формированием сигнала 802.11n, надежная помехоустойчивость, NLOS досягаемость и защищенность проникновения сигнала;
- масштабируемость и экономическая эффективность для крупных сетей Wi-Fi со встроенными контроллерами доступа, высокая производительность сигнала BKK-1000, и WavioNet NMS;
- высокий уровень безопасности для доверенных и ненадежных архитектур;
- точка 2.0 и 802.11u;
- интеграция AAA для 3G и LTE ядер.

Решение операторского класса Aruba Wi-Fi обеспечивает производительность, надежность, масштабируемость, универсальность и возможность разгрузки трафика, а также комплексное централизованное управление сетью.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Управление сетью (Aruba AirWave™) обеспечивает полную видимость и полный контроль над всей мультивендорной проводной и беспроводной инфраструктурой с центра сетевых операций мобильного оператора.

AirWave также упрощает сетевые операции с местоположения пользователя и отображение, мониторинг в режиме реального времени, активных предупреждений, отчетов и возможностей удаленного устранения неполадок.

Бесшовная интеграция с Mobile Core Aruba операторского класса Wi-Fi обеспечивает бесшовную интеграцию с мобильного ядра оператора для аутентификации, единой политики и управления безопасной доставкой.

Связь между инфраструктурой Wi-Fi и IP-шлюзами, которые взаимодействуют с мобильными элементами, обеспечивается с помощью туннелей GRE / IPsec.

Решение операторского класса Wi-Fi использует основные возможности Aruba, в том числе возможность получения в режиме реального времени информацию о состоянии загрузки сети. Это позволяет операторам разрабатывать и осуществлять безопасную разгрузку трафика.

Выводы и предложения. На сегодняшний день большинство операторов мобильной связи активно занимаются поиском экономически выгодных решений относительно разгрузки сети. Предложенное решение разгрузки сети операторского класса подразумевает: простое развертывание с автоматической инициализацией, комплексное централизованное управление, гибкость и масштабируемость для удовлетворения потребностей в рамках любой территории.

Ведущий поставщик инновационных решений в области доступа к корпоративным сетям Aruba Networks предоставляет операторам полный обзор и контроль над сетью Wi-Fi, а также платформы для доставки и монетизации услуг. Aruba является идеальным партнером для разгрузки 3G трафика на Wi-Fi.

Список использованных источников

1. *Haxholdt, C., E. Larsen, A. van Ackere.* 2014. Mode Locking and Chaos in a Deterministic Queueing Model with Feedback. *Management Science*, 49 6. – P. 816–830.
2. *Режим доступа :* <http://www.arubanetworks.com/>.
3. *Reckard, E.* (2007). The Most Jam-Packed Theme Park on Earth? *Los Angeles Times*, Jan. 14, C1,C6. [ultimaterollercoaster.com](http://www.ultimaterollercoaster.com). 2007. California Screamin'. Retrieved July 30, 2007.
4. *Gordon, W. and G. Newell* (2007). Closed Queueing Systems with Exponential Servers. *Operations Research* 15 2. – P. 254–265.
5. *Kaaniche H., Kamoun F.* Mobility Prediction in Wireless Ad Hoc Networks using Neural Networks / *Kaaniche H., Kamoun F.* // *Journal of telecommunications*. – 2010. – Vol. 2, ISSUE 1. – P. 95–101.
6. *Formica, S. and M. Olsen* (2008). Trends in the amusement park industry. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. 10 7. – P. 297–308.
7. *Ледовский К.* Разгрузка сетей мобильной связи за счет перенаправления трафика данных в Wi-Fi-сети [Электронный ресурс] / *К. Ледовский* // *Технологии и средства связи*. – 2010. – № 4. – Режим доступа : <http://www.tssonline.ru>.
8. *Ткаченко В.* Практики операторского Wi-Fi, или Борьба с заторами в воздухе / *В. Ткаченко* // *СЕТИ И БИЗНЕС*. – 2014. – № 3 (76). – С. 84–94.
9. *Построение беспроводных сетей на базе ARUBA NETWORKS* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.space-it.com.ua/solutions/lan_wlan/wireless_network/aruba_wifi/.
10. *Разгрузку трафика обеспечит Wi-Fi* [Электронный ресурс] // *Сети/network world*. – 2012. – № 06. – Режим доступа : <http://www.osp.ru>.

УДК 510.23

А.О. Осідач, аспірант

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТА**А.О. Осідач**, аспирант

Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТА**Andrii Osidach**, PhD student

National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRONIC DOCUMENT

Запропоновано математичну модель електронного документа, яка ґрунтується на застосуванні логічних областей, що дозволяє розробляти методи оброблення різнокласових електронних документів у сучасних системах електронного документообігу. Закінчена модель документа складається з двох частин: фізичної і логічної структур. Фізична структура групує фізичні об'єкти в документі; логічна структура документа відображає його логічну організацію. Між фізичною і логічною структурами немає однозначної відповідності, але їх окремі елементи можуть знаходитися у прямій залежності один від одного. На основі цього було проведено моделювання структури електронних документів, а також формалізовано їх елементи для застосування цих моделей до постійно змінюваної корпоративної документації.

Ключові слова: математична модель, електронний документ, електронний документообіг, структура електронного документа.

Предложена математическая модель электронного документа, основанная на применении логических областей, которая позволяет разрабатывать методы обработки разноклассовых электронных документов в современных системах электронного документооборота. Законченная модель документа состоит из двух частей: физической и логической структур. Физическая структура группирует физические объекты в документе; логическая структура документа отражает его логическую организацию. Между физической и логической структурами не существует однозначного соответствия, но их отдельные элементы могут находиться в прямой зависимости друг от друга. На основе этого было проведено моделирование структуры электронных документов, а также формализовано их элементы для применения этих моделей в постоянно меняющейся корпоративной документации.

Ключевые слова: математическая модель, электронный документ, электронный документооборот, структура электронного документа.

In the article the mathematical model of an electronic document based on the use of logical areas, which allows us to develop methods for processing electronic documents different class, in modern systems of electronic document. Completed model of the document consists of two parts: the physical and logical structures. The physical structure includes physical objects in the document; the logical structure of the document reflects its logical organization. Between the physical and logical structures there is no-one correspondence, but some elements may be in direct proportion to each other. On the basis of this article was to simulate the structure of electronic documents, as well as formalized their elements for the application of these models in the ever-changing corporate documentation.

Key words: mathematical model, electronic document, electronic document management, electronic document structure.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до отриманого зі стандартів [1] визначення, електронний документ є сукупністю даних у пам'яті обчислювальної системи, призначений для сприйняття людиною за допомогою відповідних програмних і апаратних засобів. Електронний документ може включати текстову, графічну і звукову інформацію, мати нелінійну структуру; різні користувачі можуть переглядати його в різній формі і змінювати його.

Електронний документ може бути розглянутий у вигляді сукупності двох структур: фізичної і логічної [2]. Між фізичною і логічною структурами немає однозначної відповідності, але їх окремі елементи можуть знаходитися у прямій залежності один від одного.

Згідно з мірою структурованості всі корпоративні електронні документи можуть бути розділені таким чином:

– клас документів зі строгою фіксованою структурою S_F . До цього класу відносяться документи, що мають фіксовану, жорстко задану структуру: чеки, бланки, кредитні карти і тому подібне. Документи цього класу можуть бути легко збережені за допомогою традиційних реляційних і об'єктно орієнтованих баз даних;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

– клас неструктурованих документів S_N . Документи, що належать до цього класу, є повністю неструктуровані. Прикладом таких електронних документів можуть служити документи мультимедіа і відеодані;

– клас напівструктурованих документів S_P . Це найбільш великий клас документів, до якого відноситься найбільший об'єм даних. До напівструктурованих відносяться такі документи, які можна виділити в деяку структуру, але ця структура недостатньо чітка для зберігання цих документів у традиційних системах.

Крім цього, додатково кваліфікують:

– частково структуровані документи S_S . До цього класу відносяться документи, велика частина якого має правильну структуру і може зберігатися у традиційних СУБД, а інша, неструктурована частина документів, деяким чином пов'язується зі структурованими даними;

– документи з неявною структурою S_I . До цього дуже великого класу відносяться такі документи, які хоча і мають деяку досить строгую структуру, але ця структура не чітко виражена. Вони поділяються на:

– клас документів з обмеженою областю змін S_V . Електронні документи представленого класу можуть мати структуру, що змінюється, проте кількість цих варіацій є обмеженою. До цього класу можна віднести деякі види фінансової або внутрішньої офісної документації;

– клас документів зі змінюваною структурою S_C . Електронні документи, що відносяться до цього класу, мають постійну структуру, що змінюється; крім того, сам склад цих документів може постійно змінюватися. Проте в кожен момент часу усі ці документи мають строгую логічну структуру, яка може бути описана певним чином. До цього класу можуть бути віднесені більшість корпоративних документів управління – документація системи менеджменту якості, технологічна документація і т. ін.

Постановка проблеми. Нині є важливою проблема розмітки логічної структури електронних документів у класі документів S_C . Наприклад, у CALS-технологіях (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) рекомендується використовувати стандартизовані інтерактивні електронні технологічні керівництва (ІЕТК), які є організованими в базу даних набору документів у форматі SGML [3]. Введення стандартів для структуризації документів забезпечує можливість передачі даних між різними організаціями, централізоване управління даними і можливість автоматизації процесу розроблення структурованих документів.

Таким чином, важливою і перспективною розробкою у сфері створення систем документообігу є завдання відображення структури електронного документа за допомогою стандартизованого формату представлення даних, розпізнавання логічної структури документів з метою збереження її в цьому форматі й об'єднання безлічі структурованих документів у базу даних з потужною мовою запитів.

У зв'язку з цим необхідно провести моделювання структури електронних документів, а також формалізувати їх елементи з метою застосування цих моделей до постійно змінюваної корпоративної документації класу S_C .

Метою статті є розроблення математичної моделі електронного документа, що дозволяє розробляти методи оброблення різнокласових електронних документів у системах електронного документообігу.

Виклад основного матеріалу. В основу стандартних мов опису документів SGML і ODA покладено уявлення про ієрархічну структуру тексту. Це твердження використовується для опису як фізичної, так і логічної структури документів. Дослідження природи документів різного типу показали, що незважаючи на обмеження, які накладає ця умова на допустимі описи структури документів, існують різні способи для подолання труд-

нощів, що виникають у зв'язку з цим [4; 5]. Таким чином, структура практично будь-якого документа може бути або представлена в ієрархічному виді, або розбита на безліч ієрархічних підструктур.

Дослідники, що працюють у сфері розпізнавання структури документів, передусім звертають увагу на побудову моделі структури документа. У [6] пропонується модель документа, що допускає відображення як логічної, так і фізичної структури. Представлена модель документа заснована на проміжних вузлах, що визначають елементи логічної структури, які поставлені в однозначну відповідність елементам фізичної структури. Таким чином, сукупність вузлів логічної структури, фізичної структури і взаємодії між ними дозволяє передати повний опис структури документа.

Модель документа, яка не робить відмінностей між фізичною і логічною структурами, представлена в [6]. Елементи логічної і фізичної структур представлено в цій моделі еквівалентними і розглядаються в сукупності. В цьому випадку загальна структура документа може не мати ієрархічного представлення; тут ієрархічними є тільки підмножини загальної структури, якими є окремо взяті фізична і логічна структури. Така неієрархічна модель дещо утрудняє задачі маніпуляції з документом.

У [7] модель документа представлено у вигляді сукупності полігональних областей, а також набору відображень, що визначають зв'язки цих багатокутних областей з фізичними і логічними атрибутами відповідних областей.

Цікавий підхід до побудови моделі документа представлено в [8]. Логічна структура тут визначається за допомогою геометричних взаємозв'язків між сегментами тексту, тобто великою мірою незалежно від тексту. Проблема отримання логічної структури документа з властивої йому фізичної структури тоді може бути розділена на дві стадії: отримання сегментів документа, що представляють ієрархічну послідовність логічних елементів, і класифікація вузлів ієрархії згідно з типами елементів логічної структури, які вони представляють.

Модель документа, що використовується в [9] і названа дескриптором документа, також здатна описати як логічну, так і фізичну структуру документів. Логічна структура тут представлена відповідно до правил виведення регулярних граматик. Фізична структура є атрибутами, які пов'язані з нетермінальними символами граматики логічної структури. Адекватне поширення запропонованого підходу на опис логічної структури за допомогою контекстів n -вільних граматик було розглянуто в роботі [10].

Нарешті, статистична модель структури документа, заснована на застосуванні методу n -грамів до ієрархічних структур, представлена в [2]. Тут фізична і логічна деревовидні структури представлено ймовірностями контексту окремо взятих вузлів дерева подібно до вірогідності n -грамів. У цьому випадку проведено поширення лінійної моделі природної мови, названої n -грамами [11], на ієрархічну структуру документа.

Усі розглянуті вище моделі документів, за винятком останньої, дозволяють описувати тільки документи, що відносяться до класу S_S і частково документи класу S_V . Статистична модель дозволяє описати документи класу S_C , проте не дозволяє явної побудови граматики розглянутого класу документів.

Виходячи з цього, нами запропоновано математичну модель електронного документа, засновану на застосуванні логічних областей, що дозволяє розробляти методи оброблення різнокласових електронних документів у системах електронного документообігу.

Позначимо через M – безліч всіляких логічних міток заданого документа D .

Визначення 1. Припустимо, що $m \in M$ – мітка, що визначає тип логічного об'єкта й O – область, обмежена межею логічною об'єкта. Тоді пара (m, O) називається логічною областю заданого об'єкта.

Межа логічного об'єкта задається за допомогою відповідних тегів логічної розмітки.

Визначення 2. Логічні області (m_1, O_1) і (m_2, O_2) називаються рівними, тобто:

$$(m_1, O_1) = (m_2, O_2), \quad (1)$$

якщо $m_1 = m_2$ і $O_1 = O_2$.

Визначення 3. Логічна область (m_1, O_1) називається вкладеною в логічну область (m_2, O_2) , тобто:

$$(m_1, O_1) < (m_2, O_2), \quad (2)$$

якщо $O_1 < O_2$, причому $O_1 = O_2$ тоді і тільки тоді, коли $(m_1, O_1) = (m_2, O_2)$.

Нехай Z – безліч усіх логічних областей документа D . Визначимо відношення $< z$ таким чином:

$$(m_1, O_1) < z (m_2, O_2) \Leftrightarrow (m_1, O_1) < (m_2, O_2) \text{ и } (m_1, O_1), (m_2, O_2) \in Z. \quad (3)$$

Таким чином, структура документа може бути відображена у вигляді вкладених логічних областей (рис. 1).

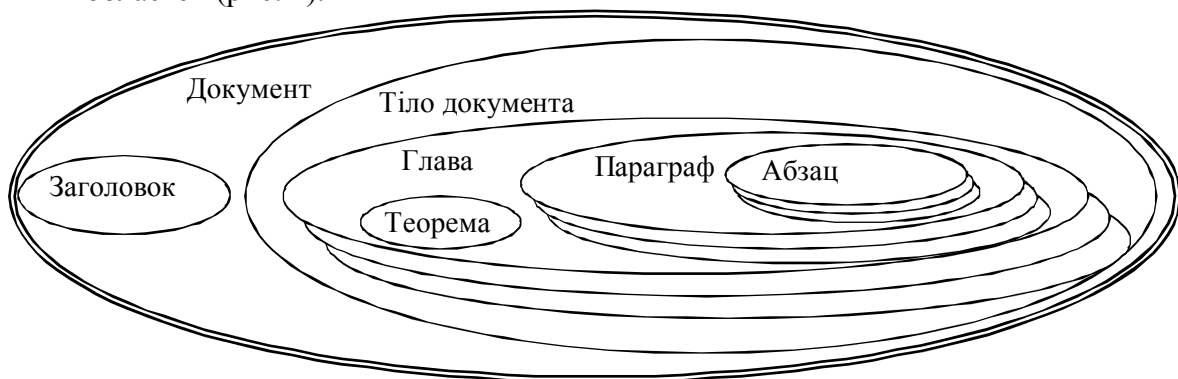


Рис. 1. Приклад зображення логічної структури документа у вигляді вкладених логічних областей
Джерело: розроблено автором.

Для обґрунтування моделі сформулюємо і доведемо такі теореми.

Теорема 1. Відношення $< z$ на множині Z є порядком.

Доказ. Згідно з визначенням [3] для доведення теореми необхідно перевірити для відношення $< z$ виконання умов рефлексивності, транзитивності й антисиметричності.

Рефлексивність. Умова рефлексивності має вигляд $(m_1, O_1) < z (m_2, O_2)$ для усіх $(m, O) \in Z$, оскільки в умові задана приналежність логічної області (m, O) множині Z , та залишається перевірити правильність нерівності $(m_1, O_1) < (m_2, O_2)$. Згідно з визначенням [3], з рівності $O_1 = O_2$ повинна слідувати рівність $(m_1, O_1) = (m_2, O_2)$. Ця рівність правильна, за визначенням [2], тоді і тільки тоді, коли рівні логічні мітки, тобто $m_1 = m_2$. Отже, умова рефлексивності виконана.

Транзитивність. Умова транзитивності має такий вигляд: якщо $(m_1, O_1) < z (m_2, O_2)$ і $(m_2, O_2) < z (m_3, O_3)$, то $(m_1, O_1) < z (m_3, O_3)$. З перших двох нерівностей витікає, що $(m_1, O_1), (m_2, O_2)$ і $(m_3, O_3) \in Z$, тому залишається довести, що якщо $(m_1, O_1) < z (m_2, O_2)$ і $(m_2, O_2) < z (m_3, O_3)$, то $(m_1, O_1) < z (m_3, O_3)$. З $(m_1, O_1) < z (m_2, O_2)$ витікає, що $O_1 \subseteq O_2$, причому $O_1 = O_2 \Leftrightarrow m_1 = m_2$, а з $(m_2, O_2) < z (m_3, O_3)$ витікає, що $O_2 \subseteq O_3$, причому $O_2 = O_3 \Leftrightarrow m_2 = m_3$. Згідно з властивістю транзитивності для множин отримаємо, що $O_1 \subseteq O_3$, причому $O_1 = O_2 = O_3 \Leftrightarrow m_1 = m_2 = m_3$. Отже, $(m_1, O_1) < (m_3, O_3)$, $(m_1, O_1) < z (m_3, O_3)$.

Антисиметричність. Умова антисиметричності визначається таким чином: якщо $(m_1, O_1) < z (m_2, O_2)$ і $(m_2, O_2) < z (m_1, O_1)$, то $(m_1, O_1) = (m_2, O_2)$. З будь-якого з перших двох нерівностей отримуємо, що $(m_1, O_1), (m_2, O_2) \in Z$, тому перевіряємо умову, що залишилася, що якщо $(m_1, O_1) < z (m_2, O_2)$ і $(m_2, O_2) < z (m_1, O_1)$, то $(m_1, O_1) = (m_2, O_2)$. З перших двох умов витікає, що $O_1 \subseteq O_2$ і $O_2 \subseteq O_1$. Згідно з властивістю антисиметрич-

ності для множин, позначимо, що $O_1 = O_2$. За визначенням (3) це можливо тоді і тільки тоді, коли $(m_1, O_1) = (m_2, O_2)$.

Таким чином, відношення $\prec z$ – порядок на множині Z .

З теореми 1 витікає, що якщо множина Z – «не порожня», то вона є частково впорядкована.

Теорема 2. Частково впорядкована множина Z є ґратами.

Доказ. Згідно з визначенням [12] ґратами є частково впорядкована множина, в якій будь-яка пара елементів має точну нижню і верхню грань.

Нехай (o_1, o_2) , $o_1, o_2 \in Z$ – пара логічних областей з частково впорядкованої множини Z . Нехай також $x = \inf(o_1, o_2)$ – точна нижня грань $y = \sup(o_1, o_2)$ – точна верхня грань пари (o_1, o_2) .

Розглянемо побудову точної нижньої грані. Можливі ті, що наслідують випадок:

1. Логічні області o_1 і o_2 порівнянні між собою, тобто або $o_1 \prec z o_2$ або $o_2 \prec z o_1$. У першому випадку отримуємо $x = o_1$, а в другому – $x = o_2$.

2. Логічні області o_1 і o_2 не порівнянні між собою, але є така максимальна логічна область o_3 , що $o_3 \neq \otimes$, де \otimes означає порожню область, і правильні нерівності $o_3 \prec z o_1$ і $o_3 \prec z o_2$. Тоді $x = o_3$.

3. Якщо жоден з перших двох випадків не застосуємо, то $x \neq \otimes$.

Побудова точної верхньої грані виробляється аналогічно:

1. Якщо $o_1 \prec z o_2$ то $y = o_2$ і якщо $o_2 \prec z o_1$ то $y = o_1$.

2. Якщо існує така мінімальна логічна область $o_3 \neq D$, де D – увесь документ, що $o_1 \prec z o_3$ і $o_2 \prec z o_3$, то $y = o_3$.

3. Якщо не застосовні перші два випадки, то $y = D$.

Таким чином, множина Z є ґратами.

Слід також зазначити, що Z є ієрархічними ґратами. Цей факт виходить з властивостей відношення \prec , що не допускає ніяких інших перетинів логічних областей, крім повного вкладення.

Таким чином, структура документа може бути відображена у вигляді дерева (рис. 2).

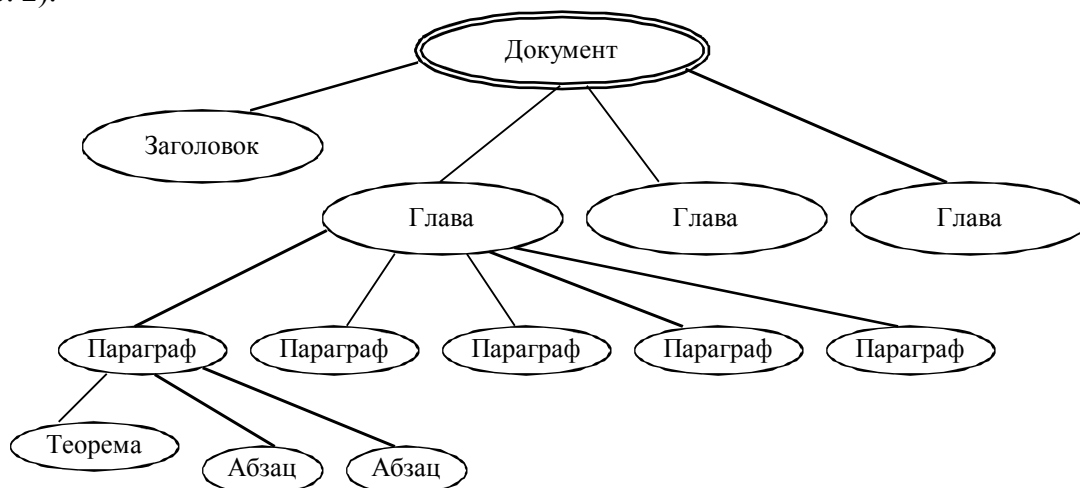


Рис. 2. Приклад зображення логічної структури документа у вигляді дерева структури
Джерело: розроблено автором.

Побудовані ієрархічні ґрати Z пов'язана з такими властивостями [7]:

1. Позначимо через T множину усіх можливих у документі D атрибутів, що відносяться як до області фізичних типів (малюнок, таблиця, формула), так і до області формату (тип, розмір і зображення шрифту, вирівнювання тексту). Тоді відображення $P: Z \rightarrow T$ пов'язує логічні області документа з їх фізичними ознаками.

2. Нехай I – алфавіт символів, прийнятих в документі D . Тоді I' – безліч усіх визначених над цим алфавітом рядків. Відображення $C: Z \rightarrow I'$ дозволяє з'єднати логічні області документа з їх змістом.

3. Позначивши через W безліч роздільників, можливих у документі D , отримуємо відображення $R: Z \times Z \rightarrow W$, яке визначає роздільник між парами логічних областей.

Таким чином, сукупність фізичної структури документа $S^F = (T)$ і логічної структури документа $S^L = (C, W)$ визначає структуру $S = (S^F, S^L)$ заданого документа D .

Висновки і пропозиції. Одним з найбільш важливих етапів системного дослідження складної системи документообігу є розроблення математичних моделей. Щоб описати набір правил, характерних для електронних документів, необхідно розробити математичну модель документа, яку іноді також називають універсальним документом [2].

Зазвичай розрізняють два типи структур електронного документа [6]: фізична структура, яка групує фізичні об'єкти в документі, і логічна структура документа, яка відображає його логічну організацію. Таким чином, закінчена модель документа складається з двох частин: фізична структура і логічна структура.

Виходячи з цього, у статті запропонована математична модель електронного документа, яка ґрунтується на застосуванні логічних областей, що дозволяє розробляти методи оброблення різнокласових електронних документів у сучасних системах електронного документообігу.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 4163-2003. Вимоги до оформлювання документів. – [Чинний від 2003-09-01]. – К., 2003. – 46 с.
2. Смирнова Г. Н. Учебное пособие по дисциплине «Электронные системы управления документооборотом» / Г. Н. Смирнова. – М. : Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2003. – 168 с.
3. Структура та компоненти системи електронного документообігу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nauch.com.ua/geografiya/20401/index.html?page=2>.
4. Ткачук Г. І. Використання електронної системи документообігу у ВНЗ / Г. І. Ткачук, С. А. Постова // Магістратура в умовах євроінтеграційних процесів вищої школи. – Житомир : ЖДУ, 2014. – С. 254.
5. Удосконалення корпоративних інформаційних систем [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrbukva.net/page,8,69376-Sovershenstvovanie-korporativnyh-informacionnyh-sistem.html>.
6. Електронний документообіг: сучасні тенденції та проблеми провадження [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.rusnauka.com/34_VPEK_2012/Philologia/7_121024.doc.htm.
7. Losee R. M. Learning syntactic rules and tags with genetic algorithms for information retrieval and filtering: an empirical basis for grammatical rules. University of North Carolina, USA, 2005. – 20 p.
8. Summers K. M. Automatic discovery of logical document structure. Phd thesis, Cornell University. Cornell, USA. 2008. – 196 p.
9. Azokly A. S. Tune approche uniforme pour la reconnaissance de la structure physique de documents composites fondee sur l'analyse des cspaces. Phd thesis, l'Institut d'Informatique, University de Fribourg, Suisse, 2005. – 155 p.
10. Azokly A. S. Tune approche uniforme pour la reconnaissance de la structure physique de documents composites fondee sur l'analyse des cspaces. Phd thesis, l'Institut d'Informatique, University de Fribourg, Suisse, 2009. – 155 p.
11. Srihari S.N., Lam S.W., Govindaraju V., Srihari R.K., Hull J J. Document image understanding. Center of Excellence for Document Analysis and Recognition, State University of New York at Buffalo, Buffalo, USA, 2008.
12. Биркгоф Г. Теория решеток : пер. с англ. / Г. Биркгоф. – М. : Наука, 1984. – 432 с.

УДК 681.3.06:519.237.7

О.А. Сергієнко, магістрант

А.В. Топал, магістрант

С.П. Вислоух, канд. техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПІД ЧАС ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

А.А. Сергиенко, магистрант

А.В. Топал, магистрант

С.П. Выслоух, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Oleksandr Serhiienko, Master's Degree student

Artur Topal, Master's Degree student

Serhii Vysloukh, PhD in Technical Sciences

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

PATTERN RECOGNITION AS AN EFFICIENT TOOL FOR RESOLVING TASKS OF INSTRUMENT ENGINEERING

Розглянуто питання вдосконалення методики вирішення задач конструкторської та технологічної підготовки виробництва завдяки використанню методів розпізнавання образів. Методом вирішення технічних задач обрано дискримінантний аналіз. Розроблено алгоритм цього методу і програма, що його реалізує. Правильність роботи розробленої програми перевірено при зіставленні результатів її розрахунків з розрахунками, зробленими в SPSS Statistics. Виконано апробацію розробленої програми під час вирішення задачі визначення методів і режимів оброблення для нового конструкційного матеріалу. Встановлено, що використання методів розпізнавання образів у процесі розв'язання задач технічної підготовки виробництва дозволяє зменшити витрати енергії, матеріалу та часу на проведення експериментальних досліджень.

Ключові слова: конструкторська і технологічна підготовка виробництва, розпізнавання образів, дискримінантний аналіз.

Рассмотрены вопросы усовершенствования решения задач конструкторской и технологической подготовки производства путем использования методов распознавания образов. Методом решения технических задач выбрано дискриминантный анализ. Разработан алгоритм этого метода и программа, которая его реализует. Правильность работы разработанной программы проверено при сопоставлении результатов ее вычислений с вычислениями, осуществленными в SPSS Statistics. Осуществлена апробация разработанной программы при решении задачи определения методов и режимов обработки нового конструкционного материала. Установлено, что применение методов распознавания образов при решении задач технической подготовки производства позволяет сократить расходы энергии, материала и времени на проведение экспериментальных исследований.

Ключевые слова: конструкторская и технологическая подготовка производства, распознавание образов, дискриминантный анализ.

It is considered possibility to improving methodology for solving issues in design and technological preparation of production by using methods of pattern recognition. Discriminant analysis was selected as method of resolution technical tasks. The algorithm of this method and a program that implements it were developed. The correctness of the developed program verified by comparing the results of its calculations with the calculations carried out in SPSS Statistics. Testing and approbation of program designed with the task of determining methods and modes of processing for the new construction material was performed. It was established that using of pattern recognition methods in solving problems of technical training can reduce the production costs of energy, materials and time for experimental research.

Key words: technological preparation of production, pattern recognition, discriminant function analysis.

Постановка проблеми. Перед сучасними приладобудівними підприємствами поставлені високі вимоги якості до їх продукції. Для забезпечення економічної ефективності виробництва і вдосконалення виробничого процесу приладобудування потребує впровадження новітніх методів оброблення інформації, що успішно зарекомендували себе в інших галузях науки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У різноманітних наукових дисциплінах знайшли своє застосування методи теорії розпізнавання образів, що дозволяють вирішити певні задачі класифікації, ідентифікації процесів, явищ, сигналів, ситуацій тощо [1].

Відомі випадки ефективного використання методів розпізнавання образів для вирішення певних задач у машинобудуванні та приладобудуванні [2–5].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Перспективним є застосування методів розпізнавання образів для вирішення відповідних задач конструкторської та технологічної підготовки виробництва, а саме: вибір оптимальних конструкційних матеріалів, вибір раціональних інструментальних матеріалів, вибір пари «оброблювальний – інструментальний» матеріал, вибір методів та умов оброблення нового конструкційного матеріалу, вибір режимів оброблення нового конструкційного матеріалу, проектування технологічних процесів виготовлення деталей тощо. Це дозволить підвищити ефективність вирішення наведених задач.

Відомо, що вирішення технологічних задач потребує проведення експериментальних досліджень, що, у свою чергу, вимагає значних матеріальних й енергетичних витрат та часу. Використання методів розпізнавання образів дозволяє значно зменшити потребу в експериментальних дослідженнях завдяки застосуванню багатовимірною статистичного аналізу даних з використанням ЕОМ.

Головною метою цієї роботи є перевірка можливості вдосконалення розв'язання задач технологічної підготовки виробництва з допомогою методів і засобів, що реалізують методи розпізнавання образів. Поставлена задача вибору методу, що є найбільш придатним для розв'язання задач технологічної підготовки виробництва, створення алгоритму цього методу та його апробації під час вирішення конкретних задач технологічної підготовки виробництва.

Для вирішення поставленої задачі виникає потреба у програмному продукті, що дозволить провести апробацію алгоритму. Існують багатофункціональні системи багатовимірною оброблення інформації, що реалізують методи розпізнавання образів. До найбільш відомих належать такі, як SPSS Statistics, Статистика та ін. Але вони дуже коштовні, складні у використанні, потребують відповідної технічної підтримки. Тому їх використання для вирішення технологічних задач є недоцільним.

З врахування наведеного поставлено задачу створення простого програмного продукту, орієнтованого на вирішення технологічних задач, що зможе бути інтегрований у систему автоматизованої технологічної системи оброблення інформації.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставлених задач розпізнавання образів було обрано дискримінантний аналіз, який уже зарекомендував себе для вирішення подібних задач в інших галузях науки [1] і задовольняє необхідним критеріям, а саме: можливість проведення аналізу на основі великих масивів інформації та проста реалізація алгоритму на ЕОМ.

Дискримінантний аналіз полягає у знаходженні класифікаційних функцій для кожної групи об'єктів, що попередньо поділені за близькістю їх характеристик. Отримані класифікаційні функції забезпечують можливість віднесення певного об'єкта до однієї з груп відповідно до його характеристик, що виступають як значення змінних у кожній з класифікаційних функцій. Об'єкт відноситься до класу, значення класифікаційної функції якого матиме найбільше значення.

Методика розпізнавання образів методами дискримінантного аналізу складається з двох модулів: модуль розрахунку класифікаційних функцій і модуль розпізнавання. Алгоритм використання цієї методики наведено на рис.

Модуль побудови класифікаційних функцій отримує вхідні дані у вигляді набору значень характеристик кожної класифікаційної групи об'єктів, що підлягають аналізу. Результатом роботи модуля є набір класифікаційних функцій. Отримані класифікаційні функції служать математичною моделлю для роботи модуля розпізнавання. На вхід цього модуля поступають набір характеристик об'єкта, що підлягає розпізнаванню (визначення його класифікаційної групи). Результатом роботи модуля є визначення класифікаційної групи, до якої відноситься новий об'єкт.

Розроблено алгоритми, що реалізують наведену методику розпізнавання образів, та створено відповідну програму. Програма написана на мові програмування C++, проста у використанні, має низькі системні вимоги, може використовуватись автономно або у складі автоматизованої системи оброблення технологічної інформації та автоматизованого проектування.

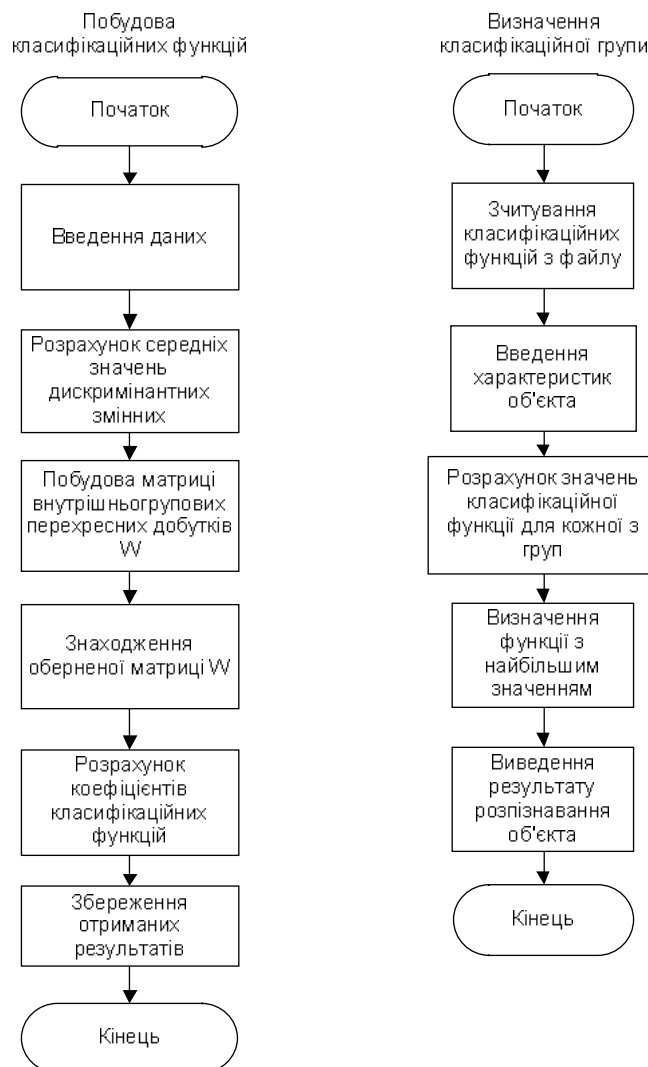


Рис. Алгоритм методики розпізнавання образів

Виконано порівняння розрахунків класифікаційних функцій, отриманих за допомогою розробленої програми та аналогічних розрахунків за допомогою пакета SPSS Statistic. Розбіжність результатів розрахунків не перевищували 5 %, що свідчить про правильність отриманих обчислень.

Як приклад застосування створеної програми розв'язана задача вибору методів і режимів оброблення нового конструкційного матеріалу, послідовність її вирішення можна представити у такій послідовності:

- визначення хімічного складу та фізико-механічних характеристик нового матеріалу;
- групування на основі державних стандартів конструкційних матеріалів на групи, для яких уже встановлено нормативними даними методи оброблення;
- визначення класифікаційних функцій для встановлених груп матеріалів;
- вибір класифікаційної групи нового матеріалу на основі порівняння значень класифікаційних функцій для кожної із груп, в які введено значення складових хімічного складу і фізико-механічних характеристик нового матеріалу;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

– використання методів і режимів оброблення визначеної класифікаційної групи матеріалів для нового матеріалу.

Для розв'язання поставленої задачі визначено класифікаційні функції для чотирьох груп конструкційних матеріалів: хромисті, марганцеві, хромомарганцеві та хромокремністі сталі. Використано значення їх хімічного складу, а саме: масові частки вуглецю, кремнію, магнію, хрому, молібдену та титану. Значення характеристик частини матеріалів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фрагмент даних, що використовувалися для побудови класифікаційних функцій

Класифікаційна група	Масова частка елементу, %					
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ti
хромиста	0,15	0,55	0,27	0,85	0	0
хромиста	0,2	0,65	0,27	0,85	0	0
хромиста	0,28	0,65	0,27	0,95	0	0
марганцева	0,48	1,05	0,16	0	0	0,09
марганцева	0,155	0,85	0,27	0	0	0
хромомарганцева	0,2	1,05	0,27	1	0	0
хромомарганцева	0,37	0,75	0,27	1,05	0,2	0
хромокремнієва	0,33	0,45	1,2	1,45	0	0
хромокремнієва	0,82	0,45	1,2	1,45	0	0

У результаті проведення обчислень, виконаних за допомогою розробленої програми, отримано такі класифікаційні функції:

$$F(1) = -121,99 + 4,31x_1 + 4,3x_2 + 173,805x_3 + 203,02x_4 - 50,97x_5 - 165,58x_6; \quad (1)$$

$$F(2) = -49,88 - 21,45x_1 + 21,33x_2 + 306,06x_3 - 38,945x_4 + 54,82x_5 + 299,07x_6; \quad (2)$$

$$F(3) = -136,48 - 0,649x_1 + 9,0733x_2 + 175,62x_3 + 218,66x_4 - 53,4x_5 - 176,544x_6; \quad (3)$$

$$F(4) = -1000,84 - 137,744x_1 + 4,62x_2 + 1418,6x_3 + 188,246x_4 + 136,85x_5 + 878,87x_6, \quad (4)$$

де x_1 – масова частка C; x_2 – масова частка Mn; x_3 – масова частка Si; x_4 – масова частка Cr; x_5 – масова частка Mo; x_6 – масова частка Ti.

Визначено класифікаційну групу, до якої відноситься конструкційний матеріал з такими масовими частками хімічних елементів у ньому: 0,2 % C, 1 % Mn, 0,27 % Si, 1 % Cr, 0,15 % Mo, 0,06 % Ti. У результаті розрахунку значень класифікаційних функцій для цього конструкційного матеріалу встановлено, що матеріал відноситься до групи хромокремнієвих сталей. У табл. 2 наведено значення розрахованих класифікаційних функцій. Звідси можна зробити висновок, що результат визначено правильно, оскільки розрахована група матеріалу відповідає дійсній класифікаційній групі. Таким чином, методи оброблення для обраної групи матеріалів рекомендовано для виготовлення деталей з цього конструкційного матеріалу.

Таблиця 2

Значення розрахованих класифікаційних функцій для матеріалів, що підлягали класифікації

Значення функції групи хромистих сталей	125,469
Значення функції групи марганцевих сталей	19,0764
Значення функції групи хромомарганцевих сталей	130,5284
Значення функції групи хромокремнієвих сталей	-431,9749

Висновки і пропозиції. Встановлено, що для вирішення технологічних задач доцільно використовувати методи розпізнавання образів.

Розроблено алгоритм методики розпізнавання образів, що дозволило створити програму, яка її реалізує на мові програмування C++.

Апробація створеної програми під час розв'язання задачі вибору методів і режимів оброблення нового матеріалу показала, що його використання є ефективним і дає можливість зменшити витрати енергії, матеріалу та часу на проведення експериментальних досліджень.

Описані методи і засоби можуть бути використані для вирішення різноманітних технологічних задач: вибір конструкційних матеріалів; вибір інструментальних матеріалів; вибір пари «оброблювальний – інструментальний» матеріал; вибір методів та умов оброблення нового конструкційного матеріалу; вибір режимів оброблення нового конструкційного матеріалу; проектування технологічних процесів виготовлення деталей тощо.

Розроблену програму рекомендується використовуватися як в автономному режимі для розв'язання окремих задач технологічної підготовки виробництва, так і у складі системи автоматизованого проектування технологічних процесів.

Список використаних джерел

1. *Факторный, дискриминантный и кластерный анализ* : пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др. ; под ред. И. С. Енюкова. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
2. *Вислоух С. П.* Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва : монографія / С. П. Вислоух. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 488 с.
3. *Основы автоматизации проектирования технологических процессов изготовления монолитных элементов, конструкций летательных аппаратов* / Ю. В. Лысенко, В. В. Павлов [и др.]. – М. : МФТИ, 1977. – 51 с.
4. *Чимитов П. Е.* Разработка математической модели сборочных процессов с использованием методов распознавания образов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / Чимитов Павел Евгеньевич ; Иркутский государственный технический университет. – Иркутск, 2010. – 20 с.
5. *Щерстобитова В. Н.* Алгоритмы интеграции систем автоматизации конструкторского и технологического проектирования : автореф. дис. ... канд. тех. наук : спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» / Щерстобитова Вероника Николаевна ; Оренбургский государственный университет. – Оренбург, 2004. – 18 с.

UDC 004.732

Serhii Nesterenko, Doctor of Technical Sciences

Yuliia Nesterenko, PhD student

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

MODEL ORIENTED METHOD OF BIT ERROR RATE MEASUREMENT IN 802.11 WIRELESS NETWORKS

С.А. Нестеренко, д-р техн. наук

Ю.С. Нестеренко, аспірант

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

МОДЕЛЬНО ОРІЄНТОВАНИЙ МЕТОД ВИМІРУ РІВНЯ БІТОВИХ ПОМИЛОК У БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ 802.11

С.А. Нестеренко, д-р техн. наук

Ю.С. Нестеренко, аспірант

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

МОДЕЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ БИТОВЫХ ОШИБОК В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ 802.11

One of the main features of wireless networks is that they are used as transmission medium the radio channels that are affected by a lot of interference. In some cases it leads to a high bit error rate (BER) level in the channel which significantly reduces its throughput. In the article analysis of approaches and appropriate methods for BER measurement in a wireless channel were conducted. It is shown that the methods that are used for BER measurement do not allow calculate BER value with sufficient accuracy. In the article an original model oriented method of BER measurement is proposed. BER calculation

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

is performed using a mathematical model of wireless channel throughput. As the mathematical model is used a modified model of wireless channel with retransmissions. As a basic metric for BER level calculation is used experimentally measured throughput of the wireless channel. Experimental assess of method accuracy was conducted. Analysis of method accuracy shows that the proposed method allows with a high accuracy calculate the average value of the wireless channel BER level.

Key words: 802.11 wireless networks, bit error rate calculation, model oriented method, traffic generator, wireless channel throughput.

Однією з особливостей бездротових мереж є використання як передавального середовища радіоканалу, який, зазвичай, має великий рівень завад. У деяких випадках це призводить до великого рівня бітових помилок (bit error rate - BER) у каналі, що суттєво зменшує його пропускну здатність. У статті наведено аналіз наявних підходів та відповідних методів виміру рівня BER. Показано, що вони не дозволяють проводити вимір BER з достатньою точністю. Запропоновано оригінальний модельно орієнтований метод виміру BER. Обчислення BER виконується з використанням моделі пропускної здатності бездротового каналу. Як модель використовується модифікована модель каналу з повторними передачами. Як базова метрика для обчислення BER використовується значення пропускної здатності бездротового каналу, яке знаходиться експериментально. Проведено експериментальне оцінювання точності методу. Показано, що запропонований метод дозволяє з високою точністю обчислювати середнє значення BER бездротового каналу.

Ключові слова: бездротова мережа 802.11, розрахунок рівня бітових помилок, модельно орієнтований метод, генератор трафіку, пропускна здатність бездротового каналу.

Одной из особенностей беспроводных сетей является использование в качестве передающей среды радиоканала, который подвержен большому количеству помех. В некоторых случаях это приводит к большому уровню битовых ошибок (bit error rate - BER) в канале, что существенно уменьшает его пропускную способность. В статье приведен анализ существующих подходов и методов измерения BER. Показано, что они не позволяют измерять BER с достаточной точностью. Предложен оригинальный модельно ориентированный метод измерения BER. Вычисление BER выполняется с использованием модели пропускной способности беспроводного канала. В качестве модели используется модифицированная модель канала с повторными передачами. В качестве базовой метрики для вычисления BER используется экспериментально измеренная пропускная способность беспроводного канала. Проведена экспериментальная оценка точности метода. Показано, что предложенный метод позволяет с высокой точностью рассчитывать среднее значение BER беспроводного канала.

Ключевые слова: беспроводная сеть 802.11, расчет уровня битовых ошибок, модельно ориентированный метод, генератор трафика, пропускная способность беспроводного канала.

The problem urgency. Wireless networks of IEEE 802.11 standard are widely used in various distributed information systems. Designing and reengineering of modern networks is performed in accordance with the requirements of QoS. The goal of QoS is to provide guarantees on the ability of a network to deliver predictable results. One of the main elements of network performance within the scope of QoS is throughput of networks channels.

One of the main features of wireless networks is that they use as a transmission medium the radio channels that are affected by a lot of interference. In some cases it leads to a high bit error rate (BER) level in the channel (so called error-prone channels) and, as a result, to significant reduction of its throughput. This problem is especially important for wireless local networks (WLANs) with a closed office environment structure (no direct line of sight between the AP and the stations with many obstructions between them) [1].

As it was shown in research, carried out by Atheros, in the closed office environment structures subscribers throughput even on the base of one access point (AP) may vary up to 10 times depending on its BER level [1]. Therefore, we must calculate the throughput for each wireless channel according to its BER level.

Thus, the development of appropriate models and methods for calculating BER level in the 802.11 error-prone wireless channels is relevant.

State of the art. Analysis methods for BER study show that there are three approaches and appropriate models and methods for calculating BER level in a wireless channel [2].

The first approach uses analytical dependences for calculating BER level. In such calculations a distance between the subscribers, data rate and modulation method are taken into account [3]. However, the analytical model cannot take into account many features of the environment where the wireless network is located. Therefore, the results of throughput calculations, using this approach can be far from the actual values.

The second approach is based on experimental measurements of Signal to Noise Ratio (SNR) in receiver and BER calculation on a base of SNR value [4]. The disadvantage of this method is that the received signal power in a wireless channel is measured by receiver only during reception of a physical layer preamble, the duration of which is about 3% of a frame

transmission cycle. This can lead to large errors in BER calculation and hence to large errors in calculation the throughput of the wireless channels [2].

The third approach is based on experimental methods for direct measuring of BER level. To implement this approach it is necessary to use a specialized equipment (programmable signal generators and logic analyzers) and specialized software [2].

The cost of such equipment can be 10 times higher than the cost of the wireless network, which measurements are conducted for. Thus, this approach is very expensive and time consuming, therefore it is practically not used in a real practice.

In the article a model oriented method of BER calculation is proposed. BER calculation is performed using the mathematical model of wireless channel throughput. As a basic metric for BER level calculation is used experimentally measured throughput of the wireless channel. The method allows with a high accuracy to calculate the average value of BER level for the whole transmission cycle.

Model oriented method. In the article a mathematical model of channel throughput for a Base transmission cycle (BTC) is used, which is the most commonly applied in 802.11 wireless channels [5]. The procedure of a frame transmission in this mode can be represented as a following sequence of time intervals and blocks of information: DIFS → Back of period → DF → SIFS → ACK, where DIFS, Back of period and SIFS – time intervals defined by standard, DF – data frame, ACK – acknowledgment frame [6].

Time of 802.11 Base transmission cycle we can write as:

$$T_{BTC} = T_{DIFS} + T_{BOP} + T_{DATA} + T_{SIFS} + T_{ACK} \quad (1)$$

where T_{DIFS} , T_{BOP} , T_{SIFS} – time of DIFS, Back of period and SIFS intervals, T_{DATA} , T_{ACK} – time of data and acknowledgment frames transitions.

Time of data frame transmission is defined in standard as:

$$T_{DATA} = T_{Preamble} + T_{PHeader} + \lceil L_{MSDU}/DR \rceil, \quad (2)$$

where $T_{Preamble}$, $T_{PHeader}$ – time of frame preamble and header transmission, L_{MSDU} – length of data frame information field, DR – data rate, $\lceil \rceil$ – the next highest integer.

ACK frame transmission time is defined in the standard as:

$$T_{ACK} = T_{Preamble} + T_{PHeader} + \lceil L_{ACK}/DR \rceil, \quad (3)$$

where L_{ACK} – length of acknowledgment frame.

Using the given above equations (1) – (3) we can calculate the time of Base transmission cycles for the IEEE 802.11g standard.

Using equations proposed in [7 – 9] we can calculate throughput of the wireless channel for the Base transmission cycle with retransmission as

$$CT_{BTC} = \frac{L_{MSDU} \cdot (1 - P_{DF})}{T_{DATA} + T_{ACK} + T_{PAUSE}}, \quad (4)$$

where P_{DF} – probability of frame distortion in the wireless channel, $T_{PAUSE} = T_{DIFS} + T_{BOP} + T_{SIFS}$.

This expression (4) is a mathematical model for calculating the throughput of the IEEE 802.11 standard wireless channel for the Base transmission cycle with retransmission.

Probability of frame distortion in the wireless channel can be express as:

$$P_{DF} = 1 - (1 - BER)^N, \quad (5)$$

where $N = L_{MSDU} + L_{ACK}$.

To simplify the procedure of BER calculation we will use P_{DF} approximation. Using binomial decomposition expression (5) it can be represented as a polynomial:

$$P_{DF} = N \cdot BER - [N(N-1)(BER)^2]/2 + [N(N-1)(N-2)(BER)^3]/6 - [N(N-1)(N-2)(N-3)(BER)^4]/24 + \dots + (BER)^N. \quad (6)$$

In this expression the members, starting from the second, are two orders smaller than the previous. So we can use approximation to calculate P_{DF} :

$$P_{DF} = N \cdot BER. \tag{7}$$

Using (7) from equation (4) we can express BER value as:

$$BER = \left(1 - \frac{CT_{BTC} \cdot T_{BTC}}{L_{MSDU}}\right) \cdot N^{-1} \tag{8}$$

Using the equation (8) we can calculate the BER level in a wireless channel. As a parameter for BER calculation we will use experimentally measured wireless channel throughput CT_{BTC} .

Experiments description. For experimental throughput measurements we will use JPERF traffic generator, which has built-in tools for TCP and UDP packets generation and throughput measurement [10]. For traffic generation JPERF is used agent-server scheme. Throughput measurements we will conduct in 802.11g WLAN using a Closed Office structure with some obstacles between subscriber and access point (Fig. 1).

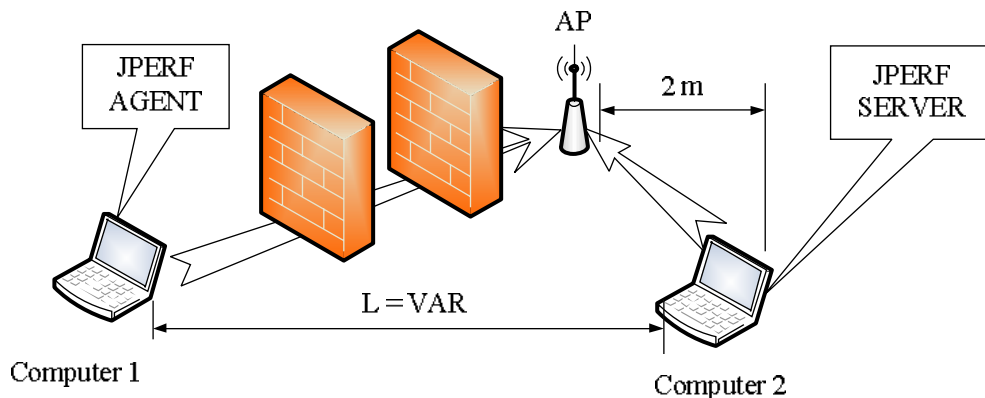


Fig. 1. Experimental scheme

The experiments were carried out at various points in the office for various distances between subscriber (Computer 1) and access point (AP). The measurements are carried out by the following scheme. For a maximum frame size of 1500 bytes channel throughput measurement is performed using a JPERF generator.

By the equation (8) is calculated the BER level in the channel. Then is performed a frame size consistent reduction. For each frame size the experimental measurement of channel throughput is conducted. Using equation (4) and BER value obtained in the first experiment analytical calculation of channel throughput value is performed. To assess the accuracy of the method for each frame size are calculated error values δ for analytically obtained channel throughput

$$\delta = \frac{CT_{BTC}^C - CT_{BTC}^M}{CT_{BTC}^M} \cdot 100\%$$

where CT_{BTC}^C – calculated value of channel throughput, CT_{BTC}^M – measured value of channel throughput.

Experimental analysis of the method accuracy shows that the maximum error occurs in a case of maximum distance between subscriber and access point. For this point a graph of methods inaccuracy depending from the size of transmitted frames is shown at Fig. 2.

Analysis of the graph shows that the maximum error does not exceed 6%, which indicates about a high accuracy of proposed method.

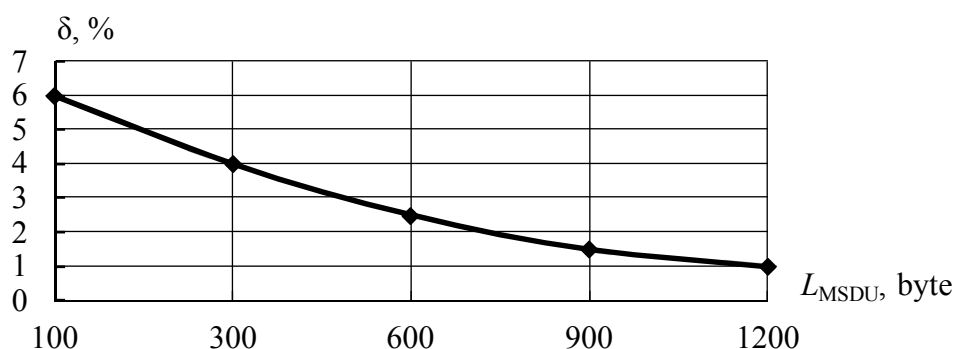


Fig. 2. Graph of method inaccuracy depending from the size of transmitted frames

Conclusions. Model oriented method of BER calculation is proposed. BER calculation is performed using the mathematical model of wireless channel throughput. As a basic metric for BER level calculation is used experimentally measured throughput of the wireless channel. The method allows to calculate the average BER level for the whole transmission cycle. Experimental study of the method showed that the maximum error of BER calculation does not exceed 6 %.

References

1. *802.11 Wireless LAN Performance*. Qualcomm White Paper. (2013), 13 p. Available at: <http://www.qca.qualcomm.com/wp-content/uploads/2013/10/>.
2. Vlavianos A., Law L., Broustis I., Krishnamurthy S., Faloutsos M. Assessing Link Quality in IEEE 802.11 Wireless Networks: Which is the Right Metric? 2008, 6 p. Available at: <http://www.cs.ucr.edu/~krish/pimrc08.pdf>.
3. Battula B., Prasad R., Moulana M. (2001). Performance Analysis of IEEE 802.11 Non-Saturated DCF, *International Journal of Computer Science Issues*, (8), pp. 565–568.
4. Halperin D., Hu W., Sheth A., Wetherall D. Predictable 802.11 Packet Delivery from Wireless Channel Measurements, in: SIGCOMM'10, New Delhi, India (2010), pp. 123–136.
5. *IEEE 802.11 standard, Part 11* (2012). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
6. Nesterenko, S., Nesterenko, I. (2015). Analysis of IEEE 802.11g wireless channel maximum throughput. *Electrotechnic and Computer Systems*, (2), pp. 42–46.
7. Khan, M., Khan, T., Beg, M. (2013). Evaluating the performance of IEEE 802.11 WLAN using DCF with RTS/CTS mechanism. *International Journal of Electrical, Electronics & Comm. Eng.*, (2), pp. 264–271.
8. Sharma R., Singh G., Agnihorti R. (2010). Comparison of performance analysis of 802.11a, 802.11b and 802.11g standard. *International Journal on Computer Science and Engineering*, (2), pp. 2042–2046.
9. Nesterenko, S., Nesterenko, I. (2015). Throughput analysis of 802.11g wireless channel boosting modes. *Electrotechnic and Computer Systems*, (3), pp. 54–57.
10. Feng Li, Mingzhe Li, Rui Lu, Huahui Wu, Mark Claypool and Robert Kinicki. Tools and Techniques for Measurement of IEEE 802.11 Wireless Networks, in: *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, 4th International Symposium*, (2006), pp. 1–8.

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.4.031

О.Н. Синчук, д-р техн. наук

ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина

Д.А. Михайличенко, ст. преподаватель

С.Н. Бойко, канд. техн. наук

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина

А.Н. Городний, инженер

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ: СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ – IGB ТРАНЗИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ТОКА В ЦЕПИ СТАТОРА И РОТОРА

О.М. Сінчук, д-р техн. наук

ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна

Д.А. Михайличенко, ст. викладач

С.М. Бойко, канд. техн. наук

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна

О.М. Городний, інженер

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ: СИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН – IGB ТРАНЗИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ СТРУМУ В КОЛІ СТАТОРА І РОТОРА

Oleg Sinchyk, Doctor of Technical Sciences

State institution of higher education «Kryvyi Rih National University», Kryvyi Rih, Ukraine

Dmitriy Mikhaylichenko, senior teacher

Sergey Boyko, PhD in Technical Sciences

Kremenchug Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchug, Ukraine

Aleksey Gorodniy, engineer

Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

ANALYSIS OF HIGH-VOLTAGE PROCESSES IN THE SYSTEM SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR WITH IGB TRANSISTOR INVERTERS IN THE CIRCUIT OF STATOR AND ROTOR

В работе проведен анализ предложенной структуры и алгоритма управления IGBT модулями высоковольтного преобразователя частоты, установленного в цепи статора синхронного электрического двигателя, а также проведен анализ упрощенной схемы IGB транзисторного возбудителя системы возбуждения. Рассмотренные предложения могут позволить снизить капитальные затраты и повысить надежность электротехнического комплекса пуска и возбуждения синхронного двигателя в целом.

Ключевые слова: синхронный двигатель, высоковольтный преобразователь, IGB транзистор.

У роботі проведено аналіз запропонованої структури та алгоритму керування IGBT модулями високовольтного перетворювача частоти, встановленого в колі статора синхронного електричного двигуна, а також проведено аналіз спрощеної схеми IGB транзисторного збудника системи збудження. Розглянуті пропозиції можуть дозволити знизити капітальні витрати і підвищити надійність електротехнічного комплексу пуску і збудження синхронного двигуна в цілому.

Ключові слова: синхронний двигун, високовольтний перетворювач, IGB транзистор.

In work the analysis of the structure and control algorithm IGBT modules high-voltage frequency inverter installed in the stator circuit of a synchronous electric motor, as well as the analysis of the simplified scheme IGB transistor exciter excitation system. Considered proposals to reduce capital costs and enhance the reliability of the complex start-up and excitation of the synchronous motor as a whole.

Key words: synchronous motor, high-voltage inverter, IGBT transistor.

Постановка проблемы. Использовать синхронные электродвигатели в качестве приводных весьма заманчиво во многих механизмах. Известно, что синхронные элек-

тродвигатели (СД) несколько сложнее, чем асинхронные, но обладают рядом преимуществ, что позволяет применять их достаточно широко [1; 2].

Однако ряд недостатков сдерживает ожидаемое по масштабам применение СД в составляющих электропривода. Одной из проблем является пуск и втягивание в синхронизм самого двигателя [1–3].

Отмеченные недостатки снимает применение плавного частотного регулирования синхронного двигателя при пуске. Это весьма дорогое техническое решение, поскольку для его реализации требуется высоковольтный IGB транзисторный преобразователь частоты. Однако, когда требуется плавное изменение момента и скорости вращения приводимого механизма в процессе эксплуатации, такое решение является оправданным, а иногда и единственно возможным [1–3].

Анализ последних исследований и публикаций. Известные современные системы регулируемого и управляемого по пуску привода не опровергают, а наоборот, подчеркивают возможность и необходимость проведения поиска новых схемных решений, разработки новых алгоритмов управления силовыми модулями преобразователя с целью повышения энергетической и технологической эффективности электротехнического комплекса СД в целом [3–7].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Внедряемые электротехнические комплексы систем запуска и регулирования высоковольтных СД остаются сложными и дорогостоящими электротехническими объектами. В частности высоковольтные виды электроприводов горнометаллургических предприятий оснащенные современными многоблочными преобразователями частоты (ПЧ) имеют массу и объём фильтра, которые обусловлены совместной работой со всеми блоками высоковольтного преобразователя. При этом имеется возможность снизить массогабаритные показатели фильтра за счет других схемных решений структуры ПЧ и его алгоритмов управления [3].

Цель статьи. Анализ электромагнитных процессов и разработка структуры и алгоритма формирования форм кривых тока и напряжения IGBT модуля высоковольтного ПЧ, установленного в цепи статора СД, и системы его возбуждения.

Изложение основного материала. Высоковольтные электроприводы с ПЧ на базе IGB транзисторов содержат выпрямительно-инверторные блоки и один или два трансформатора для согласования напряжений сети, нагрузки и IGBT преобразователя.

В первом случае из вышеотмеченных вариантов однофазные блоки соединяются последовательно, во втором – уже трёхфазные блоки соединяются параллельно. Несмотря на большее чем на 15 % число IGB транзисторов, предпочтение, как правило, отдается однострансформаторной схеме, обеспечивающей более высокий КПД и возможность совершенствования алгоритма управления [3].

Для высоковольтных электроприводов применяют схему, приведенную на рис. 1 [3; 4].

Схема преобразовательного блока U_i приведена на рис. 2 [3; 4].

Положительную половину U_α выходного напряжения формируют IGB транзисторы $T1$ и $T2$. Отрицательную полуволну U_β формирует пара $T3$, $T4$. При ШИМ напряжения положительный импульс выходного напряжения образуется при включении IGB транзисторов $T1$ и $T2$. Ток протекает по цепи $(+) \rightarrow T1 \rightarrow \alpha \dots \beta \rightarrow T2 \rightarrow (-)$. Нулевая пауза образуется при отключении одного из IGB транзисторов $T1$ и $T2$.

Инвертор по схеме однофазного моста позволяет посредством ШИМ формировать кривую выходного напряжения любой конфигурации, из которых наиболее распространены прямоугольная, синусоидальная, трапецеидальная [3; 4].

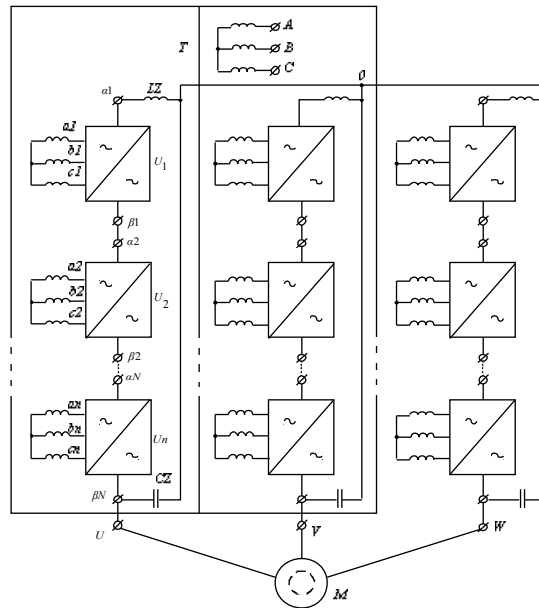


Рис. 1. Структура высоковольтного IGB транзисторного преобразователя частоты:
*A, B, C – фазы высоковольтной питающей сети; Г – трансформатор; U_i – преобразовательный блок;
 α, β – выходные фазы блока; М – двигатель; LZ, CZ – выходной фильтр*

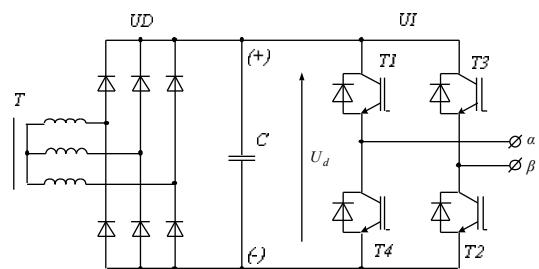


Рис. 2. Схема IGB транзисторного преобразовательного блока: UD – диодный выпрямитель;
 UI – IGB транзисторный инвертор; C – накопитель; T1–T4 – IGB транзисторы

Разложение прямоугольной формы в ряд Фурье имеет вид

$$u = \frac{4}{\pi} U_d \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega t + \dots + \frac{1}{v} \sin v \omega t \right), \tag{1}$$

где $v = 2K - 1$, $K = 1, 2, 3, \dots$; есть третья гармоника 33 %, пятая гармоника 20 %;

$U_{m1} = \frac{4}{\pi} U_d = 1,273 U_d$ – амплитуда первой гармоники; $\tilde{U}_1 = \frac{U_{m1}}{\sqrt{2}} = 0,9 U_d$ – действующее значение первой гармоники; $\tilde{U}_\Sigma = U_d$ – действующее значение полной кривой

напряжения; $K_u = \frac{\tilde{U}_1}{\tilde{U}_\Sigma} = 0,9$ – коэффициент искажения; $K_d = \frac{U_{m1}}{U_d} = 1,273$ – коэффициент использования питающего напряжения.

Приложение прямоугольного напряжения к двигателю вызывает ток, форма которого показана на рис. 3, а. Характерной особенностью кривой тока является наличие пика, который больше амплитуды первой гармоники тока, из-за чего необходимо принимать в инверторе IGB транзисторы более высокого класса по току. Для устранения пика тока в конце полуволны напряжения и для симметрии в начале следующей полуволны можно ввести ШИМ напряжения по линейному закону (рис. 3, б). Таким образом, намечается тенденция стремления к формированию трапецеидальной формы выходного напряжения [3; 4].

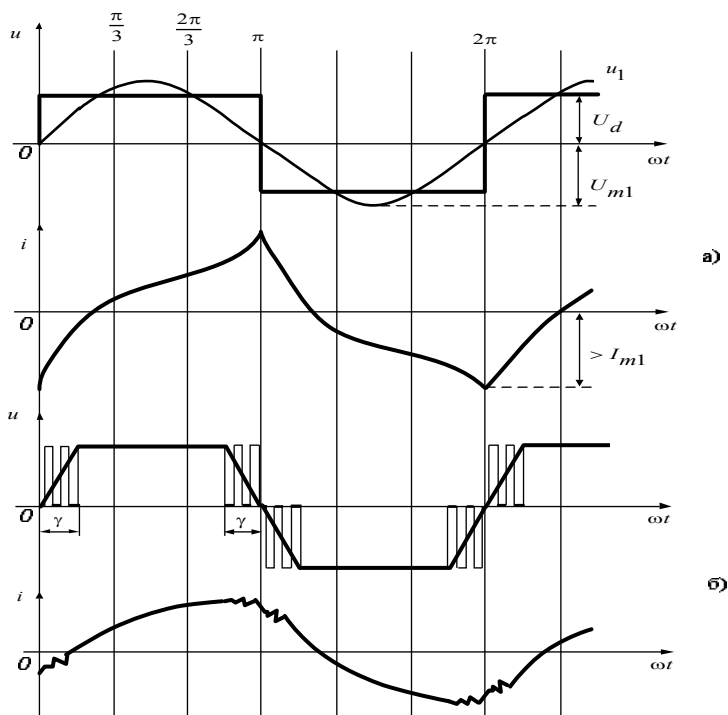


Рис. 3. Кривые выходных напряжения и тока однофазного моста инвертора:
 а – прямоугольная форма напряжения; б – трапецидальная форма напряжения

В общем случае, $\gamma = \text{var}$, разложение трапеции в ряд Фурье имеет вид:

$$u_v = \frac{4}{\pi} U_d \cdot \frac{\sin v\gamma}{v^2\gamma} \cdot \sin v\omega t, \quad (2)$$

где $v = 2K - 1$, $K = 1, 2, 3, \dots$;

$$U_{m1} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sin\gamma}{\gamma} \cdot U_d; \quad (3)$$

$$\tilde{U}_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{\sin\gamma}{\gamma} \cdot U_d; \quad (4)$$

$$\tilde{U}_\Sigma = U_d \sqrt{1 - \frac{4\gamma}{3\pi}}; \quad (5)$$

$$K_u = \frac{2\sqrt{6}}{\sqrt{\pi(3\pi - 4\gamma)}} \cdot \frac{\sin\gamma}{\gamma}; \quad (6)$$

$$K_d = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sin\gamma}{\gamma}. \quad (7)$$

Максимальное значение коэффициента искажения $K_u \rightarrow 1,0$ имеет место при $\gamma = 62$ эл. град. Из практических соображений можно принять $\gamma = \frac{\pi}{3}$, тогда:

$$U_{m1} = 1,053U_d; \quad (8)$$

$$\tilde{U}_1 = 0,745U_d; \quad (9)$$

$$\tilde{U}_\Sigma = 0,745U_d; \quad (10)$$

$$K_u = 0,9989 = 1,0; \tag{11}$$

$$K_d = 1,053. \tag{12}$$

Причем в оптимальном случае отсутствует третья гармоника в выходном напряжении, а наибольшая из высших пятая гармоника имеет действующее значение $\tilde{U}_5 = 0,03U_d$.

Коэффициент высшей гармоники $K_v = \frac{\tilde{U}_5}{\tilde{U}_1} = 0,04$, что менее 0,06 допустимых по стандарту качества электроэнергии.

Особенностью трапеции является отсутствие ШИМ на интервале $\left[\frac{\pi}{3} \dots \frac{2\pi}{3} \right]$ на максимуме выходного напряжения [3; 4].

При формировании интегральной кривой по синусоидальному закону ШИМ напряжения питания U_d в отличие от трапеции как на максимуме, так и во всем диапазоне изменения напряжения, требуется модуляция. Амплитуда синусоиды, модулированной из прямоугольника U_d , составляет $U_{m \sin} \approx U_d$ (рис. 4), где период модуляции

$T_M = \frac{1}{f_M}$. Точнее должно быть

$$\int_{\pi/2 - \omega T_M}^{\pi/2} U_{m \sin} \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t = 0,955 \cdot U_d \omega T_M. \tag{13}$$

Откуда $U_{m \sin} = 0,955U_d$. Тогда $K_u = \frac{0,955}{\sqrt{2}} = 0,675$.

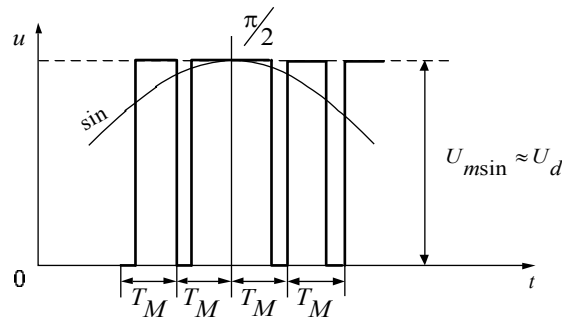


Рис. 4. ШИМ на вершине синусоиды

Полученные результаты сведены в таблицу.

Таким образом, блоки U осуществляют ШИМ напряжения, формируя на выходах $\alpha\beta$ интегральные кривые выходного напряжения. ШИМ действует на всём протяжении формирования суммарной синусоиды, что приводит к значительным динамическим потерям в IGB транзисторах.

Высокое напряжение фазы преобразователя через Г-образный $LZ - CZ$ фильтр подаётся на двигатель M (рис. 1). Таким образом, фильтр находится под воздействием модулируемых импульсов высокого напряжения, что определяет завышенную массу и объём фильтра.

Результаты расчётов

Форма напряжения	$K_u = \frac{\tilde{U}_1}{\tilde{U}_\Sigma}$	$K_d = \frac{U_{m1}}{U_d}$	Особенности
Прямоугольная	0,9	1,273	3 гармоника 33 %; 5 гармоника 20 %; Наличия пика в токе большей амплитуды
Трапецеидальная	1,0	1,053	Коэффициент высшей гармоники $K_v = \frac{\tilde{U}_5}{\tilde{U}_1} = 0,04 < 0,06$ по стандарту; нет ШИМ на максимуме U_d
Синусоидальная	0,675	0,955	ШИМ в течение всей волны

С целью устранения отмеченных недостатков предлагается структура ПЧ, когда управление блоками преобразователя осуществлять не поочерёдным циклическим включением, а когда все блоки формируют выходные напряжения полной прямоугольной формы без ШИМ, кроме одного формирующего выходное интегральное напряжение, дополняющее прямоугольные напряжения других блоков до выходного фазного напряжения преобразователя заданной интегральной формы.

Итак, при этом ШИМ напряжения осуществляет только один блок преобразователя на всём протяжении процесса, например, всегда первый блок $U1$. Он формирует на выходе $\alpha 1 - \beta 1$ импульсы амплитудой U_d , где U_d – выпрямленное напряжение на накопительном конденсаторе CD . Выходной импульс напряжения образуется при включении пары IGB транзисторов $T1 - T2$, либо $T3 - T4$. Нулевой уровень напряжения образуется при отключении одного из указанных IGB транзисторов, например, $T2$. Тогда инвертор $U1$ проводит внешний ток по цепи « $\beta 1 \rightarrow$ диод модуля $T3 \rightarrow$ транзистор модуля $T1 \rightarrow \alpha 1$ » (нулевое состояние блока). Длительность модулируемых импульсов задаётся таким образом, чтобы интегральная кривая суммарного выходного напряжения фазы преобразователя имела заданную форму и амплитуду.

Характерной особенностью трапецеидальной кривой напряжения на максимуме является отсутствие модуляции на интервалах $\left[\frac{nT_S}{6} \dots \frac{nT_S}{3} \right]$, при $i=1$, благодаря чему на

треть снижаются динамические потери в IGB транзисторах. Нарращивание уровня выходного напряжения на второй ступени происходит введением в работу очередного блока, например U_2 , все остальные остаются в нулевой позиции. Блок $U2$ образует напряжение U_2 полной прямоугольной формы без ШИМ амплитудой U_d , а блок $U1$ посредством ШИМ регулирует суммарное выходное напряжение фазы U_{s2} от U_d до $2U_d$, дополняя при этом кривую до трапеции (рис. 5), где модулируемые импульсы для простоты изображения не показаны, а приведены интегральные кривые.

Поскольку второй инвертор формирует прямоугольное напряжение без ШИМ, динамические потери в его IGB транзисторах отсутствуют. Дальнейшее увеличение выходного напряжения фазы преобразователя частоты происходит введением в работу последующих блоков поочерёдно. Вводимые в работу блоки формируют напряжения прямоугольной конфигурации (рис. 5), $l=3$, и т. д.

Предлагается выходной фильтр $LZ-CZ$ подключать к блоку, осуществляющего ШИМ. При этом он будет находиться под воздействием импульсов напряжения меньшей амплитуды, чем в базовом варианте, вследствие чего снижаются масса и объём элементов фильтра, конденсатора CZ и дросселя LZ .

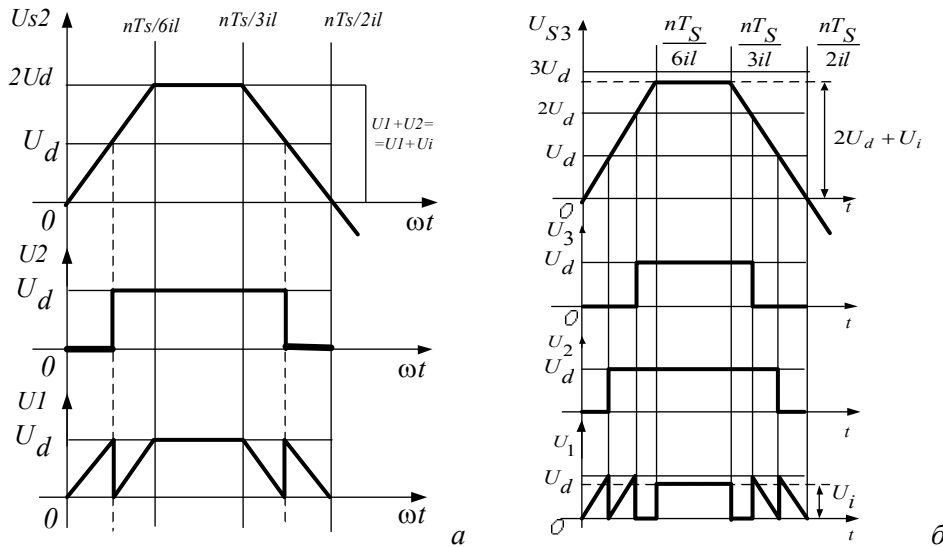


Рис. 5. Интегральные кривые выходного напряжения преобразователя: а – $l=2, i < 1$; б – $l=3, i < 1$

Также одним из вопросов, который требует современного технического решения для повышения энергетических параметров СД, является вопрос разработки современных систем их возбуждения.

Появление IGB транзисторов позволяет создавать на их базе схемы возбуждения, решающие ряд отмеченных проблем. В качестве примера такой IGB транзисторной системы возбуждения приведена схема на рис. 6 [3; 4].

IGB транзисторный чоппер UM посредством ШИМ напряжения осуществляет регулирование тока возбуждения. Высокая частота модуляции позволяет избежать установки сглаживающего дросселя LM , – достаточно индуктивности обмотки возбуждения. В нормальном режиме работы возбудителя тиристор SM включён постоянно и в паре с диодом DM выполняет функцию нулевого. Для отключения тиристора SM кратковременно включают IGB транзистор TM и тиристор SK . При этом в действие вводится резистор RE для гашения поля двигателя. Схема обладает высоким быстродействием и обеспечивает высокий коэффициент мощности, потребляемой из сети. Отсутствие согласующего трансформатора способствует снижению массы и объёма электрооборудования установки. Однако наличие большого числа полупроводниковых приборов сдерживает совершенствование системы возбуждения в этом направлении. Причём тиристоры взамен контакторов целесообразно применять при частых срабатываниях, а в данном случае используются редко. Для переключения режимов работы возбудителя имеет смысл использовать контакторы [3; 4].

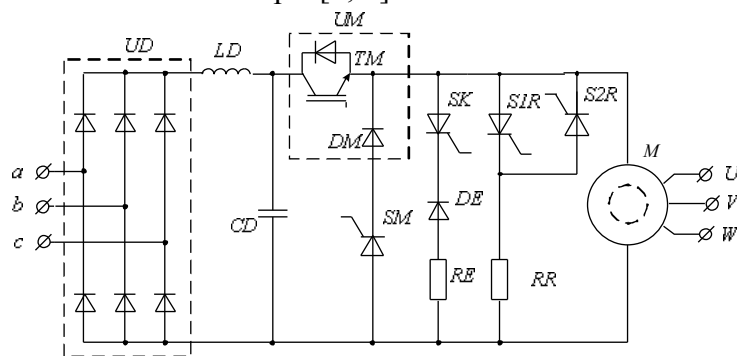


Рис. 6. Упрощённая принципиальная схема IGB транзисторного возбудителя

Данная система возбуждения предназначена, главным образом, для использования при прямом пуске синхронной машины. Целесообразно исследовать процессы в цепи

возбуждения при частотном пуске синхронной машины осуществляемом преобразователем частоты в цепи статора.

Для определения путей совершенствования системы возбуждения при частотном пуске синхронной машины рассмотрим процессы в ней.

Для этого воспользуемся схемой замещения синхронной машины, приведённой на рис. 7 [8].

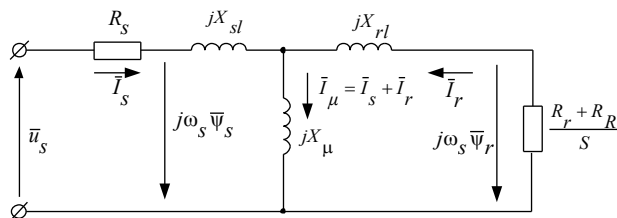


Рис. 7. Схема замещения синхронного двигателя при пуске

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_S &= \bar{I}_S R_S + j\omega_S \bar{\psi}_S; \\ 0 &= \bar{I}_R \frac{R_r + R_R}{S} + j\omega_S \bar{\psi}_R; \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \omega_S \bar{\psi}_S &= \bar{I}_S X_{Sl} + \bar{I}_\mu X_\mu; \\ \omega_S \bar{\psi}_R &= \bar{I}_r X_{rl} + \bar{I}_\mu X_\mu. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Доступная $R_S \approx 0$ с погрешностью $\sim 1\%$ и $R_r + R_R \rightarrow R_R$, поскольку обычно принимают внешнее пусковое сопротивление $R_R \geq 10R_r$ [4], имеем

$$\bar{\psi}_S = \frac{\bar{U}_S}{j\omega_S}; \quad \bar{\psi}_R = -\bar{I}_r \frac{R_R}{j\omega_S S}. \quad (16)$$

Принимая предельное скольжение

$$S_M = \frac{R_R}{X'_r}, \quad (17)$$

где $X'_r = X_{rl} + \frac{X_{Sl} \cdot X_\mu}{X_{Sl} + X_\mu}$,

а также $X'_r = X_{Sl} \cdot X_{rl}$, преобразуем (3):

$$\bar{\psi}_R = \frac{X_\mu}{X'_r} \cdot \frac{\bar{U}_S}{j\omega_S} \cdot \frac{S_m}{S_m + jS}. \quad (18)$$

Уравнения вращающего момента синхронной машины в общем виде

$$M = \frac{3}{2} \cdot \frac{\omega_S X_\mu}{X'_r X'_r} \cdot [\bar{\psi}_R \times \bar{\psi}_S]. \quad (19)$$

Используя (1)–(5), полагая $S_m \gg S$, опуская математические выкладки, приходим к выражению

$$M = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{X_{\mu}}{X'_S} \right)^2 \cdot \frac{U_S}{\omega_S} \cdot \frac{U_S S}{R_R}, \tag{20}$$

где $M = const$; $\frac{U_S}{\omega_S} = const$; $U_S S = const$, тогда

$$R = const. \tag{21}$$

Итак, внешнее сопротивление в цепи возбуждения можно принять постоянным при частотном пуске синхронной машины.

Далее, при частотном пуске напряжение, наводимое в обмотках возбуждения, значительно меньше, чем при прямом пуске, поэтому величина сопротивления внешнего резистора может варьироваться в широких пределах, что позволяет согласовать ее с величиной сопротивления резистора гашения поля и объединить резисторы в один.

Усовершенствованная схема IGB транзисторного возбудителя представлена на рис. 8, где KL – линейный выключатель, UD – диодный выпрямитель, LZ , CZ – фильтр-накопитель, UM – чоппер, TM – IGB транзистор, DM – нулевой диод, RR – резистор пусковой и гашение поля, KR , KM – контакторы, M – синхронная машина.

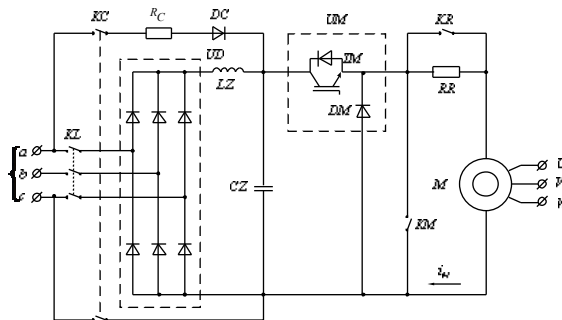


Рис. 8. Усовершенствованная схема IGB-транзисторного возбудителя синхронной машины: KC , RC , DC – зарядная цепь, используется при подготовке возбудителя к работе (при отключенном KL и включенном KC осуществляется предварительный плавный заряд конденсатора CD , после чего RC отключается и включается KL)

При пуске двигателя KR разомкнут, KM замкнут, UM отключен. В режиме гашения поля UM отключен, KR и KM разомкнуты. В нормальном режиме KR замкнут, KM разомкнут, UM посредством ШИМ напряжения питания U_d регулирует ток возбуждения i_M . Чем больше длительность r - проводящего состояния IGB транзистора TM при постоянстве периода модуляции T_M , тем больше среднее значение тока возбуждения I_M .

Выводы и предложения. 1. Предложенный преобразователь частоты, содержащий входной трансформатор, выходные обмотки которого подключены к последовательно соединенным блокам, образующим фазу и содержащим каждый в свою очередь диодный выпрямитель конденсатор – накопитель и однофазный IGB транзисторный инвертор, а также содержащий выходные LC-фильтры в каждой фазе, отличающийся от известных тем, что LC-фильтры в каждой фазе преобразователя подсоединены только к одному блоку, выполняющему ШИМ напряжения.

2. Структура и способ управления IGBT-преобразователем позволяет повысить КПД системы в целом, а также снизить массу и объем транзисторных модулей и элементов фильтра.

3. Предлагаемая усовершенствованная схема IGB транзисторного возбудителя обеспечивает высокую надёжность (за счёт сокращения числа элементов) и высокий коэффициент мощности, потребляемой из сети энергии.

Список использованных источников

1. *Пусковые системы нерегулируемых электроприводов* : монография / А. П. Черный, А. И. Гладырь, Ю. Г. Осадчук, И. Р. Курбанов, А. Н. Вошун. – Кременчуг : ЧП Щербатых А. В., 2006. – 280 с.
2. *Вейнгер А. М.* Регулируемый синхронный электропривод / А. М. Вейнгер. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
3. *Полупроводниковые преобразователи электрической энергии в структурах электроприводов. Схемотехника и принципы управления* : учебное пособие / И. О. Синчук, А. А. Чернышев, И. И. Киба и др. ; под ред. О. Н. Синчука. – Кременчуг : ВПП Щербатых О. В., 2008. – 88 с.
4. *Пронин М. В.* Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / М. В. Пронин, А. Г. Воронцов ; под ред. Е. А. Крутякова. – СПб. : Электросила, 2003. – 172 с.
5. *Sen J. and Butterworth N.* (1997). Analysis and Desing of a Three-Phase PWM Converter System for Railway Traction Applications, IEE Proceedings on Electric Power Applications, Vol. 144, No. 5, pp. 357–371.
6. *Bin Wu.* High-power Converters and AC Drives // John Willey & Sons, New Jersey, 2006. – 112 p.
7. *L. Serrano, Iribarnegaray,* “The Modern Space Vector Theory, Part I: Its Coherent Formulation and Its Advantages for Transient Analysis o Converter-Fed AC Machines”, ETEP, vol.3, no.2, March/April, 1993.
8. *Ключев В. И.* Теория электропривода : учебник для ВУЗов / В. И. Ключев. – М. : Энергоиздат, 1998. – 704 с.

УДК 62-83-52:621.311.24

Д.Г. Алексеевский, канд. техн. наук

Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина

**ОБЪЯСНЕНИЕ ЭФФЕКТА АВТООПТИМИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЭУ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ
МУЛЬТИПЛИЦИРОВАНИЕМ**

Д.Г. Алексієвський, канд. техн. наук

Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя, Україна

**ПОЯСНЕННЯ ЕФЕКТУ АВТООПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ
СИСТЕМИ ВЕУ З АЕРОДИНАМІЧНИМ МУЛЬТИПЛІКУВАННЯМ**

Dmitriy Alekseyevskiy, PhD in Technical Sciences

Zaporozhe State Engineering Academy, Zaporozhe, Ukraine

**EXPLANATION OF THE AUTO OPTIMIZATION EFFECT OF A WIND POWER
PLANT ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH AN AERODYNAMIC
MULTIPLICATION**

Рассмотрен эффект автооптимизации электромеханической системы ветроэнергетической установки на базе схемы с аэродинамическим мультипликатором. Предложен графоаналитический метод анализа статического режима данной системы. На основе графоаналитического анализа определяются условия возникновения эффекта и формулируются рекомендации по повышению эффективности данной системы.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветротурбина, генератор, оптимальный режим работы, аэродинамическое мультиплицирование.

Розглянуто ефект автооптимізації електромеханічної системи вітроенергетичної установки на базі схеми з аеродинамічним мультиплікатором. Запропоновано графоаналітичний метод аналізу статичного режиму цієї системи. На основі графоаналітичного аналізу визначаються умови виникнення ефекту і формулюються рекомендації щодо підвищення ефективності цієї системи.

Ключові слова: вітроенергетична установка, вітротурбіна, генератор, оптимальний режим роботи, аеродинамічне мультиплікування.

The article presents the auto optimization effect of a wind power plant electromechanical system on the basis of a scheme with aerodynamic multiplier. We proposed the graphic-analytical method for analysis of the system static mode. Based on the graphic-analytical analysis, defines the conditions for the effect origins are defined and frame a guidelines for efficiency improvement of the given are mode.

Key words: wind power plant, wind turbine, generator, optimal mode of operation, aerodynamic multiplication.

Постановка проблемы. Эффект автооптимизации ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием был обнаружен при исследовании поведения этой системы в режиме стабилизации угловой скорости вторичных ветротурбин на номинальном значении [1]. Он заключается в том, что при абсолютно жесткой механической характеристике генераторов электромеханическая система автоматически «выбирает» состояния, оптимальные с точки зрения максимального отбора мощности.

Естественным образом возникает проблема математического описания данного эффекта с целью его наиболее эффективного использования при проектировании данных систем.

Анализ основных исследований и публикаций. Результаты исследования эффекта автооптимизации рассматривались в публикациях [1] и [2]. Работы проводились с помощью созданной авторами математической модели реальной электромеханической системы ВЭУ.

В работе [1] были приведены результаты моделирования данной системы в статическом режиме в виде диаграмм выработки электроэнергии, по которым можно было судить о наличии эффекта автооптимизации. Также было выявлено, что данный эффект наблюдается только на определенном диапазоне значений скорости первичного ветрового потока.

В работе [2] было исследовано влияние угловой скорости вращения вала генератора на характер диаграммы выработки. Это влияние проявлялось, в основном, в виде расширения диапазона действия данного эффекта с увеличением значения этой скорости.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Эффект автооптимизации электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием, до настоящего момента, был описан только как феномен. Поэтому первым шагом к созданию его теоретического описания, очевидно, должно быть, прежде всего, объяснение данного эффекта.

Цель статьи. Основной целью данной работы является объяснение эффекта автооптимизации электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием с помощью ее адекватного математического представления.

Материал и результаты исследования.

Обоснование зависимости угловой скорости первичной ветротурбины от скорости первичного ветрового потока, обеспечивающей оптимальный отбор мощности

Сформулируем геометрическую интерпретацию условия оптимального отбора мощности от первичного ветрового потока в форме следующего положения и докажем его справедливость.

Положение 1. *В режиме оптимального отбора мощности зависимость оптимальной угловой скорости вращения первичной ветротурбины от скорости первичного ветрового потока представляет собой линейную функцию, график которой проходит через номинальную рабочую точку.*

Данное утверждение является очевидным. Действительно, по определению быстроходности, применительно к первичной ветротурбине:

$$Z_1 = \frac{\omega_1 \cdot R_{BT1}}{V_1}, \quad (1)$$

где Z_1 – быстроходность первичной ветротурбины;

ω_1 – угловая скорость вращения первичной ветротурбины;

R_{BT1} – радиус первичной ветротурбины;

V_1 – скорость первичного ветрового потока.

Для оптимального режима с учетом (1) справедливо соотношение:

$$\omega_{1opt} = \frac{Z_{1opt} \cdot V_1}{R_{BT1}}, \quad (2)$$

где ω_{1opt} – оптимальная угловая скорость вращения первичной ветротурбины;

Z_{1opt} – оптимальная быстроходность ветротурбины, соответствующая максимальному значению коэффициента мощности - C_{P1}^{max} .

Так как значения Z_{1opt} и R_{BT1} являются константами, то зависимость:

$$\omega_{1opt} = f_{opt}(V_1) \quad (3)$$

является прямой пропорциональностью. Это утверждение, а также то, что в номинальном режиме отбор мощности должен быть оптимальным, подтверждает приведенное выше положение.

Система базисных и относительных величин

С целью наглядного представления результатов анализа эффекта автооптимизации и получения результатов в обобщенном виде введем систему относительных величин. При этом в качестве базисных выбираются следующие величины:

V_1^{nom} – номинальная скорость первичного воздушного потока (скорость ветра);

ω_1^{nom} – номинальная угловая скорость вращения первичной аэромеханической подсистемы;

M_{BT1}^{nom} – номинальный момент создаваемый первичной ветротурбиной;

P_{BT1}^{nom} – номинальная механическая мощность первичной ветротурбины;

V_2^{nom} – номинальная скорость вторичного воздушного потока;

ω_2^{nom} – номинальная угловая скорость вращения вторичной аэромеханической подсистемы;

M_{BT2}^{nom} – номинальный момент создаваемый вторичной ветротурбиной;

P_{BT2}^{nom} – номинальная механическая мощность вторичной ветротурбины.

В первом приближении рассмотрим идеальную систему без потерь. Данный эффект проявляется только в установившемся режиме, поэтому динамические свойства системы в данном анализе не рассматриваются.

Относительная скорость первичного воздушного потока:

$$V_1^* = \frac{V_1}{V_1^{nom}}, \quad (4)$$

где V_1 – фактическая скорость первичного воздушного потока.

Относительная угловая скорость вращения первичной ветротурбины:

$$\omega_1^* = \frac{\omega_1}{\omega_1^{nom}}, \quad (5)$$

где ω_1 – фактическая угловая скорость вращения первичной ветротурбины.

Относительная мощность первичной ветротурбины:

$$P_{BT1}^* = \frac{P_{BT1}}{P_{BT1}^{nom}}, \quad (6)$$

где P_{BT1} – фактическая мощность первичной ветротурбины.

Относительная скорость вторичного воздушного потока:

$$V_2^* = \frac{V_2}{V_2^{nom}}, \quad (7)$$

где V_2 – фактическая скорость вторичного воздушного потока.

Относительная угловая скорость вращения вторичной ветротурбины:

$$\omega_2^* = \frac{\omega_2}{\omega_2^{nom}}, \quad (8)$$

где ω_2 – фактическая угловая скорость вращения вторичной ветротурбины.

Относительная мощность вторичной ветротурбины:

$$P_{BT2}^* = \frac{P_{BT2}}{P_{BT2}^{nom}}, \quad (9)$$

где P_{BT2} – фактическая мощность вторичной ветротурбины.

Гипотеза про квазиоптимальный режим

В начале анализа примем гипотезу о том, что наблюдаемый режим является на самом деле квазиоптимальным. В рамках данной гипотезы предполагается, что *существует некоторый идеальный режим автооптимизации системы*. Нахождение условий его возникновения и описание этого режима были бы «ключом» к пониманию наблюдаемого явления.

Действительно, на практике эффект наблюдался только в окрестностях номинальной рабочей точки [1]. По мере удаления от нее, эффект постепенно исчезал, что выразилось в увеличении отклонения от оптимального значения угловой скорости вращения первичной ветротурбины.

Нужно отметить, что для идеального режима свойство, изложенное в положении 1, должно выполняться на всем рабочем диапазоне скоростей ветрового потока, а не только в окрестностях рабочей точки.

Описание системы с аэродинамическим мультиплицированием в пространстве $P^*(\omega_1^*, V_1^*)$.

В соответствии с приведенной выше системой относительных величин рассмотрим функцию первичной мощности в относительных единицах:

$$P_1^* = f_1(\omega_1^*, V_1^*) = (V_1^*)^3 \cdot C_{P1}^*(Z_1^*), \quad (10)$$

где $C_{P1}^*(Z_1^*)$ – зависимость коэффициента мощности от быстроходности первичной ветротурбины (может быть определена, например, из выражения, приведенного в [3]).

Быстроходность в (10) определяется из выражения:

$$Z_1^* = \frac{\omega_1^* \cdot R_{BT1}^*}{V_1^*}. \quad (11)$$

В пространстве $P^*(\omega_1^*, V_1^*)$ выражение (10) будет описывать коническую поверхность, изображенную на рис. 1.

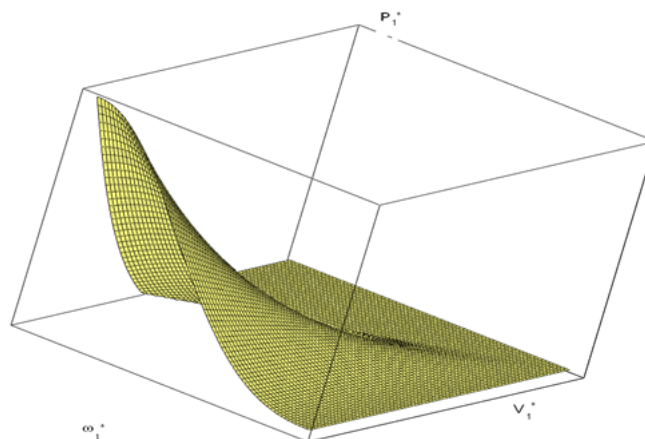


Рис. 1. Поверхность состояния первичной аэромеханической подсистемы

Рассмотрим также аналогичную функцию мощности вторичной аэромеханической подсистемы:

$$P_2^* = f_2(\omega_2^*, V_2^*) = (V_2^*)^3 \cdot C_{P2}^*(Z_2^*), \quad (12)$$

где $C_{P2}^*(Z_2^*)$ – зависимость коэффициента мощности от быстроходности вторичной ветротурбины (определяется аналогично зависимости – $C_{P1}^*(Z_1^*)$).

Быстроходность в (12) определяется из выражения:

$$Z_2^* = \frac{\omega_2^* \cdot R_{BT2}^*}{V_2^*}. \quad (13)$$

Скорость вторичного воздушного потока пропорциональна угловой скорости первичной ветротурбины, поэтому в системе относительных единиц:

$$V_2^* = \omega_1^*. \quad (14)$$

Поэтому функция (12) может быть записана в следующем виде:

$$P_2^* = f_2(\omega_2^*, \omega_1^*) = (\omega_1^*)^3 \cdot C_{P2}^*(Z_2^*). \quad (15)$$

Напомним, что данный эффект рассматривается в установившемся режиме. Поэтому должен выполняться баланс механической мощности:

$$P_1^* = P_2^* = P^*. \quad (16)$$

Благодаря выражениям (14) и (16) поверхности (10) и (15) могут быть построены в одном пространстве. Рабочие точки системы находятся на линии пересечения этих двух поверхностей.

Искомая зависимость $\omega_1^* = f(V_1^*)$ будет представлять собой проекцию линии рабочих точек на плоскость (ω_1^*, V_1^*) .

Таким образом, может быть сформулирована геометрическая интерпретация эффекта автооптимизации:

Положение 2. Эффект автооптимизации возникает при условии, что проекция линии пересечения поверхностей f_1 и f_2 на плоскость (ω_1^*, V_1^*) будет представлять собой прямую линию, проходящую через проекцию точки номинального режима.

Положение 2 позволяет объяснить эффект автооптимизации и сформулировать условия его возникновения.

Возникновение данного эффекта обусловлено геометрическими свойствами рассматриваемых поверхностей. В частности, условие, изложенное в Положении 2, может

наступить в случае, если две поверхности представляют собой идентичные поверхности, повернутые одна относительно другой на угол 90° вокруг оси OP^* .

Это возможно в случае, когда регулирование скоростью генератора осуществляется по закону:

$$\omega_2^* = V_1^* , \tag{17}$$

при условии идентичности характеристик $C_{P1}^*(Z_1^*)$ и $C_{P2}^*(Z_2^*)$.

Описанная ситуация изображена на рис. 2.

Данный режим можно считать идеальным с точки зрения того, что он существует на всем диапазоне изменения скорости первичного воздушного потока.

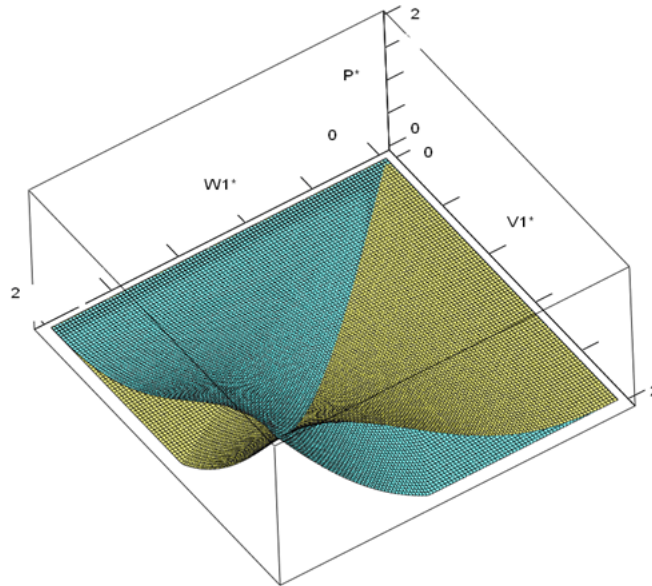


Рис. 2. Графическая интерпретация идеального режима автооптимизации

В наблюдаемом эффекте квазиавтооптимизации значение угловой скорости генератора было фиксировано на уровне номинальной, вследствие абсолютной жесткости характеристики генератора. Графическая интерпретация данной ситуации рассмотрена на рис. 3.

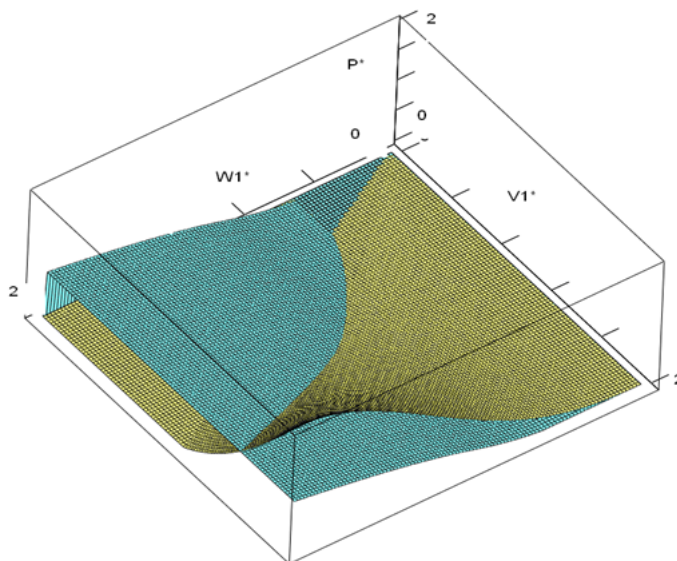


Рис. 3. Графическая интерпретация режима квазиавтооптимизации

Из рис. 3 видно, что условие Положения 2 выполняется только на отдельном участке в окрестностях номинальной точки (на рис. 3 она расположена в центре нижней плоскости).

Квазилинейный характер характеристики $\omega_1^* = f(V_1^*)$ наблюдается выше и ниже номинальной точки. При этом верхняя часть характеристики не используется, т. к. сверху начинается режим ограничения мощности. Поэтому для расширения диапазона использования данного эффекта по скорости первичного ветрового потока представляется целесообразным расчет номинального режима не на номинальную скорость первичного ветрового потока, а на окончание квазиоптимального режима.

Выводы и предложения.

1. В работе предложена графическая интерпретация эффекта автооптимизации системы с аэродинамическим мультиплицированием.
2. На основе предложенной графической интерпретации сформулировано условие возникновения эффекта.
3. Предложены пути технической реализации идеального эффекта автооптимизации в виде алгоритма управления скоростью генератора, а также рекомендаций по виду характеристик применяемых ветротурбин.
4. Объяснен эффект квазиавтооптимизации как частный случай идеального режима автооптимизации.
5. Предложенные рекомендации по расширению диапазона действия эффекта квазиавтооптимизации могут быть использованы при проектировании электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультиплицированием.

Список использованных источников

1. *Моделирование* электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультипликатором в режиме стабилизации скорости ветровых турбин / Н. С. Голубенко, П. Д. Андриенко, И. Ю. Немудрый, Д. Г. Алексеевский // *Электротехника и электроэнергетика*. – 2011. – № 1. – С. 70–73.
2. *Анализ режимов работы ветроэлектрической установки с аэродинамической мультипликацией* / Д. Г. Алексеевский, П. Д. Андриенко, В. П. Метельский, И. Ю. Немудрый // *Электротехника и электроэнергетика*. – 2012. – № 1. – С. 69–72.
3. *Кривцов В.С.* Неисчерпаемая энергия : учебник. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьков. авиац. ин-т», Севастополь : Севастоп. нац. тех. ун-т, 2003. – 400 с.

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 676.255.332

І.О. Дудла, д-р техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АКТУАЛЬНІСТЬ ІМПОРТОЗАМІЩЕННЯ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ У ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРОВОЇ ПРОДУКЦІЇ В УКРАЇНІ

И.А. Дудла, д-р техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АКТУАЛЬНОСТЬ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАЖНОЙ ПРОДУКЦИИ В УКРАИНЕ

Iraida Dudla, Doctor of Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

ACTUALITY OF IMPORT SUBSTITUTION OF CELLULOSE RAW MATERIAL IN THE PRODUCTION OF PAPER PRODUCTS IN UKRAINE

Розглянуто стан сировинної бази целюлозно-паперової промисловості України; проаналізовано структуру вітчизняного ринку картонно-паперової продукції; визначено напрямки наукових досліджень, направлених на заміщення імпортованої целюлози на целюлозу з рослинної сировини льону і конопель та на визначення її придатності для виготовлення паперу з різними функціональними властивостями.

Ключові слова: паперова продукція, целюлозовмісна сировина, імпортозаміщення, целюлозно-паперова промисловість.

Рассмотрено состояние сырьевой базы целлюлозно-бумажной промышленности Украины; проанализирована структура отечественного рынка картонно-бумажной продукции; определены направления научных исследований, направленных на замещение импортируемой целлюлозы на целлюлозу из растительного сырья льна и конопли и определение ее пригодности для изготовления бумаги с различными функциональными свойствами.

Ключевые слова: бумажная продукция, целлюлозосодержащее сырье, импортозамещение, целлюлозно-бумажная промышленность.

The paper considers the state of the resource base pulp and paper industry of Ukraine; analyzed the structure of the domestic market of pulp and paper products; is defined directions of scientific researches aimed at replacement of imported pulp on cellulose from plant material flax and hemp and to determine its suitability for the production of paper from different functional properties.

Key words: paper products, cellulose raw material, import substitution, pulp and paper industry.

Постановка проблеми. Папір в Україні почали виробляти більше ніж 400 років тому. Целюлозно-паперова промисловість об'єднує підприємства, які з рослинної сировини виробляють: папір, картон та вироби з них; штучне волокно, фібру і напівфабрикати (деревну масу), целюлозу. Основна сировина галузі – деревина хвойних порід та відходи її обробітку, меншою мірою – солома, волокно і костриця конопель та льону, бавовник, стебла очерету, рогози, макулатура і ганчір'я [1].

Але сировинне забезпечення підприємств картонно-паперової продукції є однією з основних проблем промисловості. Ця проблема не нова, однак економічний стан країни поки що не дозволяє її вирішити. Сьогодні першочерговим завданням є забезпечення розвитку ринку вторинної сировини, тобто макулатури. Саме тому підприємства галузі продовжують вкладати значні інвестиції в розвиток системи заготівлі макулатури в Україні [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняна целюлозно-паперова промисловість має переважно переробний характер. Наявні потужності підприємств галузі з виробництва паперу і картону розраховані в основному на перероблення целюлозної сировини та макулатури. Відсутністю власної сировинної бази обумовлений розвиток виробництва малотоннажних і спеціальних видів паперу і картону – папір конденсаторний, антикорозійний, сигаретний, папір із синтетичних волокон для використання у

військово-промислового комплексу, пергамент пакувальний, фільтрувальний папір і картон, а також санітарно-гігієнічний папір [3].

У структурі виробництва паперу та картону в Україні станом на 2013 рік переважало виробництво тарного картону (54,4 %), найменша частка належить газетному (0,9 %) та офсетному паперу (0,8 %) (рис. 1).

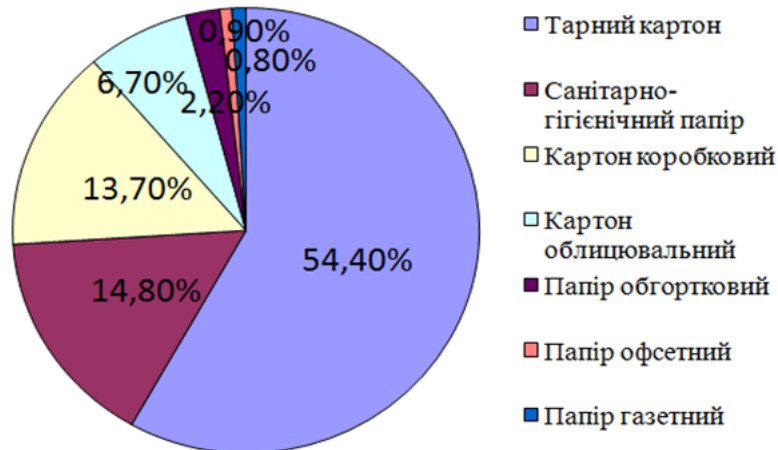


Рис. 1. Структура виробництва паперу та картону в Україні в 2013 році [4]

Вітчизняний ринок картонно-паперової продукції сьогодні оцінюється на рівні 1,5 млн т споживання різних видів картону, паперу та виробів з них, при цьому вказана потреба ринку забезпечується українською продукцією в обсязі понад 0,5 млн т та продукцією іноземного походження – 1,00 млн т на рік загальною вартістю приблизно 1,7 млрд дол США (табл.). При цьому слід зазначити, що вітчизняні картонно-паперові підприємства щорічно експортують майже 50 % продукції, що виробляється, на суму 1,0 млрд дол США (рис. 2).

Таблиця

Виробництво, експорт, імпорт та споживання картонно-паперової продукції в Україні, тис. т [5; 6]

Потреби ринку	Роки					
	2000	2009	2010	2011	2012	2013
Виробництво	409,6	932,1	814,4	856,7	950,7	928,2
Експорт	117,9	389,9	354,4	412,8	463,2	509,9
Імпорт	320,7	1051,8	837,7	1004,2	986,3	1036,8
Споживання	612,4	1594,0	1297,7	1448,1	1473,8	1455,1

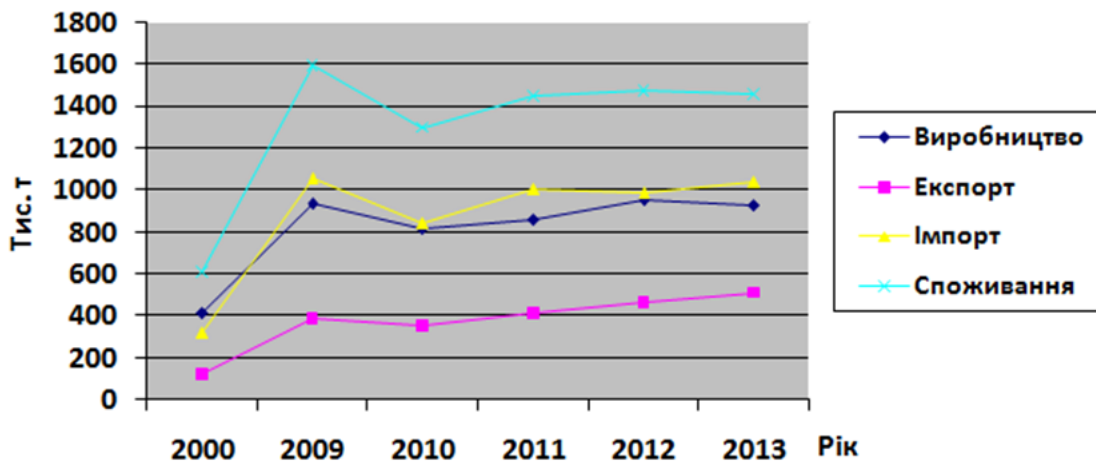


Рис. 2. Виробництво, експорт, імпорт та споживання картонно-паперової продукції в Україні

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Однією з основних проблем розвитку целюлозно-паперової галузі є майже абсолютна відсутність забезпечення підприємств первинним волокном.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз сировинної бази целюлозно-паперової промисловості та пошук вітчизняної сировини для виготовлення паперу, який би задовольнив потреби споживачів.

Виклад основного матеріалу. В Україні заготовляють близько 15 млн м³ деревини на рік, з якої половину використовують лісопереробні підприємства, а частина експортується. Разом з тим глибока переробка деревини значно ефективніша в порівнянні з продажем деревини на експорт. Однак в Україні все ще немає целюлозного виробництва. Тому основним джерелом первинної сировини для виготовлення паперу та картону є імпорт, включаючи всі негативні наслідки для формування цін на вітчизняну продукцію [7].

Вступ України до СОТ зумовив відкриття вітчизняного ринку картонно-паперової продукції, що привело до збільшення імпорту багатьох товарів, насамперед паперу для гофрування, тарного картону, ящиків з гофрокартону, зошитів, шпалер, паперу туалетного, що в умовах зношених основних фондів ставить вітчизняного товаровиробника в несприятливі умови. З метою утримання зайнятих позицій на внутрішньому і зовнішньому ринках підприємства галузі активно здійснюють заходи з модернізації та реконструкції виробництв. Проте внаслідок впливу світової фінансово-економічної кризи та нестабільності національної валюти чимало інвестиційних проектів тимчасово було призупинено.

Внаслідок світової економічної кризи обсяг експорту картонно-паперової продукції за 2009 р. зменшився на 9,1 % порівняно з 2008 р. і становив 354,4 тис. т, причому імпорт становив 837,7 тис. т, або 64,7 % [4] (рис. 3).

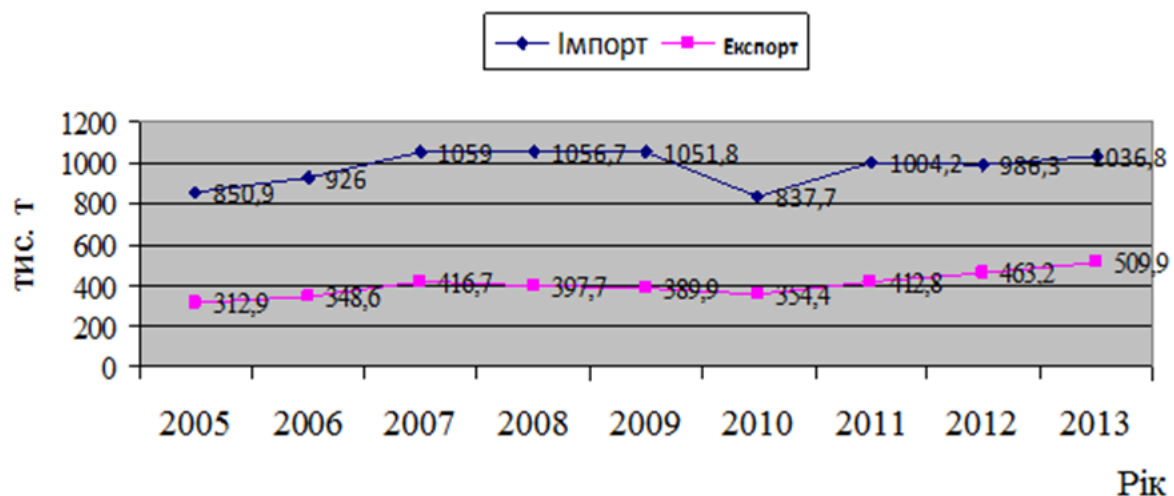


Рис. 3. Динаміка змін експорту та імпорту картонно-паперової продукції

Обсяги імпортованих відходів паперу та картону, а разом з ним і витрати на імпорту макулатуру останніми роками активно збільшуються. За даними Державної митної служби України, лише в 2010 році Україна імпортувала майже 215 тис. т відходів паперу та картону на суму понад 45 млн дол. Головними постачальниками макулатури для України були Російська Федерація, Польща, Угорщина, Молдова та Словаччина [5].

Проте через об'єктивні та суб'єктивні обставини потреба вітчизняного ринку в друкарських видах паперу (газетний, офсетний) задовольняється переважно завдяки продукції імпортного походження. Нестабільність курсу української національної грошової одиниці відносно іноземних валют негативно позначається на вартості газетного та офсетного паперу, який імпортується для забезпечення потреб друкованих засобів масової інформації.

З метою вирішення проблем целюлозно-паперової промисловості в умовах світового ринку в 2009 році була розроблена концепція Загальнодержавної цільової програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року [8]. Для виконання цієї програми вчені України повинні зосередити увагу на розробленні новітніх технологій на заміщення імпортованої целюлози на целюлозу з рослинної сировини льону і конопель та визначити її придатність для виготовлення паперу з різними функціональними властивостями.

Це є важливим та актуальним завданням сьогодення в імпортозаміщенні целюлозовмісної сировини у виробництві паперової продукції в Україні. В цьому напрямку відомі дослідження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» з одержання лляної целюлози для хімічної переробки а також дослідження Херсонського національного технічного університету з одержання целюлози з волокон льону олійного.

Але для широкого впровадження результатів цих технологічних досліджень з одержання целюлози необхідне кваліфіковане оцінювання якості паперу, який могли б одержувати з рослинної сировини.

Висновки і пропозиції. Для виходу на ринок нового паперу, одержаного з целюлози однолітніх рослин, потрібне кваліфіковане оцінювання функціональних та естетичних властивостей і надійності споживання цього паперу. Без цих показників якості неможливо обґрунтовано здійснити імпортозаміщення целюлозовмісної сировини у виробництві паперової продукції в Україні.

Список використаних джерел

1. *Заболоцький Б. Ф.* Розміщення продуктивних сил України: національна макроекономіка : посібник / Б. Ф. Заболоцький. – К. : Академвидав, 2003. – 368 с.
2. *Целюлозно-паперова промисловість* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mfa.gov.ua/data/upload/publication/uk/ua/12752/3214.htm>.
3. *Пріоритети розвитку вітчизняної целюлозно-паперової промисловості* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=91605985.
4. *Офіційний сайт асоціації «Укрпапір»* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrpaper.org/news.php>.
5. *Офіційний сайт Державної митної служби України. Сумарний обсяг імпорту та експорту окремих груп товарів за кодами ТНЗЕД* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://arc.customs.gov.ua/dmsu/control/cstat/f2a/showstat>.
6. *Державний комітет статистики України* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ukrstat.gov.ua.
7. *Зінченко Д. В.* Проблеми та перспективи розвитку целюлозно-паперової промисловості України в умовах світового ринку [Електронний ресурс] / Д. В. Зінченко, Д. Р. Дунська // Актуальні проблеми економіки та управління : зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 8. – Режим доступу : <http://probl-economy.kpi.ua/ru/node/398>.
8. *Концепція загальнодержавної цільової програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ligazakon.ua/summary_news/news/2009/9/3/16637.htm.

С.А. Асланян, канд. мед. наук

Українська військово-медична академія, м. Київ, Україна

Д.П. Антюшко, канд. техн. наук

Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна

А.М. Кучинська, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СУСПІЛЬНА ЗНАЧУЩІСТЬ ВІД РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ДЛЯ ЕНТЕРАЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ

С.А. Асланян, канд. мед. наук

Украинская военно-медицинская академия, г. Киев, Украина

Д.П. Антюшко, канд. техн. наук

Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина

А.Н. Кучинская, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОБЩЕСТВЕННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ОТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ЭНТЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Serhii Aslanian, PhD in Medical Sciences

Ukrainian Military-medical Academy, Kyiv, Ukraine

Dmytro Antiushko, PhD in Technical Sciences

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

Anna Kuchynska, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

SOCIAL SIGNIFICANCE OF THE PRODUCTS' FOR ENTERAL NUTRITION DEVELOPMENT AND ADOPTION

Досліджено показники суспільної значущості розроблення та впровадження вітчизняних сухих розчинних продуктів для ентерального харчування «Реабілакт» і «Реабілакт-Д». Представлено результати клінічної апробації їх функціональної ефективності; на практичному прикладі обґрунтовано економічну ефективність впровадження у медичну практику.

Ключові слова: продукти для ентерального харчування, суспільна значущість, клінічна апробація.

Исследованы показатели общественной значимости разработки и внедрения отечественных сухих растворимых продуктов для энтерального питания «Реабилакт» и «Реабилакт-Д». Представлены результаты клинической апробации их физиологической эффективности; на практическом примере обоснована эффективность внедрения в медицинскую практику.

Ключевые слова: продукты для энтерального питания, общественная значимость, клиническая апробация.

The indexes of the national dry soluble products' for enteral nutrition "Reabilakt" and "Reabilakt-D" social significance are researched. The results of their physiological performance's clinical approbation are presented; the effectiveness of adoption in medical practice is substantiated at a practical example.

Key words: products for enteral nutrition, social significance, clinical approbation.

Постановка проблеми. Згідно з рекомендаціями ВООЗ [1] на фінансування заходів у сфері медичного обслуговування уряди держав повинні спрямовувати фінансове забезпечення в обсязі не меншому ніж 6–6,5 % вартості валового внутрішнього продукту. Згідно зі статистичними даними, у США цей показник становить близько 13 %, у країнах ЄС – 8–10 %, Російській Федерації – 5–6 %, Україні – 4 % [2; 3]. Водночас, жодна країна не може увесь час підвищувати свої витрати на здійснення всіх можливих заходів у цій сфері.

Для усунення дисбалансу між значною кількістю наявних засобів лікування та обмеженим економічним забезпеченням все більше уваги приділяється дослідженню ефективності розроблень у галузі охорони здоров'я, яка, зазвичай, визначається як ступінь досягнення конкретних результатів. Проте у цій сфері вона не може ототожнюватися із загальноекономічним значенням. На відміну від інших галузей господарства, корисність наукових розробок, що стосуються охорони здоров'я, аналізується з позицій соціального

ефекту, який проявляється у вигляді клінічного підтвердження медичної ефективності та суспільної значущості [4]. З огляду на це можна констатувати, що відповідна специфіка поширюється й на розроблення продуктів для ентерального харчування, яке є одним із важливих факторів лікування та реабілітації людей в умовах надзвичайних ситуацій.

Сучасна система забезпечення охорони здоров'я населення є складним загальнодержавним процесом, що не може повноцінно функціонувати без впровадження та використання новітніх досягнень у сфері науки. Одним із напрямків оптимізації та прискорення процесів лікування та реабілітації постраждалих є застосування спеціально розроблених продуктів для ентерального харчування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розроблення та вдосконалення наукових принципів забезпечення нутритивних потреб людей зі специфічними захворюваннями, основ створення продуктів для ентерального харчування зробили вітчизняні та закордонні вчені А.W. Wilkinson, Н. Selye, D. Wilmore, I. Mayers, К. Varendgret, F.D. Moore, С. Ortega, G.R. Greenberg, Е.Я. Фісталь, Г.П. Козинець, А.В. Беляєв, І.Є. Хорошилов, О.М. Почепень.

У зв'язку з відсутністю на ринку України вітчизняних продуктів для ентерального харчування науковцями кафедри товарознавства та експертизи харчових продуктів Київського національного торговельно-економічного університету, ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва» НАМНУ, кафедри військової хірургії Української військово-медичної академії було розроблено вітчизняні продукти для ентерального харчування «Енергія відновлення», що під час промислового впровадження одержали назву «Реабілакт» і «Реабілакт-Д» [5; 6]. Розроблені вироби були досліджені за комплексом показників безпечності та якості.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З огляду на необхідність вивчення клінічної ефективності розроблених продуктів, оцінювання їх впливу на процеси порушеного метаболізму організму людини впродовж лікувального та відновлювального періодів було проведено дослідження з використанням розроблених виробів як додаткового перорального харчування. Додатково, на основі одержаних результатів, було проведено оцінювання соціальної значущості від розроблення та впровадження цих продуктів.

Мета статті – дослідження клінічної ефективності розроблених сухих розчинних продуктів для ентерального харчування у готовому для споживання рідкому стані та визначення суспільної значущості їх розроблення та впровадження за комплексом показників соціального ефекту та економічної ефективності.

Виклад основного матеріалу. Клінічна апробація ефективності сухих розчинних продуктів для ентерального харчування «Реабілакт» і «Реабілакт-Д» у готовому для споживання рідкому стані здійснювалася на клінічній базі кафедри військової хірургії Української військово-медичної академії, а саме у відділенні гнійної хірургії Головного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь».

Підготовка до споживання проводилася згідно з розробленими та вказаними на упаковці рекомендаціями за допомогою розчинення у такому співвідношенні: 50 г сухого розчинного продукту «Реабілакт» у 150 см³, 50 г сухого розчинного продукту «Реабілакт-Д» – у 200 см³ кип'яченої води при температурі 15–30 °С.

Під час здійснення досліджень серед пацієнтів, які знаходилися на стаціонарному лікуванні відділення гнійної хірургії Головного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь», було обрано 4 групи осіб різного віку (від 20 до 89 років). До першої та другої груп увійшли пацієнти, які страждали на поширені флегмони м'яких тканин і в яких було відзначено середній ступінь зниження загального білка крові на 20–25 % відносно нормального. Третя та четверта групи були предста-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

влені пацієнтами, які страждали на діабетичну стопу з некрозами м'яких тканин та з середнім ступенем зниження загального білка крові на 20–25 %.

Представники першої групи як додаткове збагачення стандартного раціону харчування споживали по 400 см³/добу продукту «Реабілакт» (2 рази по 200 см³ вранці та ввечері) впродовж 8 діб; третьої – по 500 см³/добу продукту «Реабілакт-Д» (2 рази по 250 см³ вранці та ввечері) упродовж 11 діб. Друга та четверта групи були визначені як контрольні та харчувалися за стандартно передбаченим раціоном.

Вивчення клінічної ефективності споживання розроблених продуктів для ентерального харчування здійснювалося за комплексом показників, що включали дослідження загального стану пацієнтів, їхньої маси, складу крові, сечі.

Упродовж проведення клінічної апробації було встановлено, що пацієнти споживали розроблені сухі розчинні продукти для ентерального харчування у готовому для споживання рідкому стані із помірним задоволенням. Алергії та побічної дії від їх прийому виявлено не було.

Аналіз одержаних результатів досліджень свідчить, що у пацієнтів, які споживали продукт «Реабілакт», спостерігалось підвищення рівня загального білка крові значно швидше, ніж у пацієнтів контрольної (2) (табл. 1).

Таблиця 1

Результати досліджень пацієнтів 1 і 2 досліджуваних груп

$P \geq 0,95$, $n=18$

Показники	Дослідна група		Контрольна група	
	початок дослідження	кінець дослідження	початок дослідження	кінець дослідження
Рівень білка крові	N* – (20-25%)	N* – (5%)	N* – (20-25%)	N* – (10-15%)

Примітка: де N* – нижній рівень норми загального білка крові за даними лабораторії Головного військово-медичного центру.

Проведені дослідження загального стану пацієнтів 1 і 2 досліджуваних груп дозволяють стверджувати, що в осіб, які вживали «Реабілакт» упродовж 8 діб, порівняно з представниками контрольної групи, відзначалися більш виражені тенденції до покращення фізичного та психоемоційного стану, зокрема на 20–35 % швидша нормалізація рівня білка крові; скорочення терміну перебування у стаціонарі (на 16–22 %), лікування та реабілітації.

Результати клінічної апробації продукту для ентерального харчування «Реабілакт-Д» свідчать, що у представників 3 досліджуваної групи спостерігалось підвищення рівня загального білка крові при одночасному зниженні рівня цукру крові значно швидше, ніж у пацієнтів аналогічної контрольної групи (4) (табл. 2).

Таблиця 2

Результати досліджень пацієнтів 3 і 4 досліджуваних груп

$P \geq 0,95$, $n=16$

Показники	Дослідна група		Контрольна група	
	початок дослідження	кінець дослідження	початок дослідження	кінець дослідження
Рівень білка крові	N* – (20-25%)	N* – (5-7%)	N* – (20-25%)	N* – (10-16%)
Середньодобовий показник рівня глюкози крові	G**+ (100-300%)	G**+ (5-15%)	G**+ (100-300%)	G**+ (30-40%)

Примітки: де N* – нижній рівень норми загального білка крові за даними лабораторії Головного військово-медичного центру;

G** – верхній рівень глюкози крові за даними лабораторії Головного військово-медичного клінічного центру.

Аналіз одержаних результатів дозволяє констатувати, що у пацієнтів, які вживали продукт для ентерального харчування «Реабілакт-Д» упродовж 11 діб, порівняно з пацієнтами контрольної групи (4), відзначалися більш виражені тенденції до покращення

фізичного та психоемоційного стану (рівень білка крові на 20–35 %, середньодобовий показник рівня глюкози крові на 9–25 % нормалізувалися швидше), скорочення терміну перебування у стаціонарі (на 15–29 %), лікування та реабілітації.

Особливо важливим та необхідним є впровадження розробленого продукту для ентерального харчування «Реабілакт» упродовж проведення АТО. Ці вироби широко впроваджені у медичну практику Головного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» (м. Київ), Центрального військово-медичного клінічного центру «Центральний військовий клінічний госпіталь» (м. Вінниця), Ірпінського військового шпиталю, Дніпропетровської обласної клінічної лікарні ім. І.І. Мечникова, лікувальних пунктів зони АТО.

Зокрема, для визначення економічної ефективності від впровадження розроблених продуктів у медичну практику було обрано відділення гнійної хірургії Головного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» (м. Київ), куди потрапляють найбільш важкі поранені, та Київський національний торговельно-економічний університет, який часто передає партії волонтерської допомоги у вигляді сухого розчинного продукту «Реабілакт». Упродовж лютого 2015 року дослідній групі пацієнтів відділення у кількості 24 осіб було включено до харчового раціону по 400 см³/добу продукту «Реабілакт» (2 рази по 200 см³ уранці та ввечері). Підготовка до споживання проводилася згідно з розробленими та вказаними на упаковці рекомендаціями завдяки розчиненню у такому співвідношенні: 50 г сухого розчинного продукту «Реабілакт» у 150 см³. До складу контрольної групи увійшла аналогічна кількість постраждалих з травмами однакового ступеня важкості.

За результатами оцінювання фізіологічної ефективності додаткового включення у раціон продукту «Реабілакт» було встановлено, що середній термін перебування представників групи, які його вживали, скоротився на 17±2 %.

Згідно із середньостатистичними даними за I півріччя 2015 року середній термін лікування постраждалих у цьому відділенні становить 32,5 ліжок/доби, а вартість утримання хворих – 402,6 грн/добу.

Виходячи з одержаних даних від перерахунку відсоткового значення середнього скорочення перебування у стаціонарі одного середньостатистичного хворого, який додатково вживав «Реабілакт», у розрахунку на середній термін стаціонарного лікування, можна констатувати, що він скоротився в середньому з 32,5 ліжок/дів до майже 27,0 (на 5,5±0,6). У грошовому еквіваленті таке скорочення перебування у стаціонарі дозволило б мінімізувати витрати на 2214,3 грн.

Якщо брати до уваги факт, що вартість однієї упаковки продукту «Реабілакт», яка становить 12,4 грн, а упродовж доби хворі споживали по дві порції, то додаткові витрати на включення продукту до раціону становили б 24,8 грн/добу. Державні витрати на забезпечення одного середньостатистичного пацієнта на 27 дів продуктом «Реабілакт» становили б 669,6 грн, а витрати на загальне лікування зменшилися б на 1544,7 грн.

Висновки. За результатами проведеної клінічної апробації встановлено, що споживання продуктів для ентерального харчування «Реабілакт» і «Реабілакт-Д» може бути рекомендоване для використання у процесі лікування та реабілітації постраждалих із захворюваннями, пов'язаними зі зниженням рівня загального білка крові з метою забезпечення екзогенного його надходження для нормалізації обміну речовин і прискорення процесів відновлення до повноцінного стану.

Виходячи з результатів проведеного дослідження практично встановлено, що додаткове включення до харчового раціону продукту «Реабілакт» дозволило скоротити державні витрати на лікування одного середньостатистичного пацієнта у важкому стані на

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

1544,7 грн. Це свідчить про економічну ефективність від впровадження у виробництво та медичну практику розроблених вітчизняних продуктів для ентерального харчування.

Отже, розроблення та впровадження вітчизняних продуктів для ентерального харчування «Реабілакт» і «Реабілакт-Д» є суспільно значущими. Виробництво та реалізація розроблених виробів для ентерального харчування сприятиме задоволеності потреб населення нашої держави у цих výroбах, витісненню імпортованих виробів цієї асортиментної групи з ринку України і, як наслідок, зростанню вітчизняного виробництва, обсягу валового національного продукту та економічного та соціального рівня життя населення.

Перспективами подальших досліджень є більш детальна клінічна апробація функціональної дії розроблених продуктів та дослідження їх споживчих властивостей.

Список використаних джерел

1. *Мировая статистика здравоохранения 2012 г.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://who.int/gho/publications/world_health_statistics/2012/ru/.
2. *Концевая А. В.* Оценка экономической эффективности медицинских технологий / А. В. Концевая, А. М. Калинина // Заместитель главного врача. – 2011. – № 2. – С. 90–94.
3. *Національні рахунки охорони здоров'я (НРОЗ) України у 2012 році* [Електронний ресурс] : статистичний бюлетень. – Режим доступу : http://ukrstat.org/uk/druk/katalog/kat_u/publposl_u.htm.
4. *Орлов Е. М.* Категория эффективности в системе здравоохранения / Е. М. Орлов, О. Н. Соколова // Фундаментальные исследования. – 2010. – № 4. – С. 70–75.
5. *Пат. 83048* України, МПК А61К 31/00. Суміш для ентерального харчування хворих при гіперметаболізмі «Енергія відновлення» / Н. В. Пригудьська, М. П. Гуліч, Ю. М. Мотузка, Д. П. Антюшко, Є. І. Масленін ; заявник і патентовласник Київський національний торговельно-економічний університет. – № у 2013 02495 ; заявл. 27.02.2013 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. – 4 с.
6. *Пат. 83183* України, МПК А61К 31/00. Суміш для ентерального харчування «Реабілакт-Д» / Н. В. Пригудьська, С. А. Асланян, М. П. Гуліч, Ю. М. Мотузка, Д. П. Антюшко, Я. В. Купченко, Є. І. Масленін ; заявник і патентовласник Київський національний торговельно-економічний університет. – № у 2013 03562 ; заявл. 22.03.2013 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. – 4 с.

УДК [637.14:001.891]:658.62(477.51)

Т.М. Денисенко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПИТНОГО МОЛОКА, ЯКЕ РЕАЛІЗУЄТЬСЯ В ТОРГОВЕЛЬНІЙ МЕРЕЖІ
М. ЧЕРНІГОВА**

Т.Н. Денисенко, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОГО МОЛОКА, РЕАЛИЗУЕМОГО ТОРГОВОЙ СЕТИ
Г. ЧЕРНИГОВА**

Tetiana Denysenko, PhD in Technical Science

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

ORGANOLEPTIC AND PHYSICOCHEMICAL METHODS OF EVALUATION OF QUALITY OF DRINKING MILK OFFERED BY IN THE NETWORK OF THE CITY OF CHERNIHIV

Охарактеризовано основні показники якості молока питного: колір, смак, запах, консистенція, густина, масова частка жиру, кислотність, а також показники чесності виробників – наявність аміаку і соди. Наведено результати оцінювання якості молока питного вітчизняних товаровиробників за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

Ключові слова: молоко, якість, білки, жири, лактоза, виробники, натуральний продукт, фальсифікація, густина, кислотність, маркування, товарознавча оцінка, автентичність.

Охарактеризованы основные показатели качества молока питьевого: цвет, вкус, запах, консистенция, плотность, кислотность, а также показатели честности производителей – наличие аммиака и соды. Приведены результаты оценки качества молока отечественных производителей по органолептическим и физико-химическим показателям.

Ключевые слова: молоко, качество, белки, жиры, лактоза, производители, натуральный продукт, фальсификация, плотность, кислотность, маркировка, товароведная оценка, подлинность.

The article described the main indicators of the quality of drinking milk, color, taste, smell, consistence, density, mass fraction of fat, acidity and indicators of honesty of producers - the presence of ammonia, soda. The results of the evaluation of the quality of drinking milk of domestic producers organoleptic and physicochemical parameters.

Key words: milk, quality, protein, fat, lactose, manufacturers, natural product, adulteration, density, acidity, labeling, evaluation commodity, authenticity.

Постановка проблеми. Молоко – це продукт нормальної секреції молочної залози корови. З фізико-хімічних позицій молоко являє собою складну полідисперсну систему, в якій дисперсійним середовищем є вода, а дисперсною фазою – речовини, що знаходяться в молекулярному, колоїдному й емульсійному стані. Молочний цукор і мінеральні солі утворюють молекулярні та іонні розчини. Білки знаходяться в розчиненому (альбумін і глобулін) і колоїдному (казеїн) стані, молочний жир – у вигляді емульсії. У молоці міститься більше 200 різноманітних мінеральних і органічних речовин. Коров'яче молоко є також джерелом фосфору і кальцію, що власне і визначає його важливу роль у харчуванні дітей – адже в ранньому віці відбувається активне зростання скелета, зубів. Містяться в цьому цінному продукті марганець, залізо, кобальт, які разом з вітаміном В₁₂ виконують важливу роль у процесах кровотворення. Вуглеводна складова молока представлена у вигляді лактози – молочного цукру, приблизна її кількість – до 5%. Лактоза є джерелом енергії, сприяє ефективній роботі багатьох внутрішніх органів – печінки, серця, нирок. Також лактоза є необхідним елементом для поліпшення засвоєння кальцію в організмі. Фахівцями доведений той факт, що лактоза сприяє утворенню меланіну – особливої речовини, яка відіграє важливу роль у будові тканин людського мозку.

Здоровий спосіб життя передбачає якісне харчування. Молоко і молочні продукти традиційно мають доволі високу питому вагу в раціоні харчування населення України. Сьогодні проблеми з проведенням всебічної товарознавчої оцінки автентичності всіх видів молока особливо актуальні. Під час проведення перевірки автентичності молока можуть досягатися такі цілі дослідження:

- ідентифікація виду молока;
- способи фальсифікації і методи їх виявлення.

Основні види фальсифікації:

- асортиментна – один вид молока замінюється іншим, наприклад, незбиране молоко підміняється відновленим або знежиреним, молоко розбавляється водою;
- якісна – у молоко підмішуються крохмаль, сода, ацетилсаліцилова кислота та інше, це роблять для кращого збереження молока від скисання;
- інформаційна – вказуються не точні дані: дається назва, близька до натурального продукту (наприклад, «Сметанка»), у відвертих фальсифікатах фірма-виробник вказується зі спотворенням, підробляються штрих-коди, супровідні документи, затирається дата вироблення;
- кількісна – на упаковці заявлена маса більше реальної;
- вартісна – продукти низької сортності заявляються як високоякісні;
- комплексна – поєднання різних видів фальсифікації.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є товарознавча оцінка якості й автентичності зразків молока питного провідних товаровиробників відповідно до вимог діючої нормативної документації та заявленому маркуванню.

Виклад основного матеріалу. Асортимент молока за технологією виготовлення поділяють на пастеризоване, пряжене, ультрапастеризоване, стерилізоване. Анкетне опитування споживачів показало, що більшість (70 %) віддає перевагу пастеризованому





TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY







молоку, на другому місці (20 %) – ультрапастеризоване, потім стерилізоване (7 %) і на останньому місці – пряжене (3 %). Тому об'єктом нашого дослідження було молоко пастеризоване та ультрапастеризоване. Для проведення оцінювання якості молока було відібрано в торговельній мережі м. Чернігова зразки молока коров'ячого питного у різних видах пакування вітчизняних товаровиробників. Молоко упаковане у пляшки з полімерних матеріалів, у м'які пакети з багатошарових полімерних плівок та пакети з комбінованих матеріалів.

За даними маркування було вивчено особливості складу досліджуваних зразків (табл. 1). Встановлено, що до складу продукту здебільшого входять лише незбиране та знежирене молоко і лише до складу молока ТМ «Завжди вигідна ціна» входить заміник молочного жиру. Відповідно до Закону України «Про молоко та молочні продукти» у виробництві традиційних молочних продуктів забороняється використовувати жири та білки немолочного походження, а також не допускається використання назв молочних продуктів у власних назвах, якщо ці продукти виробляються з використанням сировини немолочного походження. Отже, виробник ТОВ «С-ТРАНС» ТМ «Завжди вигідна ціна» порушує вимоги цього Закону – назва продукту «Молоко 3,2 %».

Таблиця 1

Характеристика об'єктів дослідження

№ з/п	Марка	Найменування	Виробник	Склад	Білки/жири/вуглеводи, г у 100 г	Терміни та умови зберігання	Позначення стандарту
1	2	3	4	5	6	7	8
1	 Куликівка	Молоко пастеризоване 3,2 % жиру	ПАТ «Куликівське молоко», смт Куликівка, Чернігівська обл.	молоко коров'яче незбиране, молоко коров'яче знежирене	2,8/ 3,2/ 4,7	строк придатності за температури (4±2)°C – не більше 5 діб	ТУ У 15.5-05388983-001:2011
2	 Добряна	Молоко питне пастеризоване 2,7 % жиру	ДП «Мілкленд-Україна», ПАТ «Чернігівський молокозавод», м. Чернігів	молоко коров'яче незбиране, молоко коров'яче знежирене	2,8/ 2,7/ 4,6	строк придатності за температури (4±2)°C – не більше 6 діб	ТУ У 15.5-24255176-021:2009
3	 Весела бурьонка	Молоко питне ультрапастеризоване 3,2 % жиру	ТОВ «Люстдорф», м. Іллінці, Вінницька обл.	Молоко коров'яче	2,8/3,2/4,7	строк придатності – не більше 30 діб за температури від 1°C до 25°C та не більше 20 діб – за температури вище 25°C за відсутності сонячного світла. Після відкриття упаковки вжити протягом 12 годин, зберігати у холодильнику за температури від +1 до +5°C	ТУ У 15.5-23063575-004:2003
4	 Весела ферма	Молоко питне пастеризоване «Українське» 2,5 % жиру	ПрАТ «Галичина», м. Львів, Львівська обл.	молоко незбиране, молоко знежирене	3,0/2,5/4,5	строк придатності – 7 діб. Зберігати за температури (4±2)°C у герметично закритій тарі. Після відкриття упаковки вжити протягом 24 годин	ТУ У 25027034-008-98

1	2	3	4	5	6	7	8
5	 Злагода	Молоко пастеризоване 3,2 % жиру	ПАТ «Комбінат «Придніпровський», м. Дніпропетровськ	молоко коров'яче незбиране, молоко знежирене	2,8/3,2/4,7	строк придатності – не більше 7діб при температурі (4±2)°C	ТУ У 15.5-19492247-020-2004
6	 Селянське	Молоко питне ультрапастеризоване (ультрависоко температурно оброблене) 2,6% жиру	ТОВ «Люстдорф», м. Іллінці, Вінницька обл.	молоко коров'яче	2,8/2,6/4,7	строк придатності – не більше 45 діб за температури від 1 °C до 25 °C та не більше 30 діб за температурі вище 25 °C за відсутності сонячного світла. Після відкриття упаковки вжити протягом 12 годин. Зберігати у холодильнику за температури від +1 до +5°C	ТУ У 15.5-23063575-004-2003
7	 Волошкове поле	Молоко коров'яче питне пастеризоване з масовою часткою жиру 2,6 %	ПАТ «Юрія», м. Черкаси	молоко коров'яче нормалізоване пастеризоване	2,8/2,6/4,7	строк придатності – не більше ніж 7 діб за температури зберігання (4±2)°C	ДСТУ 2661:2010
8	 Простоквашино	Молоко питне пастеризоване з масовою часткою жиру 3,2 %	ПАТ «Кременчуцький міськмолкокозавод», м. Кременчук	молоко коров'яче незбиране, молоко знежирене	3,0/3,2/4,5	строк придатності – не більше 10 діб. Зберігати за температури (4±2)°C у герметично закритій упаковці. Після відкриття упаковки молоко зберігати у холодильнику не більше 24 годин	ДСТУ 2661:2010
9	 Біла лінія	Молоко пастеризоване «Українське» з масовою часткою жиру 2,5 %	ТОВ «Білоцерківський молочний комбінат», м. Біла Церква, Київська обл.	молоко коров'яче нормалізоване	3,0/2,5/4,5	зберігати за температури (4±2)°C у герметично закритій тарі не більше 10 діб	ТУ У 25027034-008-96
10	 Завжди вигідна ціна	Напій молочно-ковмісний пастеризований 3,2%-ної жирності	ТОВ «С-ТРАНС», м. Дніпропетровськ	молоко знежирене, молоко незбиране, замінник молочного жиру	2,7/3,2/4,7	зберігати за температури 4±2 °C. Строк придатності не більше 5 діб	ТУ У 15.8-24368458-008:2011

Споживче пакування питного молока повинно містити такі позначення: назву продукту (власну назву за наявності); вид молока (пастеризоване, пряжене, стерилізоване, ультрапастеризоване) із зазначенням масової частки жиру; назву, повну адресу і номер

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

телефону підприємства-виробника; місце виготовлення; товарний знак виробництва (за наявності); масу нетто одиниці пакування (г (кг)) або об'єм (см³ (дм³)); склад продукту в порядку переважання складників; харчову (поживну) цінність (вміст білків, жирів, вуглеводів) та енергетичну цінність (калорійність) (кДж та/або ккал у 100 г продукту); кінцеву дату споживання («Вжити до») або дату виробництва (число, місяць, рік); термін придатності; умови зберігання; позначення стандарту; штриховий код EAN. Оцінка якості маркування молока питного відібраних зразків повністю відповідає вимогам ДСТУ 4518 і містила всі необхідні позначення.

Свіже молоко має характерні органолептичні показники: зовнішній вигляд і консистенція – однорідна рідина без осаду, пластівців та грудочок жиру; колір – білий рівномірний, стерилізованого – з легким кремовим відтінком; смак і запах – чисті, без сторонніх, не притаманних свіжому молоку присмаків і запахів, з легким присмаком пастеризації. Результати органолептичного оцінювання зразків молока наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Органолептична оцінка якості молока

ТМ	Зовнішній вигляд та консистенція	Смак і запах	Колір
1. Куликівка	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Властивий для молока, приємний, чистий, без сторонніх запахів і присмаків	Білий, рівномірний за всією масою
2. Добряна	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Запах виражений, помірної пастеризації, присмак пастеризації	Білий з кремовим відтінком
3. Весела бурьонка	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Приємний, з легким примасом пастеризації	Білий з світло-кремовим відтінком
4. Весела ферма	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Властивий для продукту, приємний	Білий, рівномірний за всією масою
5. Злагода	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Властивий для продукту з легким присмаком пастеризації	Білий, рівномірний за всією масою
6. Селянське	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Приємний, трохи солодкуватий, без сторонніх запахів і присмаків	Білий з світло-кремовим відтінком
7. Волошкове поле	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Чисті, без сторонніх присмаків і запахів	Білий, рівномірний за всією масою
8. Простоквашино	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Приємний, чистий, солодкуватий, без сторонніх присмаків і запахів	Білий, рівномірний за всією масою
9. Біла лінія	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру	Властивий для продукту, без сторонніх присмаків і запахів	Білий, рівномірний за всією масою
10. Завжди вигідна ціна	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка, з ледь помітними грудочками жиру	Чисті, з вираженим присмаком пастеризації	Білий з легким кремовим відтінком

За органолептичними показниками всі зразки, за винятком ТМ «Завжди вигідна ціна», повністю відповідають вимогам ДСТУ 2661:2010.

Про свіжість усіх видів питного молока свідчить його кислотність, вона не повинна перевищувати 21⁰Т. У досліджуваних зразках показник титрованої кислотності знаходиться в межах вимог ДСТУ, але найвище значення має зразок ТМ «Добряна».

Молоко характеризується певними стабільними фізичними властивостями: густиною, в'язкістю, поверхневим натягом, точкою замерзання, температурою кипіння, осмотичним тиском, електропровідністю, питомою теплоємністю, оптичними властивостями. Під час фальсифікації якість молока, як єдиної фізико-хімічної системи, значно змінюється, що пояснюється властивостями складових.

Одним з найважливіших фізичних показників молока, який може засвідчити його доброякісність чи фальсифікованість, є густина. Саме тому нами було визначено густину досліджуваних зразків. Густина молока коливається від 1026 до 1032 кг/м³. У разі розведення молока водою густина знижується. Відповідно до вимог ДСТУ 2661:2010 густина для досліджуваних зразків повинна бути не менше 1027 кг/м³. Цим вимогам відповідають всі зразки, крім молока «Добряна» та «Завжди вигідна ціна» (табл. 3).

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники якості молока

ТМ	Густина, кг/м ³	Масова частка жиру, %	Сухий залишок, %	Титрована кислотність, °Т	Наявність соди	Наявність аміаку
1. Куликівка	1030	3,15	11,9	16,9	Виявлено	Не виявлено
2. Добряна	1026	2,7	10,3	20,0	Виявлено	Не виявлено
3. Весела бурьонка	1029	3,2	11,7	19,5	Не виявлено	Не виявлено
4. Весела ферма	1030	2,5	10,1	19,0	Виявлено	Не виявлено
5. Злагода	1031	3,2	12,2	19,2	Виявлено	Не виявлено
6. Селянське	1028	2,6	10,7	17,9	Не виявлено	Не виявлено
7. Волошкове поле	1027	2,6	10,4	16,7	Не виявлено	Не виявлено
8. Простоквашино	1028	3,2	11,4	17,2	Не виявлено	Не виявлено
9. Біла лінія	1027	2,6	10,4	18,0	Не виявлено	Не виявлено
10. Завжди вигідна ціна	1026	3,2	10,9	19,1	Виявлено	Не виявлено

Аміак і сода – це свого роду індикатори чесності виробників. І аміак, і соду додають у молоко для того, щоб воно не так швидко прокисало. Наявність цих речовин у молоці не допускається. В досліджуваних зразках молока аміак не було виявлено в жодному. А от соду було виявлено в молоці торгових марок «Куликівка», «Добряна», «Весела ферма», «Злагода», «Завжди вигідна ціна».

Ціна молока безпосередньо залежить від масової частки жиру в ньому. Молочний жир дорогий, а завдяки легкому засвоєнню (97 %) і високому вмісту біологічно активних речовин є одним з найцінніших харчових жирів. Фальсифікація молока через зниження у ньому вмісту жиру є однією з найбільш розповсюджених. Дослідивши вміст жиру (табл. 3) у відібраних зразках молока, було встановлено, що, в основному, він відповідає зазначеній на упаковці інформації щодо вмісту жиру. Невідповідність була зафіксована тільки у двох зразках: молоко «Куликівка» містило 3,15 % жиру замість задекларованих 3,2 %, а у зразку молока «Біла лінія» – навпаки, вміст жиру перевищував на 0,1 %.

Найбільший вміст сухого молочного залишку визначений у молоці ТМ «Злагода» – 12,2 %, а найменший – у молоці ТМ «Весела ферма» – 10,1 %. Більшість досліджуваних зразків молока містили сухого молочного залишку менше встановлених меж. На цей показник впливає багато факторів: вік тварин, якість годівлі, однак впливає також і ступінь розведення. Понижений вміст сухих речовин, особливо на фоні низького вмісту жиру, однозначно засвідчує фальсифікацію молока.

Висновки. За результатами проведеного оцінювання якості молока 10 торгових марок встановлено, що відмінну якість мають лише три: «Весела бурьонка», «Простоквашино», «Селянське», задовільну – «Волошкове поле» та «Біла лінія». Незадовільні результати оцінки якості отримали зразки молока «Добряна», «Весела ферма», «Злагода», «Завжди вигідна ціна» через наявність соди, а в молоці «Куликівка», крім соди, був ще й занижений вміст жиру.

Список використаних джерел

1. Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови : ДСТУ 2661:2010. – [Чинний від 2011-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 12 с.
2. Про молоко і молочні продукти : Закон України від 24.06.2004 № 1840-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2004. – № 47. – Ст. 513.

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 574:628.4

І.М. Іванова, д-р техн. наук

А.Л. Котельчук, канд. техн. наук

О.М. Семака, викладач

В.А. Крупко, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЕЛЬ ЗАВДЯКИ УТИЛІЗАЦІЇ ВМІСТУ МУЛОВИХ КАРТ

И.Н. Иванова, д-р техн. наук

А.Л. Котельчук, канд. техн. наук

А.Н. Семака, преподаватель

В.А. Крупко, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОХРАНЕНИЮ ЗЕМЕЛЬ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ИЛОВЫХ КАРТ

Inna Ivanova, Doctor of Technical Sciences

Andrii Kotelchuk, PhD in Technical Sciences

Oleksii Siemaka, teacher

Vitalii Krupko, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS LAND OF CONSERVATION THROUGH RECYCLING SLUDGE CARDS

*Проаналізовано напрями використання відходів активного мулу аеротенків станції очищення стічних вод з позиції охорони земель. Проведено моделювання антропогенного тиску вмісту мулових майданчиків за допомогою біоіндикаторів *Daphnia magna* Straus, а також визначення властивостей термооброблених відходів (міцність під час стискування, коефіцієнт водостійкості, водонасичення).*

Ключові слова: використання земель, екологічні стандарти, осад мулових майданчиків, токсичність відходів, термообробка осаду, властивості замітника природних матеріалів.

*Проанализированы направления использования отходов активного ила аэротенков станции очистки сточных вод с позиции охраны земель. Проведено моделирование антропогенного давления содержания иловых площадок с помощью биоиндикаторов *Daphnia magna* Straus, а также определения свойств термично обработанных отходов (прочность при сжатии, коэффициент водостойкости, водонасыщения).*

Ключевые слова: использование земель, экологические стандарты, осадок иловых площадок, токсичность отходов, термообработка осадка, свойства заменителя природных материалов.

*Analyzes the uses of waste activated sludge aerotanks sewage treatment plant from the perspective of land protection. Simulation pressures content sludge cards using bioindicators *Daphnia magna* Straus and determining the properties heat-treated sludge aerotanks (compressive strength, coefficient of water resistance, water saturation).*

Key words: use a land, environmental standards, sediment silt sites, toxic waste, heat treatment sludge properties imitation of natural materials.

Постановка проблеми. Актуальність теми полягає в тому, що використання комплексу земель, пов'язаних з очищенням стічних вод, є дуже важливим науково-практичним завданням у зв'язку з необхідністю підвищення ефективності використання земельних ресурсів, що передбачено законодавчо-нормативними документами України. Екологічною проблемою є забруднення території відходами від очищення стічних вод. У результаті очищення стічних вод виникає осад, який має різний склад та властивості. Кількість і якість осаду залежить від кількості очищуваної води та способу очищення [1–17].

Також актуальним є пошук заміників природних матеріалів, які вилучаються з землі і використовуються у будівництві доріг (враховуючи, що будівництво 1 км дороги в Україні коштує близько 45 млн грн) [18–23].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що загальне забруднення доквілля приводить як до безпосереднього забруднення земель, так і до забруднення водних ресурсів, які здійснюють свій вплив на якість ґрунтів, можливість їх подальшого використання. Основними принципами державної політики у сфері охорони земель [1; 2, 13–15] є збереження земель як основного національного багатства українського народу. Чинні законодавчі і нормативні документи потребують оптимізації використання й охорони земель. Але подекуди існує високе антропогенне навантаження, зокрема, потерпає від цього й один з найбільших регіонів – Чернігівщина. Велика кількість власників землі цього регіону, до яких відносяться: лісогосподарські підприємства – 18,9 %; громадяни – 29,9 %; сільськогосподарські підприємства – 25,8 %; а також заклади, установи – підприємства промисловості, транспорт, Міністерство оборони, водогосподарські підприємства та інші приводить подекуди до нераціонального використання земель, їх погіршення [13–15]. Значні площі земель мають різноманітні відходи, тому актуальним є проведення досліджень з виявлення можливості утилізації вмісту мулових майданчиків, які з кожним роком займатимуть усе більші площі. До нераціонального використання земель можна віднести захоронення відходів від очисних споруд, а саме осаду активного мулу, який використовують в аеротенках.

Останнім часом в усьому світі поширюється використання біоіндикаторів для оцінювання якості вод, що має переваги щодо оперативного отримання загальної оцінки, наприклад, ДСТУ 4168-2003 передбачає використання ракоподібних, ДСТУ 4074-2001, ДСТУ 4076-2001 використання риб та інше. Тому нами визнано доцільним оцінити стан земель з використанням біоіндикаторів [21–23].

Існують [5–11] дослідження щодо розроблення методів утилізації осаду: захоронення, використання в різних галузях промисловості, використання як добрива, спалювання. Але на сьогодні відбувається затримка впровадження у виробництво, так і не вирішена основна методика утилізації та перероблення осаду стічних вод.

З огляду літературних джерел існує декілька шляхів вирішення цього питання. Традиційний підхід – це використання мулових майданчиків для захоронення осаду стічних вод. Причому цей осад містить багату складову, зольність сирих осадів становить у середньому 25÷40 %, а зольність надлишкового мулу – 25÷30 %. Органічна складова надлишкового мулу містить до 50 % білків, 30 % жирів та до 10 % вуглеводнів. До складової органічної частини сирих осадів входить приблизно в два рази менше білків, але в 2,5÷3 рази більше вуглеводнів, слід зазначити також велику бактеріальну забрудненість осадів та наявність у них значної кількості яєць гельмінтів.

Розглядається можливість перетворення осаду в комплексне добриво знешкодженням осаду стічних вод в умовах біосульфідогенезу під час дисиміляційного відновлення малорозчинних сульфатів. Отримані результати узгоджуються з експериментальними даними, відповідними динаміці вихідного із біореактора біогенного газу. За характером зміни кінетики виходу біогенного сірководню, зміни концентрації ацетату і швидкості поглинання сульфатів можна здійснювати прогноз процесу біосульфідогенезу та знаходити найбільш оптимальні параметри системи. Це вказує на можливість його використання в біотехнології знешкодження осаду стічних вод з отриманням комплексного органо-мінерального добрива [7].

Існує певний досвід використання осадів у дорожньому будівництві. Результати натурних досліджень експериментальних асфальтобетонних покриттів, модифікованих техногенними відходами (осадам стічних вод), свідчать про високу їх якість, не поступаючись своїми показниками покриттю з традиційного асфальтобетону [8].

На рис. 1 проаналізовано ситуацію на прикладі м. Чернігова і порівняно обсяги зневодненого до 74 % осаду, який утворюється на мулових майданчиках та вивозиться як добриво на колгоспні поля, і загальний об'єм накопиченого осаду [10].

Залежно від призначення доріг існують різноманітні види, передбачені Законом України «Про автомобільні дороги», і для них використовуються різноманітні спеціальні матеріали. Ці будівельні матеріали виготовляються із природних матеріалів, які вилучаються із землі, що приводить до порушення поверхневого шару, руйнації ґрунтів. Зменшення використання такої сировини завдяки пошуку заміників, особливо, заміників, виготовлених із відходів очищення стічних вод на біологічних каналізаційно-очисних станціях, є перспективним напрямом дослідження.

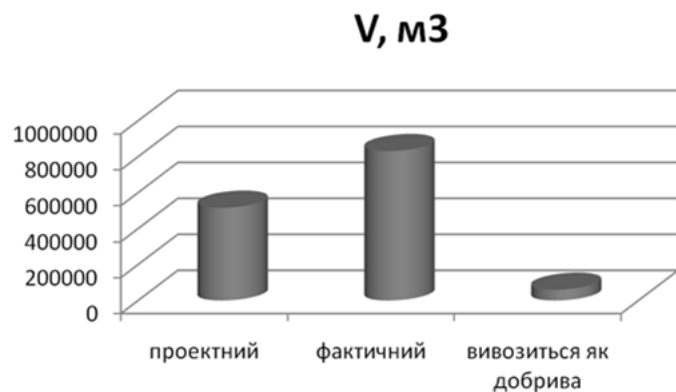


Рис. 1. Накопичення осаду на КОС м. Чернігова [10]: проектний, фактичний і використання як добрива

Велике значення має наявність місцевих будівельних матеріалів для вартості будівництва доріг, у табл. 1 представлено дані щодо будівництва доріг у деяких країнах світу. Також разом з високою економічною вартістю доріг вони мають певну екологічну вартість. Під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг необхідно враховувати сучасні екологічні вимоги до цих процесів. Це дозволить значно зменшити та мінімізувати негативний вплив автомобільних доріг на довкілля.

На стадії розроблення проектів необхідно вирішувати деякі питання, що безпосередньо відносяться до екологічних аспектів, зокрема, раціональне використання природних ресурсів.

Таблиця 1

Вартість будівництва одного кілометра автомобільної дороги

№	Країна	Вплив чинників	Вартість будівництва 1 км, млн \$
1	Україна	рельєф, наявність місцевих будівельних матеріалів	5,6
2	США		10,0
3	Канада		11,0
4	Росія		6,3
5	Словаччина		12,8
6	Німеччина		14,5

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Огляд літературних джерел щодо утилізації відходів біологічного очищення стічних вод виявляє три основні напрями, представлені нами на рис. 2.



Рис. 2. Основні напрями утилізації осаду з аеротенку

Перший напрям: зберігання на мулових майданчиках – це застарілий нераціональний метод, пропонується зменшення обсягу під час анаеробно-аеробного очищення [12].

Другий напрям – спалювання осаду – раніше затримувала висока вологість осаду (понад 70 %). На цей момент використання новітніх сушарок для підсушеного осаду на мулових майданчиках вологістю 60÷70 % дозволяє зменшити його вологість до 25 % і нижче. За допомогою цього можна ліквідувати джерело парникового ефекту, яке виникає у разі застосування застарілих технологій (утилізації методом зневоднення осаду на мулових майданчиках) отримання альтернативного джерела теплової та електричної енергії. При такому потужному термічному обробленні в 13 разів зменшується обсяг зневодненого осаду [6].

Третій напрям – використання різних видів добрив активно відпрацьовується. Розглядається також можливість вирішення екологічної утилізації відходів з метою одержання регуляторів росту рослин за допомогою метанового зброджування. Ці регулятори спроможні викликати в організмі рослини зміни в обміні речовин, керувати їх ростом і розвитком [11].

Кожний вказаний напрям має певні переваги, але потребує додаткових досліджень для вибору оптимального варіанта для певного комплексу очисних споруд, зокрема, Чернігівського КОС. Оцінюючи технології утилізації осаду стічних вод, можна зазначити, що альтернативною є технологія утилізації ОСВ в органічно-мінеральний порошок з подальшим залученням отриманого на його основі асфальтобетону в дорожньому будівництві, за економічними та екологічними показниками переважає метод термічної утилізації.

Серед вказаних завдань досліджень залишаються актуальними:

- дослідження токсичності розчину, який утворюється внаслідок потрапляння атмосферних опадів на мулові майданчики і поширюється у довкіллі;
- дослідження властивості матеріалу, що утворюється після термічного оброблення осаду і планується до використання у будівництві.

Таким чином, для збереження земель, на яких розміщено відходи КОС, а також земель, з яких вилучаються природні матеріали – сировина для будівництва, необхідно:

1. Дослідити токсичність забруднювача земель (вмісту мулових майданчиків).

2. Розробити екологічно безпечну технологію використання ОММ у будівництві, дослідити умови використання вторинного продукту термічного перероблення осаду мулових майданчиків для заміщення природних матеріалів.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення рекомендацій щодо збереження земель завдяки утилізації вмісту мулових майданчиків.

Виклад основного матеріалу. Для того, щоб дослідити безпечність для використання у сільському господарстві й будівництві АМ проведено дослідження ймовірної токсичності води, яка проходить крізь свіжий осад та осад після витримки у 12 місяців на мулових майданчиках і потрапляє у ґрунти. Для аналізу відбирали осад з мулового майданчика (ОММ), який має вигляд, представлений на рис. 3.



Рис. 3. Осад після біологічного очищення стічних вод – новоутворений осад на муловому майданчику (а) та осад, витриманий 12 місяців на муловому майданчику (б)

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Досліджувані водні розчини готувались із новоутвореним осадам мулових майданчиків (вибірки 1, 2) і ОММ з витримкою на мулових майданчиках 12 місяців (вибірки 3, 4). Отримана суспензія була профільрована крізь фільтр марки ФО ФС-17.

Змішування АМ з водою моделює спочатку процес розчинення ОММ внаслідок опадів, далі – фільтрацію утвореної суспензії крізь природні матеріали (пісок, гравій, тощо) і подальше поширення забрудненої води з ґрунтовими водами. До прозорої суміші об'ємом 100 мл з концентрацією 2,5 і 5 % додавали згідно з КНД 211.1.4.054-97 [21] по 10 біоіндикаторів – *Daphnia magna* Straus. Через 96 годин проаналізовано токсичність розчинів згідно з методикою.

Кількість живих біоіндикаторів *Daphnia magna* Straus у водних системах з розглянутою концентрацією забруднюючої речовини представлено в табл. 2. Оскільки про гостру токсичність свідчить зменшення біоіндикаторів понад 50 %, то доходимо висновку, що утворені розчини з концентрацією 2,5 і 5 % ОММ не виявили гострої токсичності води.

Таблиця 2

Дослідження безпечності експериментальних розчинів за допомогою біоіндикаторів Daphnia magna Straus

№ вибірки	Концентрація розчину, %	Наявність живих біоіндикаторів		Висновки
		Контроль	Експеримент	
1	2,5	10	9	Нетоксична
2	5	10	8	Нетоксична
3	2,5	10	10	Нетоксична
4	5	10	9	Нетоксична

Перевірка з використанням біоіндикаторів є комплексною перевіркою, можна стверджувати достатню безпечність використання ОММ у сільському господарстві, будівництві, а також відсутність токсичних впливів на довкілля забруднених ОММ вод.

У процесі використання ОММ у будівництві треба врахувати, що до матеріалів, які традиційно використовуються у дорожньому будівництві, існують певні вимоги, зокрема, органомінеральна суміш повинна мати такі властивості (табл. 3).

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості суміші

Показники	Суміші мінеральних матеріалів з в'язким органічним в'язучим
Межа міцності на стиск при температурі 50 °С R 50, Мпа, не менше	1,0
Межа міцності на стиск при температурі 20 °С R 50, Мпа, не менше	1,8
Коефіцієнт водостійкості, не менше	0,7
Водонасичення, %, за об'ємом, не більше	5,0

Для цього дослідження осад активного мулу (АМ) комплексу очисних споруд (КОС) м. Чернігова було термічно оброблено в муфельній печі ПМ-8 при температурі $t=500$ °С. Отриманий матеріал далі використано для виготовлення і дослідження зразків органо-мінеральної суміші з різним вмістом добавки ОММ, як потенційного замітника матеріалів, що використовуються у будівництві доріг. Для створення ОМС згідно з ТУ У 33852939.001-98 «Органомінеральні суміші», ДСТУ Б В.2.7-89-99 «Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва» [18; 19] використано відсів подрібнений, бітум та мінеральний порошок.

У цьому дослідженні замість мінерального порошку було добавлено 5 та 10 % експериментального замітника мінерального порошку, а саме термічно оброблений активний мул з мулових карт (КОС) м. Чернігова. Основні етапи процесу виготовлення зразків дорожнього покриття представлено на рис. 4.



Рис. 4. Процес виготовлення експериментальних зразків 5 та 10 % виявлення фізико-механічних властивостей зразків ОМС з різним вмістом заміника мінерального порошку

Фізико-механічні властивості сумішей, асфальтобетонів і закріплених ґрунтів визначають на зразках, що отримані ущільненням сумішей у сталевих формах. Форми для виготовлення циліндричних зразків являють собою сталеві порожнисті циліндри, які можуть виготовлятися у вигляді касети з трьома взаємозв'язаними циліндричними формами діаметром 71,4 або 50,5 мм, або одиночних звичайних та полегшених форм, розміри яких залежать від найбільшої крупності мінеральних зерен.

Для визначення границі міцності під час стискування зразків у водонасиченому стані використовуються зразки, що отримані ущільненням сумішей у сталевих формах. Для випробування готувались зразки за наявною методикою. Границю міцності під час стискування зразків визначають на пресах при швидкості руху плити преса $(3,0 \pm 0,3)$ мм/хв. При експериментальному дослідженні використовувався прес гідравлічний за ГОСТ 28840 з навантаженнями від 50 до 100 кН ($5 \div 10$ тс) і до 500 кН (50 тс) з силовимірниками, що забезпечують похибку не більше 2 % навантаження, яке вимірюють.

Після виготовлення експериментальних зразків було проведено дослідження їх фізико-механічних властивостей з використанням атестованого обладнання.

На основі проведених досліджень було розроблено оптимальний склад сировини, яка дозволяє зменшити порушення земель під час видобування будівельних матеріалів. Результати дослідження було представлено у Звіті про науково-дослідну роботу «Дослідження перспектив використання у будівництві доріг осаду з мулових майданчиків каналізаційно-очисних споруд м. Чернігова», який передано для використання у державне підприємство «Служба автомобільних доріг у Чернігівській області». Перевірка здійснювалась у лабораторії Служби доріг у Чернігівській області (табл. 4).

Порівняння отриманих результатів свідчать, що водонасичення для різних композицій змінюється порівняно з традиційним матеріалом (зразок № 1 – контрольний) на $18 \div 23$ % і не перевищують вимоги ТУ. Межа міцності при температурі 20 °С і при 50 °С відповідає вимогам ТУ, а в окремих випадках має кращі результати порівняно з

контрольним зразком. Коефіцієнт водостійкості зростає зі збільшенням домішки від 5÷10 % у ОМС, як це показано на рис. 5.

Таблиця 4

Властивості традиційних та експериментальних матеріалів

№ п/п	Склад органо-мінеральної суміші	Об'ємна маса	Водонасичення, %	Межа міцності під час стискування Мпа, при температурі			Коефіцієнт водостійкості
				20 °С	50 °С	Водонас. стан.	
1	Відсів подрібнений – 93 % Бітум – 7 %	2,23	3,9	5,0	2,6	5,1	1,0
2	Відсів подрібнений – 88 % Бітум – 7 % Домішка – 5 %	2,26	4,8	6,0	1,9	5,3	0,88
3	Відсів подрібнений – 83 % Бітум – 7 % Домішка – 10 %	2,21	4,6	4,7	1,7	4,9	1,03
4	Норматив за ТУ		Не більше 5,0	Не менше 1,8	Не менше 1,0		Не менше 0,7

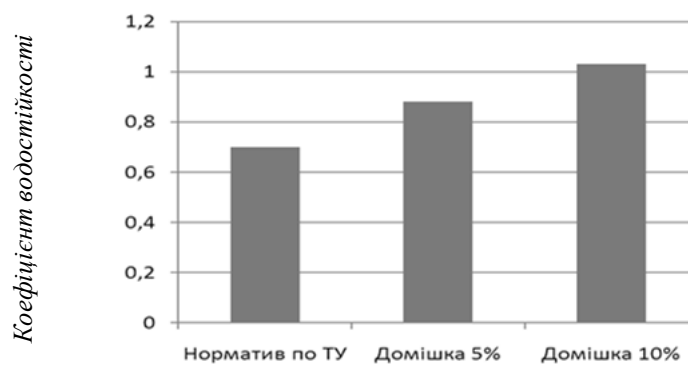


Рис. 5. Залежність коефіцієнта водостійкості зразка дорожнього покриття від концентрації ОМС

Отримані результати (з урахуванням того, що заміна мінерального порошку термообробленими відходами очисної станції приносить економічний, екологічний та соціальний ефект) свідчать про можливість використання як добавки (замінника мінерального порошку) осаду з мулових майданчиків, враховуючи, що осад активного мулу не погіршує якість органо-мінеральної суміші, а використання осаду активного мулу дає змогу економити мінеральний порошок у кількості від 50 до 70 кг на тонні ОМС, зменшити зайняті відходами – осадом активного мулу – землі.

Висновки і пропозиції. 1. Розвинуто методологію охорони земель на основі комплексного підходу до їх використання та заміни природних ресурсів вторинними матеріалами, отриманими із відходів станцій біологічного очищення стічних вод. Підвищено ефективність використання земель завдяки одночасному зменшенню територій, забруднених ОММ, і територій, з яких вилучається сировина для будівництва.

2. На основі проведених експериментальних досліджень з термооброблення осаду активного мулу і подальшого використання його для виготовлення зразків органо-мінеральної суміші отримано результати, які свідчать про можливість використання як добавки – замінника мінерального порошку – осаду з мулових майданчиків, враховуючи встановлену його нетоксичність і виміряні фізико-механічні показники зразків ОМС з різним складом добавки. Встановлено оптимальний склад ОММ для заміни природних матеріалів у будівництві доріг з органо-мінеральної суміші, що містить: 83 % відсіву подрібненого, 7 % бітуму, 10 % експериментального порошку (осад мулового майданчика).

3. Проведено моделювання антропогенного тиску на дослідженій території з урахуванням токсичності земель, забруднених ОММ, з використанням біоіндикаторів *Daphnia magna* Straus. Зроблено перевірку токсичності осаду мулових майданчиків Чернігівської каналізаційно-очисної станції у вигляді систем із вмістом 2,5 і 5 % ОММ з використанням біоіндикаторів *Daphnia magna* Straus (комплексна перевірка), яка виявила достатню безпечність використання ОММ у сільському господарстві, будівництві, а також потенційних впливів на довкілля забруднених активним мулом вод.

Список використаних джерел

1. *Про охорону земель* : Закон України від 19 червня 2003 № 962-IV / Верховна Рада України. – К. : Парлам. вид-во, 2003. – № 39. – 349 с.
2. *Про державний контроль за використанням та охороною земель* : за станом від 19 червня 2003 р. № 963-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 39. – Ст. 350.
3. *Моделювання ефективності роботи станції біологічного очищення стічних вод* / О. О. Шевченко, В. А. Крупко, Л. М. Клінцов, І. М. Іванова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 5. – С. 16–20.
4. *Крупко В. А. Шляхи мінімізації забруднення довкілля* / В. А. Крупко // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 2013 р.). – Чернігів : ЧДІЕУ, 2013. – С. 128–130.
5. *Олійник О. Я. Зневоднення зволоженого осаду на мулових майданчиках за рахунок фільтрації і випаровування* / О. Я. Олійник // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : науково-технічний збірник. – 2005. – Вип. 5. – С. 92–99.
6. *Досвід роботи КП КГ «Харківкомуночиствод» щодо утилізації осадів стічних вод з використанням технології італійських фірм VOMM TAGEOTECK* / І. В. Корінько, С. С. Піліграм, М. Д. Лессік, Г. М. Смирнова // Водопостачання та водовідведення. – 2010. – № 5. – С. 28–29.
7. *Плячук Л. Д. Математичне моделювання процесу знешкодження осаду стічних вод в біосульфідогенних умовах* / Л. Д. Плячук, Е. Ю. Черниш // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 37. – С. 148–160.
8. *Використання осадів стічних вод в експериментальному дорожньому будівництві* / Г. Я. Дрозд, Р. В. Бреус, В. В. Рогулін, І. І. Бізірка // Водопостачання та водовідведення. – 2011. – № 4. – С. 44–47.
9. *Дрозд Г. Я. Оцінка технологій утилізації осадів стічних вод* / Г. Я. Дрозд, В. В. Рогулін // Водопостачання та водовідведення. – 2011. – № 4. – С. 38–43.
10. *Шкінь О. М. Технічні проблеми при дотриманні законодавчих вимог. Економічні аспекти водовідведення* / О. М. Шкінь // Українсько-німецьке партнерство у галузі водного господарства – завдання для науки і практики : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Івано-Франківськ, 15–16 грудня 2008 р.). – Івано-Франківськ, 2008. – С. 35.
11. *Безвідходна технологія очищення стічних вод виробництво амінокислот* / О. В. Гайдаржи, Л. В. Левандовський, Г. М. Заболотна, Г. С. Андріяш // Екологія. Людина. Суспільство : матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених (Київ, 18–22 травня 2010 р.). – К., 2010. – С. 43–44.
12. *Жукова В. С. Очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів* : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.17.21 «Технологія водоочищення» / Жукова Вероніка Сергіївна ; Нац. техн. ун-т України «КП». – К., 2013. – 19 с.
13. *Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2003 рік*. – Чернігів : ДУЕІПРЧО, 2004. – С. 63.
14. *Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2010 рік*. – Чернігів : ДУЕІПРЧО, 2011. – С. 97.
15. *Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2011 рік*. – Чернігів : ДУЕІПРЧО, 2012. – С. 99–100.
16. *Шкінь О. М. Управління інноваційним розвитком комунального господарства України : регіональний аспект* / О. М. Шкінь // Стратегія і механізми регулювання промислового розвитку : зб. наук. праць : у 3 т. Т. 3 / НАН України, Інститут економіки промисловості. – Донецьк, 2011. – С. 164–172.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

17. *Якість* процесу очищення стічних вод як функція складу вхідного потоку / Ю. В. Шатохіна, Л. М. Клінцов, О. М. Шкінь, Н. С. Мазюк // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2013. – № 1/1 (9). – С. 36–38.

18. *Органомінеральні суміші* : ТУ У 33852939.001–98. – [Чинний від 1998]. – Офіц. вид. – 1998. – (Технічні умови).

19. *Матеріали* на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва : ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801-98). – [Чинний від 2000.01.01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 44 с.

20. *Споруди транспорту*. Автомобільні дороги. Частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво : ДБН В.2.3-4:2007. – [Чинний від 2008.03.01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 91 с.

21. *КНД 211.1.4.054-97* Методика визначення гострої токсичності води на ракоподібних «*Daphnia magna* Straus». – 16 с.

22. *Якість* води. Визначення гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі. Ч. 2 : ДСТУ 4075–2001. – [Чинний від 2003.07.01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 11 с.

23. *Якість* води. визначення гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі. Ч. 3 : ДСТУ 4076–2001. – [Чинний від 2003.07.01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 22 с.

УДК 629.039.58+004.942

О.В. Коваленко, канд. техн. наук

Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПОДІЇ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТРИТІЄМ

А.В. Коваленко, канд. техн. наук

Институт ядерных исследований НАН Украины, г. Киев, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБЫТИЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРИТИЕМ

Oleksandr Kovalenko, PhD in Technical Sciences

Institute of Nuclear Research of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MODELING OF THE EVENT OF RADIOACTIVE CONTAMINATION BY TRITIUM

Представлено підхід до моделювання локальної події радіоактивного забруднення території тритієм за допомогою просторів пов'язаних різномасштабних моделей стану системи. При дослідженні розповсюдження тритію у водонасичених ґрунтах у запропонованому підході врахована обмеженість переміщення тритію у вертикальному напрямку пористопружного насиченого рідиною середовища. Запропоновано вирішення питання обмеженості за допомогою дослідження ступеня зв'язаності між твердою і рідкою фазами середовища.

Ключові слова: тритій, модель, стан, переміщення, фактор.

Представлен подход к моделированию локального события радиоактивного загрязнения территории тритием с помощью пространств связанных разномасштабных моделей состояния системы. При исследовании распространения трития в водонасыщенных грунтах в предлагаемом подходе учтена ограниченность перемещения трития в вертикальном направлении пористоупругой насыщенной жидкостью среде. Предложено решение вопроса ограниченности перемещения с помощью исследования степени связанности между твердой и жидкой фазами среды.

Ключевые слова: тритий, модель, состояние, перемещение, фактор.

The article presents an approach to modeling local event of radioactive contamination by tritium. It is made by means of spaces of the connected models of different scale of a condition of system. Taken into account the limited movement of tritium in the vertical direction of the porous elastic water-saturated medium. The proposed solution of the issue of restricting the movements through the research of the degree of coupling between the solid and liquid phases of the medium.

Key words: tritium, model, condition, displacement, factor.

Постановка проблеми. Із більш ніж 1700 відомих радіонуклідів лише 200 можуть бути використані на практиці. Серед них важливе місце належить ізотопу водню тритію. Тритій може бути використаний майже в усіх напрямках, де застосовуються ізотопи: як радіоактивний індикатор у геофізичних, ґрунтово-гідрологічних, хімічних, біологічних та медичних дослідженнях; у вигляді джерела іонізуючого випромінювання для радіоізотопних вимірювальних приладів, технологічних приладів та пристроїв, установок і приладів

для ядерно-фізичного аналізу складу речовин; як радіоактивне паливо для атомних джерел електричного струму; для генерації нейтронів на прискорювачах заряджених частинок; як ядерне паливо у термоядерних реакторах; у складі люмінесцентних джерел світла; у складі джерел рентгенівських гальмівного та характеристичного випромінювання і т. ін.

Широкі можливості практичного використання тритію обумовлені в першу чергу специфікою його властивостей, економічною ефективністю його застосування, технологічністю тощо. Відомо, що 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. Енергетичний спектр бета-випромінювання є простим роздільним з верхньою границею $E_{\text{макс}} = 18,6$ кеВ. Середня енергія бета-випромінювання тритію $E_{\text{сер}} = 5,6$ кеВ. Бета-електрони тритію з максимальною та середньою енергією мають довжину проникнення в повітрі 5,7 мм ($0,7$ мг/см²) та речовині 0,9 мм ($0,2$ мг/см²). У біологічній тканині ця довжина становить приблизно 0,6 мкм. У зв'язку з цим зовнішнє опромінення бета-електронами тритію практично відсутнє, що визначає низький фактор радіаційної небезпеки під час його перероблення та використання. 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. Тритій, як і водень, активно бере участь у взаємообміні речовин в організмі людини [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 унебезпечення ситуації у разі забруднення навколишнього середовища тритієм.

Актуальність зазначеної теми обумовлена тим, що історія людства знає багато катастроф, пов'язаних із радіоактивним забрудненням тритієм значних територій. Найбільш відомою є катастрофа на ВО «Маяк» у Челябінській області СРСР у 1957 р. (Кіштимська аварія), коли сотні тисяч осіб постраждали, а більшість населення регіону ще тривалий час потерпала від води з вмістом тритію у надвисокій концентрації, а також від радіаційно забруднених хмар, що були винесені вітром далеко за межі аварії [2].

У теперішній час заводи з регенерації ТВЕЛів у Франції та Великобританії характеризуються фахівцями як потужні джерела надходження тритію в навколишнє середовище, у тому числі – у море. А приблизно 15 % тритію викидається цими підприємствами в атмосферу, забруднюючи повітря і ґрунт [3].

Аналіз основних досліджень і публікацій. 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, аналізу та моделюванню подій забруднення території тритієм приділяється багато уваги в роботах учених всього світу. Зокрема, можна назвати роботи американських дослідників – доктора А.В. Клемента з його найбільш цитованою роботою з вимірами за період у 40 років [4], а також робота дослідника Грега Джонса щодо забезпечення безпеки від тритію з водяних реакторів [5]. У зв'язку з тим, що Російська Федерація має багато підприємств, що небезпечні за викидами тритію, а також декілька великомасштабних аварій на радіаційно небезпечних підприємствах, російськими дослідниками Б. Галкіним [6], Г. Романовим [7], С. Дьоміним [8] та багатьма іншими науковцями представлений багатьма фундаментальними роботами, які широко цитуються у всьому світі.

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 у цій галузі – доктор біологічних наук Б.С. Прістер з Інституту проблем безпеки АЕС НАН України [9]. Також серед Українських науковців, які здійснюють дослідження та моделювання 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 [10–11] та інших.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на змістовні дослідження, в Україні тритієвій проблемі не приділяється належної уваги, відповідної до її значущості. У випадках предаварійних ситуацій чи аварій на АЕС активність тритію, що надходить у навколишнє природне середовище, зростає на декілька порядків з відповідним негативним впливом.

Більшість наявних програм моделювання розповсюдження тритію пристосовані до розгляду проблеми радіоактивного забруднення тритієм лише у водному та водонасиченому середовищі. Та й ці програми не забезпечують швидкого і точного розрахунку (наприклад, FEFLOW 4.9, Flow3D), бо засновані на моделях масопереносу.

Враховуючи те, що тритій попадає в організми живих істот здебільшого за харчовим ланцюгом, а до людини – ще й через шкіру, моделювання розповсюдження і накопичення тритію необхідно проводити системно, через простори станів середовища. Лише тоді можна отримати цілісну картину розповсюдження тритію деякою територією.

Мета статті. Метою роботи є формування підходу до моделювання локальної події радіоактивного забруднення території тритієм для забезпечення контролю та організації попереджувальних заходів щодо розповсюдження забруднення.

Виклад основного матеріалу. 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 проникає через органи травлення з водою, а при випаровуванні забрудненої тритієм води разом із повітрям потрапляє до органів дихання.

Дослідження переносу тритію у водному середовищі та водонасичених ґрунтах потребують детальних розрахунків за гідрогеологією досліджуваного елемента. Проте в аналізі концентрації тритію розробками МАГАТЕ використано спрощений підхід з використанням функції Гріна [12], завдяки чому визначається концентрація тритію як функція від часу і простору при точковому використанні інжектування тритію. Тоді концентрація тритію при горизонтальній координаті x від початку потоку й глибині z при часі t визначиться рівнянням:

$$c(x, z, t) = \int \int g_1(\xi, \tau; x) g_3(\xi, \tau; z) \exp(-\lambda \tau) d\xi d\tau, \quad (1)$$

де g_1, g_3 – функції Гріна для горизонтального та вертикального переміщення; τ – час від початку скидання, с; ξ – відстань від джерела до елемента $d\xi$ (точки скиду), м; λ – параметр Ламе однорідного пружного середовища; d – точка переміщення. Крім того, функція g_1 описує необмежене горизонтальне переміщення тритію, а функція g_3 – переміщення тритію у вертикальному напрямку, але має обмеженість за висотою пористопружного насиченого рідиною середовища (ПНРС).

У цьому випадку слід врахувати параметри ґрунтів. Так, ступенем зв'язаності між твердою і рідкою фазами ґрунту визначатимуться граничні випадки ПНРС [13]. Середовище «без зв'язків» буде характеризуватися тим, що рідина вільно циркулюватиме між зернятами твердої фази ґрунту. Прирошення напруги, яке виникає під час проходження пружних хвиль ПНРС, не буде змінювати напруги заповнювача, а відбиватимуться тільки на скелеті середовища (це маловологі середовища піску або пісковіку).

У середовищі «з довершеними зв'язками» заповнювач не може циркулювати у порах і виштовхуватися з них під тиском динамічної напруги (глини, вапняки). У такому

середовищі приймається, що коефіцієнт дисипації b та безрозмірний коефіцієнт дисипації B у двофазному середовищі наблизатиметься до ∞ . Тоді швидкості повздовжньої c_1 і поперечної хвилі c_2 руху ґрунтових вод визначатимуться формулами:

$$\begin{aligned} c_1 &= \sqrt{H/\rho} = \sqrt{(\lambda + 2\mu + a^2 M)/\rho}, \\ c_2 &= \sqrt{N/\rho}, \quad \rho = (1-m)\rho_s + m\rho_f, \end{aligned} \quad (2)$$

де N – пружна постійна ПНРС двофазного середовища, Па; a , M та H – модифіковані константи двофазного середовища; m – пористість твердої фази двофазного середовища; μ та λ – параметри Ламе однорідного пружного середовища, Па; ρ – щільність матеріалу штамп, кг/м³; ρ_s – щільність мінералу скелета ґрунту, кг/м³; ρ_f – щільність рідкої фази (рідина пор), кг/м³.

Розрахунки для граничних випадків середовища «без зв'язків» та середовища «з довершеними зв'язками» можуть проводитися на основі моделі пружного однорідного напівпростору з відповідним коефіцієнтом Пуассона матеріалу основи [13].

Перехід до моделювання переносу тритію в інших середовищах може відбуватися за допомогою просторів пов'язаних різномасштабних моделей стану системи з врахуванням того факту, що живий організм мешкає в деякому навколишньому середовищі, на яке впливають різні фактори. Існує багато моделей для розрахунку радіоактивних речовин в атмосфері, ґрунті, воді, але вони, в основному, стосуються міграційних проблем і не спрямовані на оцінювання впливу на людину. Складність застосування в таких моделях системного підходу обумовлена тим, що в атмосфері, де відбувається перенос радіоактивно забруднених часток викиду, процес циркулювання може відбуватися годинами з перепадами від метрів до кілометрів, а у ґрунті це будуть роки і сантиметри.

Розглядаючи підприємство, що може стати джерелом викиду тритію у навколишнє середовище, можна визначити деяку ділянку площини R , $\Omega \subset R$, яка являє собою адміністративно обмежену територію (місто, регіон), $\vec{r} \in R$.

Простори, які моделюють стан системи, можуть бути визначені таким чином:

$X = X(\Omega, R^n)$ – простір станів підприємства – множина вектор-функцій $x: \Omega \rightarrow R^n$, $x(\vec{r}) = (x_1(\vec{r}), \dots, x_n(\vec{r}))$;

$Y = Y(\Omega, R^m)$ – простір станів забруднення навколишнього середовища – тензорний добуток двох векторів стану середовища та стану людини в цьому середовищі, у підсумку чого відбувається композиція двох функцій: $F: Y \rightarrow N$ та $G: F(Y) \subset N \rightarrow Z$. Їх композицією буде функція $G \circ F: Y \rightarrow Z$, яка може бути представлена рівнянням $(G \circ F)(y) = G(F(y))$, $y \in Y$ та описана множиною вектор-функцій $y: \Omega \rightarrow R^m$, $y(\vec{r}) = (y_1(\vec{r}), \dots, y_m(\vec{r}))$;

$V = V(\Omega, R^k)$ – простір станів навколишнього середовища, фактично, це – результати моніторингу середовища, які можуть бути представлені як множина вектор-функцій $v: \Omega \rightarrow R^k$, $v(\vec{r}) = (v_1(\vec{r}), \dots, v_k(\vec{r}))$;

$W = W(\Omega, R^p)$ – простір небезпечних впливів на навколишнє середовище та людину, які можуть бути представлені як порушення регламенту при оперуванні ресурсами підприємства з виконання поставленого виробничого завдання. Це може бути представлене як множина вектор-функцій $w: \Omega \rightarrow R^p$, $w(\vec{r}) = (w_1(\vec{r}), \dots, w_p(\vec{r}))$.

Простори, які моделюють можливі операції, що відбуваються у досліджуваній системі, можуть традиційно бути розглянуті як контрзаходи на подію, або як складові ситуаційного управління в загальній системі управління:

$K(X)$ – простір операцій щодо небезпечного підприємства або окремого підрозділу, де $a = (a_1, \dots, a_r) \in K(X)$;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

$K(V \times Y)$ – простір щодо навколишнього середовища, включаючи тензорний добуток двох векторів стану середовища та стану людини в цьому середовищі, де $b = (b_1, \dots, b_s) \in K(V + Y)$;

$\Phi \in \Phi$ – простір інших критеріїв, що мають суттєвий вплив на систему, що досліджується.

Точки просторів операцій $K(X), K(V \times Y)$ у параметричному вигляді задають вплив, який здійснюється на систему. Компоненти векторів можуть бути представлені числовими або логічними змінними. Приклади означення просторів:

$x \in X$ – вплив небезпечного підприємства на навколишнє середовища за кожною компонентою забруднення;

$y \in Y$ – розподіл забруднюючих речовин на середовище, на людину.

Зв'язки між просторами визначатимуться таким чином:

$F: X \times V \rightarrow Y$ визначає стан забруднення середовища за результатами моніторингу стану середовища та стану підприємства;

$J: X \times Y \rightarrow W$ визначає збиток залежно від стану середовища та стану об'єкта.

Аналогічно будуються й інші зв'язки досліджуваних просторів.

Визначення величин критеріїв L можна здійснити за моделлю:

$$L: X \times V \times K(X) \times K(V \times Y) \times K(F) \times K(J) \times W \rightarrow \Phi \xrightarrow{U} R, \quad (3)$$

де R – керований режим функціонування підприємства, на повернення до якого і спрямовані зусилля ситуаційного управління.

Перехід до цього режиму можна представити відомим функціоналом [14]:

$$\overline{R}_{tr}^+ : R_{os} \xrightarrow{U_{tr}} R_{sd}, \quad (4)$$

де \overline{R}_{tr}^+ – керований режим функціонування, який обумовлений множиною керуючих параметрів U_{tr} системи управління безпекою, які протягом періоду \tilde{T}_{tr}^\pm призводять до переходу нештатного режиму R_{os} до штатного режиму R_{sd} .

На цьому етапі відбувається перехід до динамічної моделі, коли узгодження за простором і часом досягає критичного моменту для достовірності ситуації, що моделюється. Всі наведені простори операцій замінюються на простори, залежні від часу, тобто $K^T(X)$ – простір операцій щодо небезпечного підприємства або окремого підрозділу у вигляді функції за період часу T . Інші простори будуються аналогічним чином, у тому числі при застосуванні операцій залежності між просторами.

Проте слід зазначити, такий підхід все ж залишає високий відсоток невизначеності, який можна значно зменшити за допомогою застосування правил математичної логіки [15]. У цьому випадку інформаційна модель управління ситуацією, що виникла на деякому підприємстві, що є джерелом забруднення навколишнього середовища тритієм, може бути представлена у вигляді функції забезпечення певним набором ресурсів для подолання ситуації, що склалася $f(x_0, x_1, x_n)$; функції, що характеризує підприємство як носія певних технологій $f(y_0, y_1, y_0)$; функції, що описує поле рішень $f(z_0, z_1, z_0)$. Зазначені функції з позицій алгебри логіки можна записати, використовуючи функцію Вебба з визначенням повноти інформаційної моделі в досліджуваному класі подій за теоремою Поста-Яблонського. Наприклад, функція ресурсів для виконання задач подолання кризи на підприємстві виглядатиме таким чином:

$$f(x_0, x_1, x_n) = x_0 \vee x_1 \overline{x_1}, \quad (5)$$

де після ряду перетворень отримуємо:

$$\begin{aligned} f(x_0, x_1, x_n) &= x_0 \vee (\overline{x_1} \downarrow x_1) = \overline{x_0 \downarrow (\overline{x_1} \downarrow x_n)} = \\ &= \{x_0 \downarrow [(x_1 \downarrow x_1) \downarrow x_n]\} \downarrow \{x_0 \downarrow [(x_1 \downarrow x_1) \downarrow x_n]\}. \end{aligned} \quad (6)$$

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 самодвоїстою; 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 такої диз'юнкції: $f(x_0, x_1, x_n) = x_0 x_1 \overline{x_n} \vee x_0 x_n \vee \overline{x_0} x_1 x_n$. 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 функції ресурсів $X_0 \cup X_1 \cup X_n$; для функції, що описує систему управління ПРЗ, націлену на подолання небезпечної ситуації в цілому $X_n \cup Y_n \cup Z_n$.

Потужність кінцевої множини можна пояснити підсиленням дії окремих елементів впливу на об'єкт з метою забезпечення реалізації задач подолання небезпечної ситуації, що склалася на підприємстві [15]. Мовою логіки це може бути виражене у вигляді запису:

$$f(x, y, z) \Rightarrow x \oplus y \oplus z = x \otimes y \otimes z \quad (7)$$

Сукупність множин елементів або значення позицій матриці під час дослідження відповідності моделі ситуаційного управління відносно умов комплексності надання інформації за підсумками її оброблення корегують за даними постійного моніторингу ситуації.

Висновки і пропозиції. У роботі представлено підхід до моделювання локальної події радіоактивного забруднення території тритієм за допомогою просторів пов'язаних різномасштабних моделей стану системи. Це дозволяє отримати цілісну картину щодо забруднення тритієм території, а також забезпечити контроль та організацію попереджувальних заходів щодо розповсюдження забруднення за переходом від прийняття рішення за ситуацією, що склалася, за умов невизначеності, до позицій оперування співвідношеннями з відомими складовими.

У процесі дослідження розповсюдження тритію у водонасичених ґрунтах у запропонованому підході врахована обмеженість за висотою пористопружного насиченого рідиною середовища та запропоноване вирішення цього питання за допомогою ступеню зв'язаності між твердою і рідкою фазами ґрунту за граничними випадками пористопружного насиченого рідиною середовища.

Наведений підхід може бути використаний у алгоритмах під час розроблення програм щодо аналізу ситуації з розповсюдження тритію в навколишньому середовищі.

Список використаних джерел

1. *Радіаційні та ядерні технології в Інституті ядерних досліджень НАН України* : монографія / І. М. Вишневський, Г. П. Гайдар, О. В. Коваленко та ін. – К. : Ін-т ядерних досліджень, 2014. – 176 с.
2. *Толстикова В. Г.* Ядерная катастрофа 1957 года на Урале [Электронный ресурс] / В. Г. Толстикова. – Режим доступа : http://www.lib.csu.ru/vch/1/1999_01/009.pdf.
3. *Беловодский Л. Ф.* Тритий / Л. Ф. Беловодский, В. К. Гаевой, В. И. Гришмановский. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
4. *Estimates of Ionising Radiation Doses in the United States 1960–2000* / A. W. Klement, C. R. Miller, R. P. Minx, B. Shleien. – EPA, 1972. – 67 p.
5. *Jones G.* Tritium Issues in Commercial Pressurized Water Reactors // *Fusion Science and Technology*. – 2008. – Vol. 54, № (2). – P. 329–332.
6. *Галкин Б. Я.* Выброс в атмосферу летучих продуктов деления при работе АЭС и установка регенерации отработавшего топлива и перспективы их улавливания / Б. Я. Галкин, Л. И. Геденов, Н. Н. Демидович // *Атомная энергия*. – 1978. – Т. 44, № 2. – С. 145–149.
7. *Романов Г. Н.* Поведение в окружающей среде и биологическое действие трития / Г. Н. Романов // *Проблемы радиозкологии*. – М. : ВИНТИ, 1983. – Т. 4. – С. 6–31.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

8. Демин С. Н. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия / С. Н. Демин, Е. Л. Телушкина // Бюллетень радиационной медицины. – 1987. – № 1. – С. 23–28.

9. Пристер Б. С. Проблемы сельскохозяйственной радиоэкологии и радиобиологии при загрязнении окружающей среды молодой смесью продуктов ядерного деления : монография / Борис Самуилович Пристер ; предисл. Р. М. Алексахин. – Чернобыль : Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2008. – 320 с.

10. Коваленко Г. Д. Накоплення і міграція тритію в районах розташування АЕС з реакторами ВВЕР / Г. Д. Коваленко, В. А. Седнев, В. В. Турбаєвський // Ядерна і радіаційна безпека. – 2004. – № 2. – С. 47–53.

11. Коваленко Г. Д. Деякі питання моделювання розповсюдження тритію в ґрунтових водах / Г. Д. Коваленко, В. В. Турбаєвський // Ядерні й радіаційні технології. – 2004. – Т. 4, № 3. – С. 46–52.

12. Euges L. The Classical Electromagnetic Field. – New York : Dover Publications, 1972. – 432 p.

13. Трофимчук А. Н. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред / А. Н. Трофимчук, А. М. Гомилко, О. А. Савицкий. – К. : Наук. думка, 2003. – 230 с.

14. Згуровський М. З. Системний аналіз. Проблеми, методологія застосування / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К. : Наукова думка, 2011. – 728 с.

15. Кряжич О. О. Застосування тризначної логіки в алгоритмах управління радіаційно небезпечними об'єктами / О. О. Кряжич, О. В. Коваленко // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : праці міжнар. наук.-практ. конф., 12–15 травня 2015 р., Київ–Черкаси / наук. ред. В. Є. Снитюк. – Черкаси : Видавець Чабаненко Ю., 2015. – С. 357–358.

УДК 528.4

С.В. Коваленко, канд. пед. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПРОФЕСІЙНОГО СПРЯМУВАННЯ «ГЕОДЕЗІЯ, КАРТОГРАФІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ» У ЧЕРНІГІВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ ТЕХНОЛОГІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

С.В. Коваленко, канд. пед. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ «ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО» В ЧЕРНИГОВСКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Svitlana Kovalenko, PhD in Pedagogical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

PECULIARITIES OF TRAINING OF SPECIALISTS IN “GEODESY, CARTOGRAPHY AND LAND MANAGEMENT” IN CHERNIHIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Розглянуто особливості та шляхи вдосконалення підготовки фахівців напрямку «Геодезія, картографія та землеустрій» у Чернігівському національному технологічному університеті, представлена характеристика навчально-методичного комплексу та матеріально-технічної бази, проаналізовано всі основні етапи навчального процесу підготовки бакалаврів та спеціалістів. Висвітлено основні завдання та етапи виховного процесу майбутніх інженерів-землепорядників.

Ключові слова: землеустрій, землепорядник, ЧНТУ, освітньо-кваліфікаційна характеристика, освітньо-професійна програма, кредитно-модульна система.

Рассмотрены особенности и пути совершенствования подготовки специалистов направления «Геодезия, картография и землеустройство» в Черниговском национальном технологическом университете, представлена характеристика учебно-методического комплекса и материально-технической базы, дан анализ всем основным этапам учебного процесса подготовки бакалавров и специалистов. Представлены основные задачи и этапы воспитательно-образовательного процесса будущих инженеров-землеустроителей.

Ключевые слова: землеустройство, землеустроитель, ЧНТУ, образовательно-квалификационная характеристика, образовательно-профессиональная программа, кредитно-модульная система.

The article describes the features and ways to improve training Specialist of "Geodesy, Cartography and Land Management" in Chernihiv National University of Technology, describes the educational-methodical complex material and technical base, analyzed all the major stages of the educational process bachelors and specialists. The basic tasks and stages of the educational process of future engineers-surveyors.

Key words: land use, land surveyor, Chernihiv National University of Technology, educational qualification characteristics, educational and professional program, credit-modular system.

Постановка проблеми. Завдяки здійсненню значного обсягу землевпорядних робіт у державі в основному проведено реформування земельних відносин, хоча до останнього часу невирішеним залишається широке коло проблем. Серед них є питання, пов'язані з науковим забезпеченням раціонального використання та охорони земельних ресурсів країни, проведенням відповідного районування та зонування земельного фонду країни, забезпеченням документацією із землеустрою щодо встановлення меж більшості територій природно-заповідного фонду, рекреаційного та історико-культурного призначення, щодо встановлення прибережних захисних смуг вздовж річок, морів, навколо озер та водосховищ та багато інших.

Зважаючи на аграрне спрямування Чернігівської області, площа якої становить 31,9 тис. кв. км при щільності населення лише 38,4 осіб/кв. км, актуальним для Чернігівщини, як і для інших сільськогосподарських регіонів України, є питання реформування аграрного сектору та організація території сільськогосподарських підприємств, яка вимагає безумовного вирішення проблеми подальшого використання деградованих та інших малопродуктивних земель.

Це говорить про вагомість професії землевпорядника на сьогодні і закономірне зростання престижу цієї спеціальностей на ринку праці.

Основними роботодавцями землевпорядників є державні організації і приватні підприємства, муніципалітети й органи територіального управління, яким потрібні висококваліфіковані фахівці. Це обумовлює необхідність підготовки відповідних фахівців – висококваліфікованих бакалаврів, спеціалістів та магістрів за професійним спрямуванням «Геодезія, картографія та землеустрій», які здатні комплексно вирішувати завдання управління земельними ресурсами в різних галузях господарства, виконувати проектувальну, організаційну, управлінську, виконавську функції, здійснювати наукові дослідження на високому рівні.

Мета статті. Головною метою цієї статті є висвітлення основних напрямків підготовки фахівців землевпорядників у Чернігівському національному технологічному університеті, які були б конкурентоспроможними на ринку праці як в Україні, так і за її межами.

Основна частина. Землевпорядник – спеціаліст, який володіє знаннями про земельне право, земельний кадастр, землевпорядкування та управління земельними ресурсами, має відповідну освіту та належну кваліфікацію. Професія землевпорядника – одна з найдавніших на землі. Історично склалося так, що людство завжди потребувало землевпорядників, особливо на переломних етапах свого розвитку. В усі часи не зникав інтерес до походження Землі, її розміру, родючості ґрунту, вартості землі. З утворенням великих держав поставали проблеми встановлення кордонів між володіннями, меж земельних ділянок. Виникала потреба в землемірах. З розвитком суспільства, удосконаленням земельних відносин розвивалась та стверджувалась і професія землевпорядника. За часи самостійності України, з розпадом наявних форм господарювання і появою нових форм власності на землю, фахівці із земельних відносин посіли своє почесне місце.

Сьогодні роботу фахівців із землевпорядкування важко уявити без застосування сучасних технологій, спеціальних високоточних приладів.

Одним з найважливіших стратегічних завдань на сучасному етапі модернізації системи вищої освіти України є забезпечення якості підготовки фахівців на рівні міжнародних вимог. Тому навчальний процес підготовки фахівців-землевпорядників повинен здійснюватися кваліфікованими викладачами з відповідним навчально-методичним забезпеченням.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Кафедра геодезії, картографії та землеустрою, що є випусковою, інженерно-будівельного факультету ЧНТУ готує фахівців, які на сучасному рівні можуть виконувати завдання, пов'язані з організацією ефективного використання земель, їхньою охороною, контролем за дотриманням земельного законодавства; розробленням кадастрових планів, зйомкою і нівелюванням, складанням проектів міжгосподарського і внутрішньогосподарського землеустрою, веденням земельнооблікової документації, проведенням заходів із землевпорядкування, забезпеченням безпечного проведення робіт. Свої знання випускники факультету можуть успішно застосовувати в таких сферах господарювання:

- оцінювання, прогнозування, планування використання та охорони природних ресурсів;
- вивчення навколишнього природного середовища у локальних, регіональних та глобальних масштабах завдяки обробленню даних наземних зйомок, аеро- та космічних фотознімків, матеріалів спектрального аналізу, одержаних зі штучних супутників Землі;
- побудова та використання комп'ютерних систем з інвентаризації, обліку,
- проектування, створення та використання комп'ютерних систем управління розподілим господарством та інфраструктурою (системи електромереж, кабельні мережі, системи трубопровідного господарства тощо);
- створення та експлуатація комп'ютерних систем управління муніципальною інфраструктурою;
- проектування та використання автоматизованих банків даних різноманітних кадастрів;
- вирішення містобудівних та планувальних завдань, планування нових транспортних маршрутів і оптимізація перевезень, розподіл ресурсів та послуг;
- експлуатація супутникових систем навігації з використанням цифрової картографії;
- геодезія та картографія;
- військова справа.

Для якісної підготовки фахівців напряму «Геодезія, картографія та землеустрій» Чернігівський національний технологічний університет повністю забезпечений такими важливими для підготовки фахівців методичними документами, як: навчальний план, освітньо-кваліфікаційна характеристика, освітньо-професійна програма. В цих документах дотримано співвідношення навчального часу між циклами підготовки та вирішено питання безперервності, наступності та ступневості підготовки фахівців.

Згідно з освітньо-професійною програмою (ОПП) навчальний план складається з двох блоків – нормативної і вибіркової частин. Загалом навчальний план забезпечує гнучкі можливості для формування індивідуальних планів, які враховують здібності, пізнавальні інтереси, професійну спрямованість кожного студента. З метою конкретизації навчального процесу на кожний навчальний рік розробляються робочі навчальні плани, які затверджуються в установленому порядку. Програми нормативних та варіативних навчальних дисциплін і робочі програми навчальних дисциплін розроблені відповідно до нормативних вимог освітньо-професійної програми та освітньо-кваліфікаційної характеристики, схвалених Науково-методичною радою з галузі знань 0801 «Геодезія та землеустрій» Міністерства освіти і науки України. Програмами нормативних та варіативних навчальних дисциплін і робочими програмами навчальних дисциплін забезпечені 100 % навчальних дисциплін.

У Чернігівському національному технологічному університеті розроблене та запроваджене 26.02.2014 р. № 45 Положення про поточне та підсумкове оцінювання знань студентів в умовах кредитно-модульної системи, що відповідає вимогам «Положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах», затвердженого Міністерством освіти і науки України від 2 червня 1993 року № 161.

Система контролю та критерії оцінювання знань розроблені для кожної навчальної дисципліни, передбаченої навчальним планом. Система контролю знань та діяльності студентів проводиться відповідно до наказу Міністерства освіти та науки України від 02.06.93 р. № 161 (екзамени, заліки), доповнена введенням рейтингової системи та модульного контролю знань. Для організації навчального процесу в кредитно-модульній системі підготовки фахівців (наказ Міністерства освіти і науки України від 23.01.2004 р. № 48, зі змінами і доповненнями від 21.05.2014 р. № 415) у робочій програмі з кожної дисципліни відображена структура модулів дисципліни, кількість годин, що відведені на засвоєння модуля, терміни проведення модульних контролів.

Навчальний процес підготовки фахівців-землевпорядників передбачає як теоретичні, так і практичні заняття. Якісне навчання полягає у логічному поєднанні проведення лекційних, лабораторних, практичних занять, навчальної та виробничої практики, курсового та дипломного проектування. Навчальним планом та освітньо-професійною програмою підготовки фахівців цього напрямку передбачені навчальні, виробнича та переддипломна практики, яким приділяється велика увага. Закріплювати отримані знання та здобувати практичні навички студенти ЧНТУ мають змогу в процесі проходження навчальної практики на базі університету та на навчально-геодезичному полігоні спортивно-оздоровчого табору «Фортуна». Основними базами виробничої та переддипломної практик є управління Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру, комітету із земельних ресурсів у Чернігівській області, ДП «Водземпроект», ДП «Центр державного земельного кадастру», ДП «Чернігівський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою». З цими організаціями Чернігівським національним технологічним університетом укладені відповідні угоди про проведення практик, передбачених навчальним планом. Програми практики на підприємствах дають можливість апробації та поповнення отриманих знань та умінь на конкретних робочих місцях під час вирішення науково-дослідних і виробничих завдань.

Освітньо-професійною програмою та навчальним планом підготовки спеціалістів за цією спеціальністю передбачено дипломне проектування, організація якого ведеться у повній відповідності до нормативних вимог і в обсягах, передбачених навчальним планом. Дипломне проектування проводиться з використанням виробничих матеріалів обласних і районних відділів земельних ресурсів, провідних агроформувань. Значний обсяг дипломних робіт у подальшому мають практичне впровадження. До написання дипломних робіт розроблені відповідні методичні рекомендації. Захист дипломів відбувається із використанням мультимедійного проектора та комп'ютерної техніки.

Після закінчення навчання випускники, крім роботи на посадах інженерів-землевпорядників, можуть працювати спеціалістами з обслуговування інформаційних систем у районних та обласних відділах управління земельних ресурсів, у системі інститутів «Укрземпроект», підприємствах «Укрводоканалу», будівельних компаніях, архітектурних організаціях та геолого-розвідувальних експедиціях, державних органах влади всіх рівнів, БТІ, підприємствах, що здійснюють оцінювання нерухомості, тощо.

Загалом навчальний процес проходить у сучасних спеціалізованих аудиторіях та комп'ютерних класах із сучасним програмним забезпеченням, які об'єднані в єдину мережу і підключені до Інтернету. Створені та функціонують навчальні лабораторії геодезії та геодезичних приладів, фотограмметрії, автоматизації геодезичних вимірів, фізики й електротехніки, два спеціалізовані комп'ютерні класи, лабораторія ГІС-технологій. Для наочності під час навчання використовуються засоби унаочнення (натуральні об'єкти, геодезичні прилади, плакати, таблиці, схеми, макети, моделі-копії, муляжі, стенди, розрізи та перерізи, відеоролики), технічні засоби навчання (програми для презентації та демонстрації, відеофільми, діапозитиви, діафільми, електронні посібники), навчально-методична література (навчальні посібники, підручники, методичні матеріали). Навчаль-

ний процес забезпечений сучасними оптичними та електронними геодезичними приладами: теодолітами, нівелірами, тахеометрами, рулетками, GPS-приймачами, фотограмметричною станцією «Дельта», стереоприладами та іншим необхідним обладнанням. У 2005 році спільно з Головною астрономічною обсерваторією Національної академії наук України на базі факультету встановлена та введена в дію перманентна GNSS-станція «Чернігів» (CNIV), яка включена до Української та Європейської супутникових мереж.

Значна увага під час підготовки фахівців приділяється науці. У процесі навчання студенти інженерно-будівельного факультету також мають змогу долучитися до наукової роботи. Для цього в університеті традиційно проводяться науково-практичні конференції студентів та викладачів, на яких студенти старших курсів виступають з доповідями, підготовленими під керівництвом досвідчених викладачів. Крім того, кращі студенти мають змогу брати участь у роботі наукових експедицій. Щороку команди студентів беруть участь у Всеукраїнських олімпіадах із спеціальності та виборюють призові місця серед команд ВНЗ України.

Особливе місце в роботі факультету і кафедри посідає міжнародна діяльність. Для підвищення фахової підготовки студентів та з метою розширення міжнародних зв'язків налагоджені контакти і підписані договори про співпрацю з Вармінсько-Мазурським університетом (м. Ольштин, Польща), Університетом прикладних наук (м. Нойбранденбург, Німеччина), Науково-дослідним геодезичним, топографічним і картографічним інститутом (м. Прага, Чехія) та Петербурзьким державним університетом шляхів сполучення (м. Санкт-Петербург, Росія). У межах дії договорів з 2005 р. щорічно проводиться обмін студентами і викладачами під час літньої практики. Під час практики студенти знайомляться з навчальним процесом та науковою діяльністю цих навчальних закладів, вивчають сучасні геодезичні технології та прилади, а також відвідують цікаві екскурсії та беруть участь у пізнавальних програмах. У 2015 році студентка п'ятого курсу І. Козинець отримала грант польського «Еразмус» і нині проходить стажування в одному з університетів Кракова у Польщі.

З метою покращення якості підготовки фахівців підписані договори про співпрацю з Київським національним університетом будівництва і архітектури та Національним університетом «Львівська політехніка».

Загалом, усі складові навчально-виховного процесу в Чернігівському національному технологічному університеті спрямовані на дорослу людину. Тому його основним завданням є створення умов для саморозвитку, самовираження і самореалізації особистості. Як наголошено в Національній доктрині розвитку освіти України, пріоритетним напрямком в її реалізації є формування особистості, яка усвідомлює свою належність до українського народу, сучасної європейської цивілізації; виховання людини демократичного світогляду, яка поважає громадські права і свободи, традиції народів і культур світу, національний, релігійний, мовний вибір кожної людини. Виховання студента в університеті розглядається не як окремі й випадкові педагогічні впливи, а як цілісна система педагогічного супроводу його життєдіяльності. Воно реалізується як в аудиторній (виховне навчання), так і у позааудиторній (створення умов для раціональної самоорганізації студентської діяльності, культури, праці та дозвілля) роботі.

Питання виховної роботи для студентів землевпорядників вирішуються комплексно, а саме:

– виховання у процесі навчання під час лекцій, практичних занять, ділових ігор, семінарів-дискусій, конференцій. Викладачі цілеспрямовано проводять виховну роботу під час вивчення циклу дисциплін гуманітарної освіти. Під час викладання гуманітарного циклу дисциплін (історії України, філософії, історії української культури та ін.) студентам пояснюється, що у період формування ринкової економіки головна увага приділяється ролі особистості, її конституційним правам і разом з тим високій відпові-

дальності за себе, суспільство та майбутнє. Викладачі дають зрозуміти студентам, що знання права, соціології, психології, історії свого народу, його культури, екології – обов'язкове для виховання цивілізованого члена суспільства. Таким чином, у ході викладання дисциплін гуманітарного циклу професорсько-викладацький склад орієнтує студентів на досягнення загальних цінностей, які сприяють оволодінню молоддю рисами високої інтелігентності, розвивають її творчі здібності;

– гуманітаризація освіти – це засіб реалізації гуманістичної суті навчання та виховання інтелектуальності, соціокультурної, комунікативної сутності людини як суб'єкта свідомості та діяльності активного елементу розвитку суспільства. А це можливо, коли встановлюються тісні взаємозв'язки між гуманітарною, технічною та природознавчою освітою. Цього можна досягнути за допомогою впровадження у навчально-виховний процес таких компонентів, як залучення студентів до науково-дослідної діяльності, організація всієї позааудиторної роботи на засадах самоврядування студентів, їх ініціативи, творчої самодіяльності. Отже, без гуманітарної освіти неможливі справжня самореалізація та самовизначення людини, а також переростання гуманітарної підготовки від вирішення чисто функціональних проблем до досягнення молоддю повноти духовного життя. На факультеті цей напрям реалізується через залучення студентів до підготовки, проведення та участі у науково-практичних конференціях, наукових експедиціях, наукових гуртках; проведення різних тематичних заходів, наприклад, тижнів факультету, днів землевпорядника, кураторських годин тощо. Крім того, студенти неодноразово ставали ініціаторами проведення днів донора на факультеті, найактивнішими учасниками яких ставали саме студенти напряму «Геодезія, картографія та землеустрій»;

– управління навчально-виховним процесом опирається на використання багатоваріантності, гнучкості всіх його структур, спрямованості їх на розвиток сучасної особистості, здатної вирішувати питання трансформації нашого суспільства. Цьому сприяють створені в університеті такі органи самоврядування, як старостат, рада студентів, клуби КВК, редколегія. Цьому напряму на факультеті теж приділяється велика увага. Весь професорсько-викладацький склад сприяє залученню студентів до організації та проведення святкових заходів, таких як Новорічне свято, День студента, свято останнього та першого дзвоника, щорічний конкурс на кращу геодезичну бригаду «Геофортуна», Дня першокурсника тощо. Так, студенти землевпорядники неодноразово ставали переможцями у конкурсах «Студент року», «Зіркова пара» та ін.

Загалом виховна робота в Університеті ведеться за трьома напрямками: загальні виховні питання, культурно-масова та спортивна робота. Лише поєднання таких напрямків дозволяє виховувати не тільки кваліфікованого, але й духовно розвиненого і здорового спеціаліста.

Висновки. Можна з впевненістю сказати, що в ЧНТУ на інженерно-будівельному факультеті готують висококласних фахівців, які користуються попитом на ринку праці. Зокрема, наші випускники з успіхом працюють в органах державного управління, регіональних центрах державного земельного кадастру та їх підрозділах на місцях, державних підприємствах, науково-дослідному та проектному інституті землеустрою, державних геодезичних підприємствах, бізнесових структурах, органах містобудування та архітектури, органах комунального господарства, транспортних та моніторингових організаціях.

Список використаних джерел

1. *Інженерно-будівельному факультету – 5 років* / О.Терещук, В. Мовенко, С. Коваленко та ін. // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : збірник наукових праць. – Чернігів, 2009. – № 5. – С. 6–20.

2. *Ніколайчук К.* Концептуальні підходи та шляхи вдосконалення навчального процесу в системі підготовки фахівців із землевпорядкування [Електронний ресурс] / К. Ніколайчук // Нова

педагогічна думка. – 2013. – № 1.1. – С. 201. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Npd_2013_1_52.pdf.

3. *Сторінка* інженерно-будівельного факультету ЧНТУ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ibf.cn.ua/>.

4. *Терещук О. І.* Моніторинг контингенту студентів спеціальності «Землевпорядкування та кадастр» інженерно-будівельного факультету Чернігівського державного інституту економіки і управління / О. І. Терещук, З. Р. Тартачинська, С. В. Коваленко // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : збірник наукових праць. – Чернігів, 2008. – № 4. – С. 216–220.

УДК 332.3:332.7:310.147.3

О.І. Терещук, канд. техн. наук

О.Ю. Наровлянська, аспірантка

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПОБУДОВА КУСКОВО-ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ҐРУНТОВИХ ПРОБ

А.И. Терещук, канд. техн. наук

А.Ю. Наровлянская, аспирантка

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПОСТРОЕНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОЧВЕННЫХ ПРОБ

Oleksii Tereshchuk, PhD in Technical Sciences

Oleksandra Narovlianska, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

CONSTRUCTION OF PIECEWISE LINEAR MODEL FOR SOIL SAMPLES

Розглянуто один із методів оцінювання якості ґрунтових проб – метод кусково-лінійної моделі. Проаналізовано алгоритм використання цього методу та приклад щодо його практичного використання. Застосовано метод моделювання з метою отримання неперервного розподілу значень досліджуваного показника по всій площині досліджуваної території.

Ключові слова: кусково-лінійна модель, метод найменших квадратів, двофакторна модель, ґрунтові проби, локальне моделювання.

Рассмотрен один из методов оценки качества почвенных проб – метод кусочно-линейной модели. Проанализирован алгоритм использования данного метода и пример его практического применения. Использован метод моделирования с целью получения непрерывного распределения значений исследуемого показателя по всей плоскости исследуемой территории.

Ключевые слова: кусочно-линейная модель, метод наименьших квадратов, двухфакторная модель, почвенные пробы, локальное моделирование.

This article discusses one of the method of assessing the quality of soil samples - the method of piecewise linear model. Analyze the algorithm using this method, and an example for its practical use. The method of modeling to obtain a continuous distribution of values of the studied parameters across the plane of the study area.

Key words: piecewise linear model, least squares, two-factor model, soil sample local modeling.

Постановка проблеми. Твердження про те, що екологічна проблематика набуває все більшої актуальності вже давно не потребує спеціальної аргументації. Якість управлінських, економічних і соціальних рішень все більшою і більшою мірою залежить від повноти обліку екологічних аспектів проблем, що вирішуються. Стратегія прийняття екологічно вивірених рішень повинна спиратися на інформацію про трансформації і взаємовпливи фізичних, хімічних і біологічних процесів у навколишньому середовищі, що надається різноманітними теоретичними дослідженнями, моніторинговими спостереженнями і чисельними експериментами. Така ситуація пояснює необхідність і зростаючий інтерес до постановки все більш складних завдань, пов'язаних з аналізом просторових даних за станом навколишнього середовища і його впливу на здоров'я та добробут людини. Характерними особливостями завдань, що виникають, є: багатогранність і складність досліджуваних явищ, що призводять до необхідності оброблення великих обсягів даних; просторова й тимчасова розподіленість спостережень;

необхідність використання алгоритмів відповідної складності, яка обумовить неминучу появу ресурсномістких обчислювальних технологій. Обчислювальна техніка на сьогодні дозволяє практично вирішувати складні завдання оброблення інформації.

Отже, критичний стан навколишнього середовища, з одного боку, і високопродуктивні комп'ютери, з іншого боку, є достатньою передумовою розроблення методу кусково-лінійної моделі для дослідження результатів проб.

Зростаючий інтерес до комплексного і системного аналізу екологічної проблематики призводить до підвищення значущості досліджень, спрямованих на виявлення та кількісне оцінювання взаємозалежності процесів, що відбуваються у ґрунті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Багатьма науковцями запропоновано кілька методичних підходів до оцінювання стану ґрунтів через коефіцієнти, але всі вони залежать від повноти аналітичного матеріалу, який характеризує ступінь геохімічної вивченості тієї чи іншої території. Чим більше аналізів ґрунтів, тим точніше можна оцінити стан ґрунту.

Так, В.А. Гроза у статті «Багатофакторний аналіз токсичності ґрунту на територіях поблизу аеропорту» виявив, що двофакторні моделі з урахуванням фактора вмісту нафтопродуктів та відстані від злітної смуги цілком прийнятні для досліджень впливу авіатransпортних процесів на стан ґрунтів [1].

О.В. Пендерецький у роботі «Територіальна організація промислового туризму Карпатського суспільно-географічного району та основні напрямки її вдосконалення» проаналізував можливості різних нейромереж як апроксиматорів залежностей типу. За основу аналізу взяв точність відтворення нейромережею функціональних залежностей. Провів аналіз нейромереж із врахуванням неприйняття нейромережі, тобто мережа навчалась на заданих вузлах апроксимації; потім обчислювались значення функції у вузлах, які не збігаються з навчальними вузлами. У результаті такого аналізу виявив, що найкращою є узагальнена регресійна нейромережа, яка належить до класу радіальних нейромереж [2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Вирішення екологічних проблем на сьогодні є пріоритетним для забезпечення сталого розвитку сільськогосподарських угідь. Сучасні масштаби ландшафтних та екологічних змін природного середовища в с.-г. районах пов'язані з розораністю, виснаженням родючих ґрунтів, неконтрольованим сільськогосподарським тиском на ґрунтовий покрив.

Перспективний розвиток земель сільськогосподарського призначення передбачає збереження родючості ґрунтів, максимально можливе запобігання втрат і виснаження сільськогосподарських земель. Тому необхідно вдосконалювати природоохоронні принципи управління земельними ресурсами, методичні основи інформаційної підтримки прийняття рішень з екологічної безпеки.

Актуальність такого завдання визначається необхідністю об'єктивного оцінювання та оперативної інвентаризації забруднених ґрунтів земель сільськогосподарського призначення в єдиній системі моніторингу для управління геоекологічною ситуацією на різному рівні.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розгляд одного з методів оцінювання якості ґрунтових проб – метод кусково-лінійної моделі. Аналіз алгоритму використання цього методу та прикладу щодо його практичного використання. Застосування методу моделювання з метою отримання неперервного розподілу значень досліджуваного показника по усій площині досліджуваної території.

Виклад основного матеріалу. Основною перевагою методу кусково-лінійної моделі є мінімізація кількості ґрунтових проб, змога змоделювати динаміку змін одного або декількох показників залежно від заданого параметра – часу, місця розташування.

Розглянемо поетапну реалізацію виконання поставленого завдання.

На першому етапі розмічуємо територію на ділянки довільної площі та беремо проби.

За результатами отриманих проб будуємо лінійну двофакторну модель за методом найменших квадратів (МНК), з перевіркою на адекватність та загальну лінійну модель для всієї території, після чого обчислюємо теоретичні значення результативного показника. Обчислюємо квадрат відхилення результативного показника від емпіричного для кожної ділянки за формулою $u_i^2 = (y_{ij} - y_{x_{ij}})^2$, де $y_{ij}, y_{x_{ij}}$ – теоретичні та емпіричні значення результативного показника відповідно [3; 4].

На другому етапі здійснюємо укрупнений поділ території на частини (для кожної частини розраховуємо суму квадратів відхилень результативного показника від емпіричного). Вибираємо частину території з найбільшою сумою та будуємо для обраної частини окрему (локальну) лінійну модель або більш складну модель за методом МНК (наприклад: квадратичну двофакторну модель). Після проведення цих дій, порівнюємо якість початкової та кінцевої моделей та робимо висновки.

Розглянемо використання методу кусково-лінійної моделі на практиці.

Нехай досліджувана прямокутна територія розмічена на ділянки однакової площі; всього маємо m рядків по n ділянок у кожному. Зауважимо, що територія може мати довільну форму (рис.), алгоритм методу при цьому не зміниться; відмінність полягати-ме лише в тому, що рядки матимуть різні довжини.

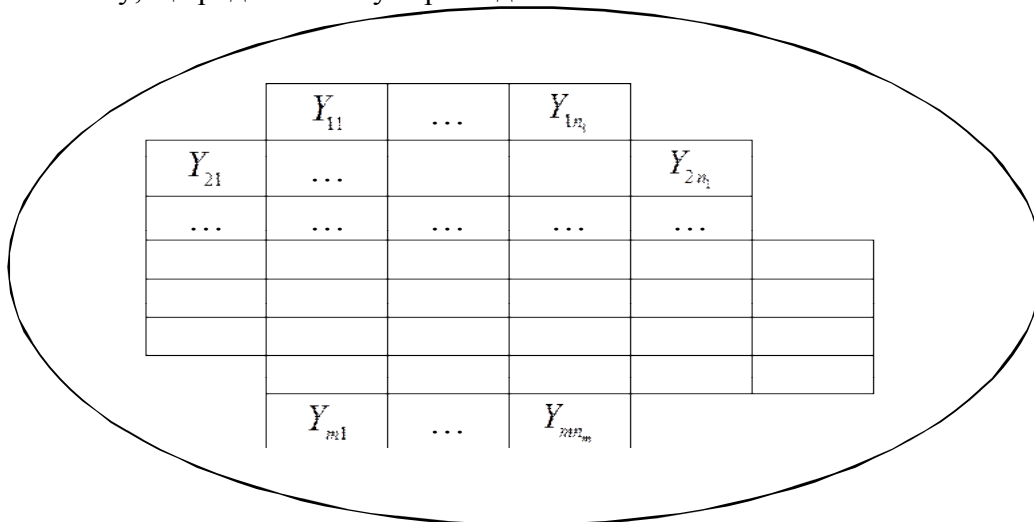


Рис. Поділ території на ділянки

Нехай x_{1i} та x_{2j} – порядкові номери рядка та стовпчика ділянки, y_{ij} – емпіричне значення досліджуваного показника (результат взяття проби) на відповідній ділянці ($i = \overline{1; n}$ та $j = \overline{1; m}$). У нашому прикладі територія розмічена на $n = 25$ стовпчиків та $m = 25$ рядків, що становить 625 ділянок.

За методом найменших квадратів будуємо лінійну двофакторну модель:

$$y_x = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2.$$

Параметри моделі знаходимо із системи нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_{1i} + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_{2i} = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_{1i} + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot x_{1i} + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot x_{2i} = \sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot y_i, \\ a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_{2i} + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_{2i} \cdot x_{1i} + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_{2i} \cdot x_{2i} = \sum_{i=1}^n x_{2i} \cdot y_i. \end{cases}$$

Обчислюємо коефіцієнти системи нормальних рівнянь:

$$n = 625; \quad \sum_{i=1}^n x_{1i} = 8125; \quad \sum_{i=1}^n x_{2i} = 8125; \quad \sum_{i=1}^n y_i = 28429,6137;$$

$$\sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot x_{1i} = 138125; \quad \sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot x_{2i} = 105625; \quad \sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot y_i = 433458,7737;$$

$$\sum_{i=1}^n x_{2i} \cdot x_{2i} = 138125; \quad \sum_{i=1}^n x_{2i} \cdot y_i = 433471,3999.$$

Після підстановки числових значень коефіцієнтів отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} 625 a_0 + 8125 a_1 + 8125 a_2 = 28429,6137, \\ 8125 a_0 + 138125 a_1 + 105625 a_2 = 433458,7737, \\ 8125 a_0 + 105625 a_1 + 138125 a_2 = 433471,3999. \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему лінійних рівнянь, отримаємо параметри лінійної моделі:

$$a_0 = -5,6167046;$$

$$a_1 = 1,9653475;$$

$$a_2 = 1,9657360.$$

Лінійна двофакторна модель:

$$y_x = -5,6167046 + 1,9653475 \cdot x_1 + 1,9657360 \cdot x_2.$$

Перевіримо побудовану модель на адекватність за допомогою F-критерію Фішера. Фактичне значення критерію:

$$F_{\text{експ}} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m} = \frac{0,99658}{1-0,99658} \cdot \frac{625-3-1}{3} = 60614,4.$$

Тут $R^2 = 0,99658$ – коефіцієнт детермінації.

Таке значення критерію $m = 3$ та $n - m - 1 = 621$ ступенях свободи відповідає довірчій імовірності $\gamma = 0,9999999$. Модель є адекватною саме з такою імовірністю.

Розрахуємо теоретичні значення результативного показника y_{xij} та квадрати відхилень $u_{ij}^2 = (y_{ij} - y_{xij})^2$.

Розмічуємо всю територію на 25 частин, кожна з якої має 25 ділянок. Обчислюємо суму квадратів відхилень для кожної частини (табл. 1). Як видно з цієї таблиці, ліва верхня частина має найбільшу суму квадратів відхилень, рівну 105,6. Отже, для цієї частини будуюмо лінійну двофакторну модель за емпіричними даними.

Таблиця 1

Сума квадратів відхилень для кожної частини

н п/п		X2 – номер стовпчика				
		1	2	3	4	5
Х1 – номер рядка	1	2,0706	3,6758	5,2167	6,4177	8,2271
	2	3,4371	5,0895	6,3066	7,8437	9,6913
	3	4,9433	6,3029	7,7995	9,3907	11,0542
	4	6,5463	7,7194	9,4717	11,0089	12,3121
	5	8,2238	9,6525	10,7020	12,6707	14,0114

Маємо систему нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} 25a_0 + 75a_1 + 75a_2 = 199,7855, \\ 75a_0 + 275a_1 + 225a_2 = 674,3984, \\ 75a_0 + 225a_1 + 275a_2 = 673,3516. \end{cases}$$

Розв'язуємо цю систему та отримуємо лінійну двофакторну модель для обраної частини території:

$$y_x = -0,9508106 + 1,5008397 \cdot x_1 + 1,4799035 \cdot x_2.$$

За допомогою цієї моделі розраховуємо суму квадратів залишків для обраної частини (табл. 2).

Таблиця 2

Квадрати залишків за новою моделлю

н п/п		X2 – номер стовпчика				
		1	2	3	4	5
X1 – номер рядка	1	0,001650588	0,021032	0,034241	0,013159	0,037578
	2	0,005289882	0,006209	0,04199	0,02844	0,031739
	3	0,002161082	0,035232	0,036821	0,01031	0,00373
	4	0,005879077	0,063053	1,4E-07	0,001346	0,025879
	5	0,075210757	0,040857	0,062105	0,047799	0,00342

Сума квадратів залишків становить 0,631533. Сума квадратів залишків зменшилась у $105,6/0,631533 = 167,2$ рази. При цьому достовірність моделі на цій ділянці зросла у $\sqrt{167,2} = 12,9$ рази.

Застосування цього методу для побудови кусково-лінійної моделі на всій досліджуваній території дасть змогу використати локальне моделювання для кожної з 25 частин території та розробити методи оцінювання збільшення рівня значущості для такої кусково-лінійної моделі у порівнянні з загальною лінійною моделлю [5].

Висновки та пропозиції. Запропоновано розроблення моделі процесу дослідження результативного показника завдяки побудові кусково-лінійної моделі. Використання цього методу дає змогу побудувати локальну модель для всіх частин та об'єднати їх у загальну кусково-лінійну модель.

У результаті рівень достовірності моделі значно зріс як для кожної окремої частини, так і для всієї досліджуваної території.

Список використаних джерел

1. Франчук Г. М. Багатофакторний аналіз токсичності ґрунту на територіях поблизу аеропорту / Г. М. Франчук, В. А. Гроза, С. М. Маджд // Вісник Національного авіаційного університету. – 2012. – Т. 50, № 1. – С. 196–201.
2. Пендерецький О. В. Екологія Галицького району : монографія / О. В. Пендерецький. – Івано-Франківськ : Нова зоря, 2004. – 198 с.
3. Zienkiewicz O. C., Taylor, R. L. The Finite Element Method. Vol. 1: The Basis. Butterworth-Heinemann. – Oxford, 2002. – 707 p.
4. Гэри М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Д. Джонсон. – М. : Мир, 1982. – 416 с.
5. Спири́н Н. А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / Н. А. Спири́н, В. В. Лавров. – Екатеринбург, 2004. – 257 с.
6. Наконечний С. І. Економетрія : навчальний посібник / С. І. Наконечний, Т. О. Терещенко, Т. П. Романюк. – К. : КНЕУ, 2007. – 352 с.

УДК 528.72/73

В.І. Мовенко, ст. викладач**П.П. Новик**, ст. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ПРИБЕРЕЖНИХ ЗАХИСНИХ СМУГ РІЧОК УКРАЇНИ**В.И. Мовенко**, ст. преподаватель**П.П. Новик**, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИБРЕЖНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОЛОС РЕК
УКРАИНЫ****Viktor Movenko**, senior teacher**Petro Novyk**, senior teacher

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

SOME ISSUES OF OF-SHORE DEFENCE RIVER ZONES OF UKRAINE

Розглянуто деякі проблеми встановлення розмірів прибережних захисних смуг річок, які виникають внаслідок розташування в заплавах великих рік – середніх та малих річок, озер та стариць, а також забудови прибережних районів річок. Пропонується внести зміни до Земельного та Водного кодексів України, які повинні врахувати розглянуті проблеми.

Ключові слова: прибережні захисні смуги, водні об'єкти, уріз води, річки, ставки, водосховища.

Рассмотрены некоторые проблемы установки размеров прибрежных защитных полос рек, которые возникают вследствие расположения в поймах больших рек – средних и малых рек, озер и стариц, а также застройки прибрежных районов рек. Предлагается внести изменения в Земельный и Водный кодексы Украины, которые должны учесть рассмотренные проблемы.

Ключевые слова: прибрежные защитные полосы, водные объекты, урез воды, реки, пруды, водохранилища.

The article examines some problems of setting size of coastal protective belts of the rivers, which arise up because of location in floodplains of the large, rivers – middle and small rivers, lakes and old river-beds, and also building, of coastal districts of the rivers. It is suggested to make changes in the Land and Water codes of Ukraine that must take into account the considered problems.

Key words: coastal protection belts, water objects, water edge, rivers, ponds, reservoirs.

Постановка проблеми. Згідно з Положеннями Водного кодексу України водні ресурси забезпечують існування людей, тваринного і рослинного світу [1]. Ці ресурси зазвичай для всіх країн є обмеженими, тим більше, що вони надзвичайно уразливі і потребують постійного моніторингу. Формування нових чинників руслових процесів, пов'язаних з господарською діяльністю на водозборах (розорювання територій, зведення лісів) річок, і механічне втручання у русла річок (розробка руслових і заплавних кар'єрів та спрямлення русел) спричиняє непередбачувані негативні екологічні наслідки (посилення руйнування берегів, застійні явища, просадка рівнів води та ін.).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Слід зазначити, що останнім часом на території Чернігівської області постійно проводяться роботи, пов'язані з проектуванням та будівництвом берегоукріплення рік Десна та Дніпро на найбільш небезпечних ділянках, що знаходяться під постійним контролем та висвітлюються у відповідних фахових виданнях. Так у роботах [2; 3] розглянуто результати спостережень руйнування берегової лінії лівого берега ріки Десна в районі Бобровиця міста Чернігова. В подальшому у 2008–2009 рр. було виконане будівництво берегоукріплення цієї небезпечної ділянки. Моніторинг лівого берега ріки Дніпро біля смт Любеч Ріпкинського району Чернігівської області аналізується у роботі [4]. Досвід експлуатації побудованої 1-ї черги берегоукріплення об'єкта «Любеч» та результати будівництва 2-ї черги цього об'єкта описані у праці [5]. У роботі [6] розглянуто гідрологічний режим та екологічний стан р. Десна в межах Чернігівської області.

Невирішені частини загальної проблеми. Нині питання збереження питної води стоїть в Україні дуже гостро. Тому збереження екологічної цілісності рік є однією з ос-

новних проблем, які ставляться перед відповідними фахівцями. В умовах розвитку суспільного виробництва, зростання матеріальних потреб, нарощування антропогенних навантажень на природне середовище виникає необхідність не тільки розроблення а перш за все додержання особливих правил користування водними ресурсами, раціонального їх використання та екологічного захисту. Слід зазначити, що деякі неточності законодавчих актів, а також втрата актуальності нормативних документів заважають вирішенню вищенаведених питань.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні великі річки України найчастіше використовуються як джерело питної води для великих населених пунктів і тому потребують додаткової уваги. Особливо треба звернути увагу на охорону поверхневих вод заплавлених великих річок від забруднення і засмічення. Згідно з положеннями Земельного та Водного кодексів України [7; 1] встановлюються прибережні захисні смуги (ПЗС) вздовж обох берегів річок та навколо водойм уздовж урізу води у меженний період: для великих річок, водосховищ на них та озер – 100 м. Якщо крутизна схилів становить понад три градуси, мінімальна ширина прибережної захисної смуги подвоюється. Положення щодо встановлення ПЗС, наведені у Земельному та Водному кодексах України, не вирішують питання захисту водних об'єктів у багатьох випадках і стають предметами судових спорів.

Здебільшого великі річки, крім основного русла, мають протоки, затоки і стариці. До того ж у великі річки впадають, як правило, середні та малі річки, і їх русла часто знаходяться на деякій відстані паралельно руслу великої річки в тій самій заплаві. Тому, якщо для вказаних водних об'єктів встановити величину ПЗС, як для малих і середніх річок, можливе нанесення екологічної шкоди водам великих річок. Так, на рис. наведено приклад встановлення ПЗС для річки Старик. Згідно з діючими нормами – це мала річка і ПЗС для неї треба встановлювати завширшки 25 м. На берегах цієї річки на відстані близько 2 км від впадіння її в р. Дніпро побудовані тимчасові будівлі, якими користуються відпочивальники, рибалки та мисливці і де можливе забруднення річки Старик. У цьому ж створі р. Дніпро має встановлені ПЗС завширшки 100 м, а забруднення, яке виникне на річці Старик, або ж у створі на р. Дніпро через однаковий проміжок часу буде в р. Дніпро в місці впадіння р. Старик. А це значить, що згідно з чинними Земельним та Водним кодексами України велика річка не завжди повністю захищена від забруднення та засмічення, яке приносять впалі малі річки, струмки, потічки. У зв'язку з вищенаведеним ми пропонуємо викласти положення про встановлення ПЗС у Земельному та Водному кодексах України у такій редакції: для великих річок, водосховищ на них, озер, а також всіх водних об'єктів, що знаходяться в заплаві зоні великих річок встановити ПЗС – 100 м.

Виникає також необхідність більш детально розглянути поняття урізу води в меженний період, від лінії якого вимірюється ширина ПЗС по обидва береги річок та навколо водойм, ставків, водосховищ і озер. По-перше, основний загальний експертів обласних землепорядних організацій, які проводять експертизу документації щодо встановлення ПЗС водних об'єктів, вважають, що уріз води в меженний період – це мінімальний уріз води в літній період кожного року. Насправді, це середньозважений мінімальний уріз води із багаторічних спостережень засушливих років. У зв'язку з такою неоднозначністю величину урізу води під час проектування ПЗС водних об'єктів повинні визначати або узгоджувати обласне управління водних ресурсів або басейнове управління річок відповідного регіону. При цьому для пересихаючих річок, струмків, потічків за мінімальний уріз води із багаторічних спостережень засушливих років можна приймати висоту дна цих водотоків і від неї проектувати ширину ПЗС водних об'єктів.

Для зарегульованих водойм (ставків, водосховищ) під час проектування ПЗС водних об'єктів за вихідну позначку (висоту) необхідно брати позначку НІР (нормально підпертого рівня) водних об'єктів, або позначку порога водорегулюючої споруди.

Для всіх водойм, водотоків, озер, які знаходяться в заплаві річок, за уріз води при проектуванні розмірів ПЗС водних об'єктів необхідно приймати межений рівень річки, в заплаві якої знаходиться водний об'єкт.

Найбільш неоднозначно сприймаються пункти у Земельному та Водному кодексах України щодо розмірів ПЗС, які відносяться до встановлення їх у межах наявних населених пунктів: «У межах існуючих населених пунктів прибережна захисна смуга встановлюється з урахуванням конкретних умов, що склалися».

По-друге, у прибережних захисних смугах уздовж річок, навколо водойм та на островах забороняється:

1. Розорювання земель (крім підготовки ґрунту для залуження і заліснення), а також садівництво та городництво.
2. Зберігання та застосування пестицидів і добрив.
3. Влаштування літніх таборів для худоби.
4. Будівництво будь-яких споруд (крім гідротехнічних, гідрометричних та лінійних), у тому числі баз відпочинку, дач, гаражів та стоянок автомобілів.
5. Миття й обслуговування транспортних засобів та техніки.
6. Влаштування звалищ сміття, гноєсховищ, накопичувачів рідких і твердих відходів виробництва, кладовищ, скотомогильників, полів фільтрації тощо.

Об'єкти, що знаходяться в межах ПЗС, можуть експлуатуватись, якщо при цьому не порушується її режим. Непридатні для експлуатації споруди, а також ті, що не відповідають встановленим режимам господарювання, підлягають винесенню з ПЗС. Положення щодо встановлення прибережних захисних служб повинні трактуватись однозначно, не викликати сумнівів і тільки тоді вони будуть сприйматися всіма особами, які володіють земельними ділянками або межують з ними. На рис. наведена схема трьох варіантів встановлення розмірів ПЗС вздовж берегів р. Остер на території Чернігівської області.

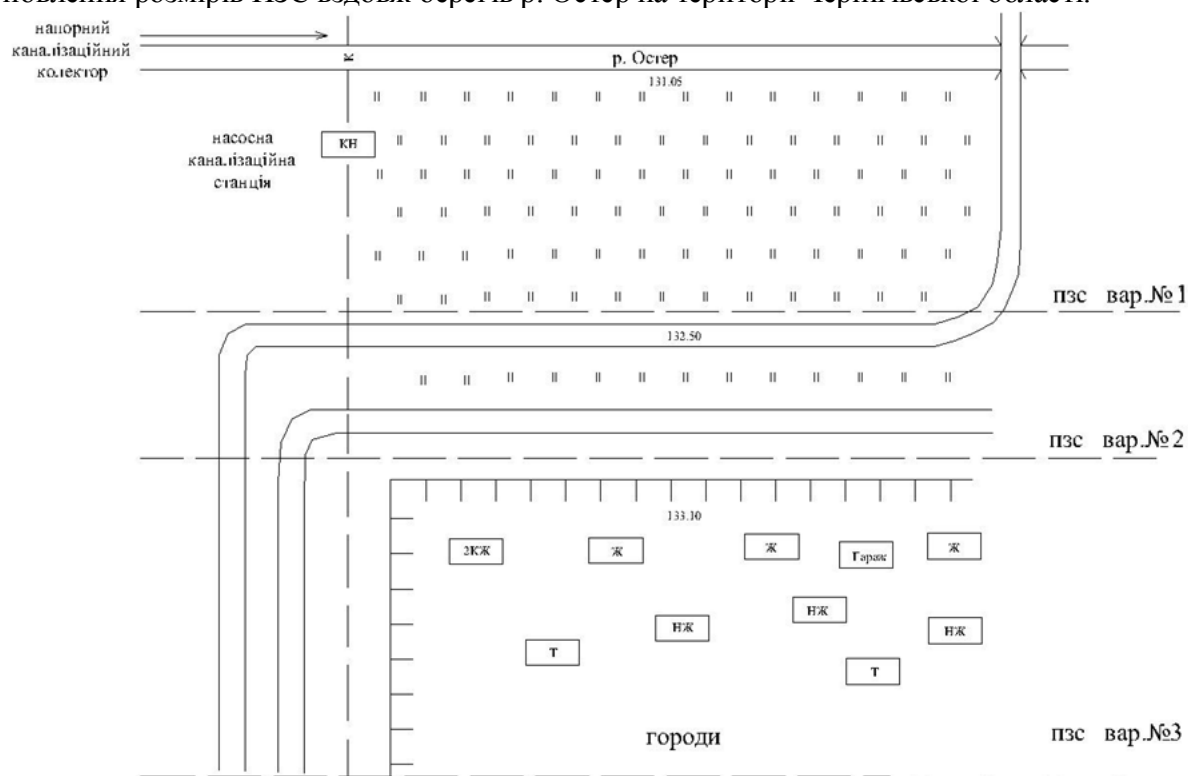


Рис. Схема встановлення розмірів ПЗС на р. Остер

Перший варіант встановлення ПЗС: вздовж асфальтованої дороги у насапу, що дозволить захистити води р. Остер від негативного впливу забудованої території.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Другий варіант встановлення ПЗС: з урахуванням конкретних умов забудови, що склалася у процесі забудови населеного пункту.

Третій варіант встановлення ПЗС: згідно з положеннями Земельного та Водного кодексів України вздовж обох берегів р. Остер завширшки 50 м (для середніх річок).

Наведені варіанти встановлення ПЗС були запропоновані різними фахівцями, які спеціалізуються на таких роботах. Подібні ситуації неоднозначності встановлення ПЗС виникають практично всюди в межах населених пунктів, садових та дачних ділянках.

Висновки і пропозиції. Враховуючи розглянуті приклади встановлення розмірів ПЗС вздовж великих та середніх річок, на нашу думку, потрібно внести зміни до Земельного та Воу ході встановлення ПЗС у межах населених пунктів, а також вплив дамб, доріг у насипу на ширину ПЗС. Доцільно навести в цих документах еталонні зразки встановлення розмірів ПЗС у населених пунктах. Крім того, зважаючи на небезпеку забруднення вод великих річок, встановити ширину ПЗС для всіх водних об'єктів, що знаходяться у заплавної зоні великих річок, у розмірі 100 м.

Список використаних джерел

1. *Водний кодекс України від 6 червня 1995 року № 213/95-ВР.*
2. *Терещук О. І.* Інженерно-геологічний моніторинг переформування берегів річок Чернігівського регіону / *О. І. Терещук, В. І. Мовенко* // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів, 2007. – Вип. 3. – С. 118–124.
3. *Розроблення технології оцінки стану берегової лінії русел середніх і великих рік України* / *В. Глотов, В. Чижевський, О. Терещук, В. Мовенко* // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – Вип. 1. – С. 180–184.
4. *Мовенко В.* Моніторинг лівого берега Дніпра біля смт Любеч Ріпкинського району Чернігівської області / *В. Мовенко* // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів, 2009. – Вип. 5. – С. 98–105.
5. *Мовенко В. І.* Моніторинг берегоукріплення лівого берега Дніпра біля смт Любеч Ріпкинського району Чернігівської області / *В. І. Мовенко* // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів, 2011. – Вип. 7. – С. 116–120.
6. *Терещук О. І.* Гідрологічний режим та екологічний стан р. Десна в межах Чернігівської області / *О. І. Терещук, В. І. Мовенко* // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів, 2014. – Вип. 10. – С. 62–71.
7. *Земельний кодекс України від 25.10.2001 р. № 2768-III* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.rada.gov.ua.

УДК 349.414

І.І. Сидоренко, ст. викладач

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ДЕРЖАВНИЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАЦІОНАЛЬНИМ ВИКОРИСТАННЯМ
ТА ОХОРОНОЮ ЗЕМЕЛЬ****И.И. Сидоренко**, ст. преподаватель

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАЦИОНАЛЬНЫМ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ И ОХРАНОЙ ЗЕМЕЛЬ****Iryna Sydorenko**, senior teacher

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

STATE CONTROL OVER RATIONAL USE AND PROTECTION OF LAND

Розглянуто сутність державного контролю за раціональним використанням та охороною земель. Обґрунтовано сутність діяльності органів державної влади та органів місцевого самоврядування. Проаналізовано функції, форми та методи управління державного контролю, які є найважливішими у цій сфері. Основним завданням державного контролю за раціональним використанням та охороною земель є забезпечення збереження і відтворення земельних ресурсів, екологічної цінності природних і набутих властивостей земель.

Ключові слова: державний контроль, раціональне використання, охорона земель, влада.

Рассмотрены сущность государственного контроля за рациональным использованием и охраной земель. Обосновано сущность деятельности органов государственной власти и органов местного самоуправления. Проанализированы функции, формы и методы управления подержанного контроля, которые являются важнейшими в данной сфере. Основной задачей государственного контроля за рациональным использованием и охраной земель является обеспечение сохранения и воспроизводства земельных ресурсов, экологической ценности природных и приобретенных качеств земель.

Ключевые слова: государственный контроль, рациональное использование, охрана земель, власть.

The essence of state control over rational use and protection of land. The essence of activities of state and local governments. The analysis functions, forms and methods of management of state controls that are essential in this area. The main task of state control over rational land use and protection is to ensure the preservation and reproduction of land resources, ecological value of natural and acquired qualities of lands.

Key words: state control, rational use, land protection, authority.

Постановка проблеми. Проведення конституційної реформи вивело проблему інституційних перетворень органів влади в Україні на якісно новий рівень. У контексті формування національної економіки це особливо відчувається у сфері земельних відносин. Однак здійснені земельні перетворення все ще не вирішили багатьох завдань: забезпечення раціонального використання земельних ресурсів, охорони земель від їх деградації, налагодження дієвої системи державного управління земельними ресурсами. Це дало імпульс для подальших наукових розробок цієї теми, особливо в частині організації та здійснення контролю за державним управлінням земельними ресурсами.

Державний контроль ґрунтується на чітких конституційних засадах, функціонує на основі встановлених норм права і завжди тягне за собою певні юридичні наслідки. Поняття сучасного державного контролю за використанням та охороною земель сформоване у зв'язку з переходом умов господарювання в нашій країні на ринкові засади, реалізацією визначених Конституцією України норм щодо права та розпорядження земельними ресурсами, комплексним реформуванням галузі земельних відносин і є складовою частиною в цілому функцій державного управління у галузі земельних відносин, якого як явища взагалі не існувало у попередніх системах державотворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цілком очевидно, що зміна характеру земельних відносин має вплинути і на зміну характеру державного управління земельними ресурсами, зокрема стосовно реалізації функції контролю їх використання. Вчені-економісти П. Саблук, В. Сайко, А. Юрченко у своїх працях підкреслюють, що в умовах ринкової економіки відбувається обіг земельного капіталу, а це означає, що держава має не лише забезпечити формування нормативно-правових та організаційних умов

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

для здійснення трансакцій із землею, а й контролювати їх дотримання. Переважна більшість українських науковців, предметом дослідження яких є процес формування земельних відносин, ефективність використання земельних ресурсів та державне управління в земельній сфері, схилиються до думки про відсутність в Україні умов для реалізації громадянами права власності на землю, яка б забезпечувала високий рівень ефективності землеробства [5].

Багато вчених підкреслюють, що на сучасному етапі розвитку земельних відносин в аграрній сфері виникає потреба вдосконалення інформаційного забезпечення з метою ефективного управління землями сільськогосподарського призначення. Дослідження характеристик та особливостей використання земель сільськогосподарського призначення й розуміння принципів їх використання допоможе забезпечити виконання ефективних заходів, спрямованих на охорону цих земель. Проблеми інформаційного забезпечення державного управління земельними ресурсами вивчало багато вітчизняних та зарубіжних науковців, а саме: Р. Аблер, Д.І. Бабміндра, В.О. Боровий, А.О. Варламов, О.С. Дорош, В.А. Ільяшенко, С.А. Кальченко, Ю.О. Карпінський, Г. Ларсон, Т.М. Лозинська, А.В. Мерзляк, А.М. Третяк, О.І. А. Хопфер та ін. Заходи щодо створення земельно-інформаційного середовища з метою підвищення ефективності державного управління земельними ресурсами, використання й охорони земель набувають особливої актуальності в умовах земельних перетворень і запровадження напрямів земельної реформи.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Державне регулювання земельних відносин на сучасному етапі державотворення в Україні можна розглядати як один із вирішальних чинників розвитку національної економіки.

Разом з тим процесуальна складова правового регулювання здійснення державного контролю за використанням та охороною земель залишається недостатньо дослідженою і відповідно недостатньо закріпленою в чинних правових нормах.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розвиток теоретичних та організаційно-правових аспектів контролю у сфері земельних відносин, а також «відновлення», «формування» і «спрямування» суспільних процесів відповідно до легітимних критеріїв щодо ефективності державного управління, зокрема здійснення державної влади. А це означає, що метою контролю є вирішення питань як щодо «ефективності», так і щодо «законності» діянь суб'єктів суспільних відносин. Ця мета досягається через вираження змісту державного контролю, який щодо діянь відповідних суб'єктів включає планування, спостереження, аналіз, перевірку, розслідування, прийняття відповідних рішень і їх реалізацію.

Виклад основного матеріалу. Державний контроль за використанням та охороною земель – сукупність здійснюваних органами державної влади організаційно-правових заходів, спрямованих на спонукання суб'єктів земельного права, учасників земельних правовідносин до виконання правил і дотримання норм земельного законодавства та попередження земельних правопорушень, що має на меті забезпечити науково обгрунтоване, раціональне й ефективне використання та охорону земель.

Державне управління є способом організації діяльності державних органів з метою забезпечення виконання правових норм і впорядкування суспільних відносин у тій чи іншій сфері. Воно характеризується наявністю суб'єктів, об'єктів управління, а також управлінських функцій [2].

Методи земельного контролю – це засоби виявлення порушень земельного законодавства за використанням та охороною земель і засоби цілеспрямованого впливу відповідних органів на стан законності в галузі охорони земельних ресурсів (методи переконання й примусу).

Методи, які використовують органи земельного контролю за використанням та охороною земель у своїй практичній діяльності, різноманітні і можуть змінюватися залежно від конкретних завдань і повноважень контролюючих органів, методів усунення виявлених порушень, засобів впливу на порушників тощо, а саме: перевірка, спостереження, обстеження, інвентаризація, інспектування, нагляд.

У наукових колах існують різні погляди щодо сутності таких понять, як контроль, нагляд і їх співвідношення. Це питання досить дискусійне і серед представників науки адміністративного права, оскільки серед учених-адміністративістів немає єдиного погляду стосовно функцій органів державної виконавчої влади, їх кількості, характеристики. Водночас, традиційним елементом будь-якої класифікації функцій таких органів є функція контролю.

Контроль і нагляд – терміни, які часто вживаються для характеристики того самого виду діяльності не тільки в науковій літературі, але і в нормативних актах про правовий статус державних органів, які здійснюють діяльність, пов'язану з перевітками. У правовій літературі зазначається, що у разі необхідності вживання однозначної термінології в законодавстві не слід ігнорувати ті нюанси, які необхідні для практики державного управління. Тому не потрібно замість кількох термінів «нагляд», «інспектування», «перевірка виконання» вживати лише єдиний термін «контроль» у тому широкому значенні, в якому він застосовується в теорії управління [3].

З такою позицією важко не погодитись. Водночас заслуговує на увагу і погляд про те, що не слід створювати між цими поняттями штучний розділ, забуваючи, що контроль і нагляд – однорідні види діяльності.

Спостереження – форма отримання необхідної інформації про стан земельного фонду, про доцільність його використання й охорони. Спостерігати – значить тримати об'єкт постійно в полі зору. Тому спостереження характерно, насамперед, для контролюї діяльності землевпорядної служби, що спеціально уповноважена здійснювати земельний контроль. Для обстеження характерно більш глибоке проникнення у сферу земельних відносин. Звичайно, воно проводиться у зв'язку з фактами порушення земельного законодавства і має на меті не тільки виявити ці порушення, але і розробити заходи для їхнього усунення. До обстеження в необхідних випадках залучаються відповідні спеціалісти сільського господарства й інші.

Одним із головних методів земельного контролю є перевітка, яка покликана забезпечити дотримання всіма землекористувачами вимог земельного законодавства про науково обгрунтоване, раціональне й ефективне використання землі. Існують різноманітні види й способи перевіток. Їх характер залежить від конкретних умов підконтрольного об'єкта і мети, яку ставить перед собою той або інший контрольний орган у кожному конкретному випадку. З цієї позиції розрізняються: планові й позапланові, комплексні і цільові, загальні, вибіркові та інші види перевіток.

Інспектування як форма земельного контролю являє собою перевірку доцільності дій суб'єктів земельних відносин у порядку нагляду й інструктування. Інспектування від інших форм контролю відрізняється, насамперед, тим, що вона спрямована на перевірку діяльності підконтрольних органів та осіб. Для інспектування характерно також те, що воно проводиться посадовими особами спеціально уповноважених на те державних органів. Об'єктами інспекторських перевіток можуть бути самі найрізноманітніші види діяльності у сфері земельних відносин: ведення земельно-облікових документів, ефективність боротьби із земельними правопорушеннями, виконання заходів щодо раціонального використання й охорони земель, а також діяльність посадових осіб нижчих контролюючих органів. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» не вживає термін «інспектування». Проте досить часто перевірки,

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

проведені інспекторами щодо використання й охорони земель, за змістом і формою носять характер інспектування.

Нагляд як форма контролю являє собою спостереження за чим(ким)-небудь. На відміну від звичайного спостереження, нагляд здійснюється спеціально уповноваженими на те органами: прокуратурою (прокурорський нагляд), санітарно-епідеміологічною станцією (санітарний нагляд) та іншими [3].

Характеризуючи порядок здійснення державного контролю за використанням та охороною земель, можна виділити послідовність виконуваних дій, певну стадійність.

В юридичній літературі відзначилися різні підходи до виділення стадій контрольного провадження. Загалом виділяють від трьох до семи його стадій. При цьому такі стадії розглядаються в аспекті загальної теорії права, безвідносно до галузевої специфіки провадження. Переважно в юридичній літературі називають такі стадії:

1. Планування контролю й організаційних заходів щодо його проведення.
2. Підготовка до перевірки.
3. Проведення перевірки.
4. Складання, обговорення і прийняття контролюючим органом акта перевірки, прийняття рішень стосовно неї й ознайомлення з ними зацікавлених органів та осіб, трудових колективів.
5. Реалізація схвалених за матеріалами перевірки рішень.
6. Розгляд можливих скарг на прийняте рішення.
7. Контроль за фактичним виконанням рішень, а також пропозицій і рекомендацій, що містяться в акті перевірки [1].

На нашу думку, під час здійснення контролю за використанням і охороною земель особливу увагу треба надати таким перевіркам: проведення заходів із охорони ґрунтів, запровадження комплексу організаційно-господарських, агротехнічних, лісомеліоративних, гідротехнічних, протиерозійних заходів; збереження лісозахисних насаджень і протиерозійних гідротехнічних споруд, виконання заходів щодо попередження і ліквідації процесів засолення й заболочення ґрунтів, заростання кущами і дрібноліссям сільськогосподарських угідь; відвернення забруднення земель відходами промислових, сільськогосподарських, комунально-побутових та інших виробництв стічними водами; псування земель у ході будівництва, розроблення корисних копалин, проведення пошукових та інших робіт.

Окрему увагу треба надати землям сільськогосподарського призначення. Паралельно з державними органами влади контроль використання земель сільськогосподарського призначення здійснюють також органи місцевого самоврядування та громадські організації (ст. 189 і 190 ЗК України). Із цієї причини варто зазначити, що повноваження органів місцевого самоврядування і громадських інспекторів у зазначеній сфері законодавчо встановлено недостатньо чітко, права й обов'язки обмежено, тому в сучасних умовах контролююча роль цих суспільних інститутів є мінімальною. Отже, регулювання відносин між господарськими суб'єктами щодо використання земель сільськогосподарського призначення має здійснюватися, виходячи з уявлень, що земля є просторовим базисом для розміщення об'єктів нерухомості, засобом виробництва в сільському господарстві та об'єктом комплексу прав (власності, користування, розпорядження, володіння, оренди тощо). Незважаючи на те, що від початку проведення земельної реформи в Україні минає 24 роки, у суспільстві не склалася переважна думка щодо характеру земельних відносин. Звідси – нестабільність землекористування, невпевненість власників у своїх правах, хаотична й безконтрольна забудова земельних ділянок, нерациональне використання сільськогосподарських земель, що призводить до їх виснаження й деградації. Аналіз ефективності використання сільськогосподарських угідь дає всі

підстави стверджувати, що руйнація державної монополії та введення інституту приватної власності на землю не забезпечили раціонального використання й охорони земель. Продуктивність сільськогосподарських земель в Україні, порівняно з багатьма зарубіжними країнами, залишається надзвичайно низькою. Наприклад, порівняно з Нідерландами, віддача 1 га ріллі в Україні нижча: за м'ясом усіх видів (у забійній вазі) – у 50 разів, молоком – 27, зерном – 1,5, цукровим буряком – у 13,2 рази [4]. Вирішення проблеми підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва дозволить Україні посісти належне їй місце серед країн з розвиненим аграрним сектором економіки, але для цього необхідно докорінним чином змінити систему державного контролю над використанням та охороною земель. А якщо точніше – має бути створена цілісна державна система, здатна комплексно вирішувати завдання формування нових за змістом земельних відносин. Сучасна інституціональна структура державного управління земельними ресурсами в Україні, до складу якої входять і органи контролю, характеризується не лише відсутністю чіткості в розподілі обов'язків, а й конфліктністю інтересів різних відомств і широким розподілом відповідальності за рішення, що приймаються. Політичні процеси також накладають негативний відбиток на прийняття рішень щодо земельних питань. Значною мірою це стосується діяльності окремих районних і обласних рад. Нерідко за рішення, прийняті попереднім складом ради, новообрана рада не несе ніякої відповідальності, або ці рішення скасовуються чи просто не виконуються. Саме багатовладдя у вирішенні земельних питань й опір на місцевому рівні єдиній земельній політиці разом із помилками в реформуванні земельних відносин призвели до глибокого занепаду сільського господарства.

Висновки і пропозиції. Дослідження питання про порядок здійснення державного контролю за використанням та охороною земель показало, що чинним земельно-процесуальним законодавством процедура його проведення врегульована не повною мірою. Це створює певні труднощі під час практичної реалізації матеріальних норм земельного права, які регулюють суспільні відносини у сфері державного контролю за використанням та охороною земель. Прийняті в нашій країні підзаконні нормативні акти у сфері контролю недостатньо визначають процесуальні аспекти здійснення земельного контролю. Основний їх зміст, як і в нормативних актах такого типу, що діяли раніше, спрямований на регулювання матеріальних відносин, які виникають у ході проведення земельного контролю. Одним з актуальних питань удосконалення правового регулювання здійснення контролю за використанням та охороною земель є гармонізація матеріальних і процесуальних норм, які регламентують суспільні відносини у цій сфері. Її проведення дало б змогу вдосконалити механізм правового регулювання в цій сфері та підвищити ефективність земельного контролю.

Список використаних джерел

1. *Андрейцев В. І.* Правовий режим землі як основного національного багатства (Коментар до ч. 1 ст. 1 Земельного кодексу України) / В. І. Андрейцев // Законодавство України: Науково-практичні коментарі. – 2002. – № 4. – С. 15–26.
2. *Гавриш Н. С.* Еколого-правові аспекти охорони земельних ресурсів в Україні / Н. С. Гавриш // Вісник Львів. ун-ту. Сер. Міжнародні відносини. – 1999. – Вип. 1. – 311 с.
3. *Гаращук В. М.* Контроль та нагляд у державному управлінні : навч. посіб. / В. М. Гаращук. – Х. : Фоліо, 2002. – 176 с.
4. *Лозинська Т. М.* Національний продовольчий ринок в умовах глобалізації : монографія / Т. М. Лозинська. – Х. : Вид-во ХарРІ НАДУ «Магістр», 2007. – 272 с.
5. *Микитенко Ю. І.* Державне управління: економічні методи та система відносин в умовах формування ринку земель. Полтавщина / Ю. І. Микитенко, Г. І. Шарий. – Полтава : ІАЦ «Подія», 2007. – 100 с.

Ю.Ю. Воронюк, асистент

Р.І. Беспалько, канд. біол. наук

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ДЕГРАДАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИРІШЕННЯ ЗАСОБАМИ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Ю.Ю. Воронюк, ассистент

Р.И. Беспалько, канд. биол. наук

Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, г. Черновцы, Украина

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В КАРПАТСКОМ РЕГИОНЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Yuliia Vroniuk, assistant

Ruslan Bespalko, PhD in Biological Sciences

Yuriy Fedcovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

ACTUAL ISSUES OF LAND DEGRADATION IN THE CARPATHIAN REGION AND THEIR SOLVING PROSPECTS BY SYSTEM APPROACH

Проаналізовано стан земель у Карпатському регіоні. Розглянуто основні деградаційні процеси, які мають місце на досліджуваній території, та їх вплив на процеси використання земельних ресурсів. Наведено основні риси взаємозалежності особливостей регіону та заходів забезпечення раціонального використання земель лісогосподарського та сільськогосподарського призначення і запропоновано систему їх охорони. Обґрунтовано шляхи вирішення наявних проблем через використання системного підходу та методу аналізу ієрархії.

Ключові слова: Карпатський регіон, землі лісогосподарського та сільськогосподарського призначення, деградаційні процеси, ерозія, системний підхід.

Проанализировано состояние земель в Карпатском регионе. Рассмотрены основные деградационные процессы, которые имеют место на исследуемой территории, и их влияние на процессы использования земельных ресурсов. Приведены основные черты взаимозависимости особенностей региона и мероприятий обеспечения рационального использования земель лесохозяйственного и сельскохозяйственного назначения и предложена система их охраны. Обоснованы пути решения имеющихся проблем путем использования системного подхода и метода анализа иерархий.

Ключевые слова: Карпатский регион, земли лесохозяйственного и сельскохозяйственного назначения, деградационные процессы, эрозия, системный подход.

Conditions of land exploitation in the Carpathian region are investigated. The main degradation processes which take place in the studied territory are examined. Also, it's influence on processes of land usage resources are considered. The main lines for interdependence of the region features and actions of ensuring rational usage of silvicultural and agricultural lands are researched and the protection system is offered. Solutions of the problems by System Thinking and Analytic Hierarchy Process are provided.

Key words: Carpathian region, silvicultural and agricultural lands, degradation processes, erosion, system thinking.

Постановка проблеми. Карпатський регіон України – особливий комплекс систем, баланс в яких прямо пропорційно залежить від стану ведення сільського, лісового та водного господарств, територіальним базисом для яких є земля. В силу особливих природно-кліматичних, рельєфних, геолого-геоморфологічних умов та антропогенної діяльності земельні ресурси зазнають впливу, характер якого не дозволяє стверджувати про раціональність, ефективність та екологічну безпеку їх використання. Вищенаведене спричиняє появу і розвиток багатьох деградаційних процесів: ерозія (площинна, лінійна, іригаційна, пасовищна, яружна), зсуви, селі, обвали, вітровали, буреломи, що призводять до непоправних наслідків [1]. Вирішення подібних проблем гостро потребує використання і поєднання різних наукових методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оpubліковано праці, що стосуються проблемних питань оптимізації використання, відновлення та охорони земельних ресурсів, таких дослідників: М.О. Беседіна, Р.І. Беспалька, П.П. Борщевського, В.І. Благодатного, П.І. Гайдуцького, Г.Д. Гуцуляка, Д.С. Добряка. Дослідження в галузі раціоналізації використання земель проводили такі вчені, зокрема, А.Г. Мартин, Л.Я. Новаковський,

С.О. Осипчук, В.Д. Солодкий, А.Я. Сохнич, А.М. Третяк. Ґрунтовні дослідження стану земель в Карпатському регіоні, зокрема на Буковині, проводили: В.Д. Солодкий, О.І. Фурдичко, В.П. Коржик. Багато науковців підтримують загальнопоширену думку стосовно того, що раціональне використання земель сільськогосподарського призначення можна забезпечити через втілення на практиці комплексу заходів: удосконалення законодавчо-нормативної бази, ефективного державного управління, агротехнічних, лісомеліоративних, гідротехнічних та організаційно-господарських методів, з обов'язковим урахуванням особливостей території, на якій вони плануються. Звичайно, це передбачувано, адже проблема раціоналізації використання земель є комплексною і потребує аналогічного вирішення.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Важливо розглядати весь процес використання земель та різні умови, які мають на нього прямий або опосередкований вплив як систему, і використовувати при цьому системний підхід (Systems Thinking) та метод аналізу ієрархій (MAI, Analytic Hierarchy Process), що раніше не досліджувалося в контексті процесів експлуатації земельних ресурсів Карпатського регіону. Перший із вказаних методів полягає в дослідженні об'єкта як цілісної множини елементів у сукупності відносин і зв'язків між ними, тобто розгляд об'єкта як системи [2]. Тоді як інший – метод аналізу ієрархій (MAI) – є математичним інструментом попереднього вирішення проблем прийняття ефективних управлінських рішень. Цей метод запропонований американським математиком Томасом Сааті, яким було опубліковано безліч наукових праць у цьому напрямку та розроблено програмні продукти. MAI широко використовується вченими всього світу в різних галузях на практиці й активно розвивається [2]. Однією з переваг цього методу є його гнучкість, що особливо актуально сьогодні, беручи до уваги складну комплексність та різноманітність елементів, які наповнюють систему забезпечення раціонального використання земельних ресурсів регіону.

Враховуючи вищенаведене, необхідно здійснити відповідні дослідження із використанням вказаних методів для аналізу проблем раціоналізації використання земель Карпатського регіону, запобігання їх деградації та втілення запропонованих рішень на практиці.

Мета статті. Дослідження актуальних проблем деградації земель Карпатського регіону та перспективи їх вирішення засобами системного підходу. Аналіз впливу природно-кліматичних умов на характер використання земельних ресурсів вказаної території та причин виникнення деградаційних процесів.

Виклад основного матеріалу. В умовах сьогодення стан земель Карпатського регіону можна охарактеризувати як критичний з тенденцією до погіршення [1; 3; 4; 5; 6; 7; 8]. Така ситуація спричинена багатьма факторами: правовими, економічними, організаційними, природно-кліматичними, екологічними, геолого-геоморфологічними, соціальними та ін. [3]. Актуальним сьогодні є вирішення нагальних проблем розвитку деградаційних процесів у Карпатському регіоні і надання пропозицій щодо їх вирішення завдяки застосуванню сучасних науково обґрунтованих методів. На нашу думку, системний підхід можна вважати таким, що має у своєму арсеналі безліч інструментів для практичного запобігання проявів і подолання регресійних процесів на землях досліджуваної території.

Система землекористування Карпатського регіону в процесі свого функціонування обумовлювалася його характерними особливостями. Велика крутизна схилів, на яких розміщуються сільськогосподарські та інші види угідь; на порядок більша, ніж в інших регіонах середньорічна кількість опадів; недотримання сівозмін та розміщення просапних культур на схилах крутизною більше 7°; несанкціонована та не контрольована вирубка лісів – це неповний перелік причин, через які прогресують ерозійні та інші деградаційні процеси.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Площа Карпатського регіону (Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська, Чернівецька області) становить 5 660,7 тис. га, або 9,4 % від території України [4]. Здебільшого, землі тут зайняті сільськогосподарськими угіддями, лісами та лісовкритими площами (табл.), це й зумовлює специфіку природокористування в регіоні. В кожній із вищенаведених чотирьох областей можна виділити такі частини: низинну (рівнинну), передгірську і гірську [1; 5; 6; 7; 8]. Ще одна спільна риса вказаних територій полягає в надзвичайно високих рівнях прояву різних видів ерозії ґрунтів, що дає підстави вважати її найпоширенішим деградаційним процесом регіону [1]. Найвищого рівня розвитку ерозійних процесів зазнають рівнинні і передгірські частини, зокрема, через їх високу розораність (68 % у середньому), що порушує екологічну збалансованість між антропогенною діяльністю і функціонуванням природних екосистем. Найбільш стійкими в екологічному відношенні є земельні ресурси гірських районів, де показник розораності на порядок нижчий. Проте буде некоректним впевнено стверджувати, що стан земельних ресурсів гірських територій Карпатського регіону є екологічно стабільним. Дослідження вказують на перелік характерних проблем і їх особливо небезпечний негативний вплив на стан земель саме в цих частинах Карпатського регіону. Оскільки, на відміну від рівнинних природних систем, гірські ландшафти є значно вразливішими до негативних чинників, тому що зазнають суттєвого впливу гравітаційної сили та водних потоків [1].

Таблиця

Порівняльна характеристика складу земель Карпатського регіону станом на 01.01.2013 року

Основні види угідь	Показники по областях, що входять до Карпатського регіону (тис. га)							
	Львівська обл.		Івано-Франківська обл.		Закарпатська обл.		Чернівецька обл.	
	усього	% до заг. площі території	усього	% до заг. площі території	усього	% до заг. площі території	усього	% до заг. площі території
Загальна територія	2183,1	100	1392,7	100	1275,3	100	809,6	100
у тому числі:								
1. Сільськогосподарські землі	1266,7	58,0	631,5	45,3	469,7	36,8	470,2	58,0
2. Ліси й інші лісовкриті площі	694,6	31,8	635,6	45,6	723,9	56,7	257,9	31,9
3. Забудовані землі	110,3	5,1	63,0	4,5	47,5	3,7	39,7	4,9
4. Відкриті заболочені землі	9,4	0,4	2,6	0,2	0,8	0,06	1,2	0,15
5. Відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (піски, яри, землі зайняті зсувами, щебенем, галькою, голими скелями)	30,7	1,4	22,5	1,6	15,0	1,2	9,8	1,2
6. Інші землі	28,6	1,3	37,5	2,7	18,4	1,4	11,9	1,5
Території покриті поверхневими водами	42,8	2,0	23,6	1,7	18,4	1,4	18,9	2,3

Джерело: розраховано авторами за даними [5; 6; 7; 8].

У питанні екологобезпечного використання земель лісогосподарського та сільськогосподарського призначення (охоплюють найбільші площі Карпатського регіону) (табл.) головною проблемою є установлення межі допустимої антропогенної трансфор-

мації земельних ресурсів регіону, у т. ч. лісових екосистем, яка дозволяла б відновитися їм та відновити властиві цим екосистемам і важливі в гірських водозбірних ландшафтах водорегулювальну і ґрунтозахисну функції. Це комплексна і багаторівнева задача, при вирішенні якої доцільно використати системний підхід і МАІ.

Необхідно проаналізувати систему охорони земель, яка враховуватиме об'єкт, проблеми, причини та способи їх вирішення (рис.).

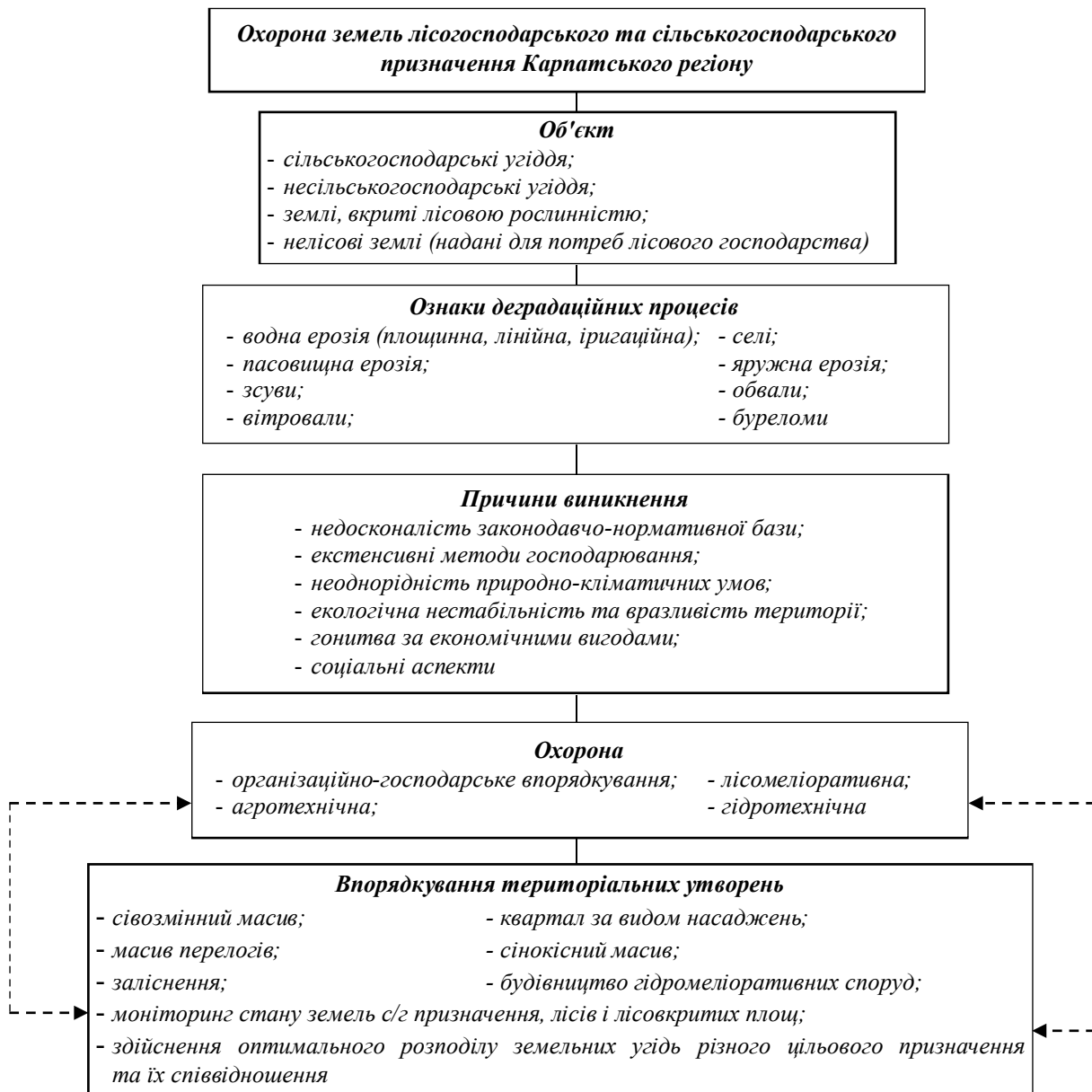


Рис. Система охорони земель сільськогосподарського та лісогосподарського призначення Карпатського регіону

Отже, перший етап застосування системного підходу із визначення об'єкта, проблематики, причинних факторів та способів їх подолання і побудови відповідної системи нами запропоновано (рис.). Наступним кроком є оптимізація цієї системи (з урахуванням аксіом, які лежать в основі МАІ): виділення ієрархічних рівнів, визначення найбільш пріоритетних та дієвих на практиці напрямків вирішення актуальних проблем за допомогою присвоєння їм цифрових значень залежно від їх ступеня впливу на об'єкт [3]. Таким чином, отримуємо ієрархію – в цьому випадку, цілісне утворення взаємопов'язаних елементів, які у разі необхідності можуть бути доповнені іншими показни-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

ками і є взаємопов'язаними один з одним. Як зазначалося раніше, системний підхід володіє гнучкістю й динамічністю, тому додавання нових елементів до добре структурованої системи не зруйнує її характеристик. Крім того, варто додати, що подібна ієрархія є спрощеною, тут залишається можливість визначити набагато більше елементів та ієрархічних рівнів залежно від проблеми, яку потрібно вирішити. Процес побудови ієрархії повністю залежить від розуміння її суті дослідником.

Аналізуючи отриману систему, можна стверджувати, що для того, аби досягнути практичної реалізації запропонованих рішень, необхідно терміново переглянути традиційні принципи господарювання та ширше запроваджувати екологічні норми експлуатації земель та лісокористування. Для визначення ефективних напрямків удосконалення процесів земельних відносин необхідно врахувати наукові результати, отримані у цій сфері та наявний практичний досвід.

Для вдосконалення системи ведення сільського і лісового господарства з урахуванням негативного природно-антропогенного впливу на землі, необхідно досягти узгодження ресурсних та природоохоронних цілей. Зокрема, слід створити умови для розбудови національної екомережі в регіоні, узгодивши при цьому в межах чинного законодавства певні галузеві суперечності щодо нормативів господарювання та розподілу земель [1].

Висновки і пропозиції. У процесі наших досліджень ми дійшли висновку, що найбільш дієвими на практиці заходами охорони земель в Карпатському регіоні можуть бути лісомеліоративні, гідротехнічні та агротехнічні. Такі результати, на нашу думку, є коректними, адже природно-кліматичні умови та безліч особливостей досліджуваної території диктують саме таку методику боротьби із деструктивними явищами, які мають місце.

Досліджувана місцевість характеризується високими екологічними ризиками, в силу своїх природно-кліматичних умов, і потребує застосування таких науково-обґрунтованих методів та підходів, розроблених з технологічного погляду, які б забезпечили раціоналізацію використання земель, вирішивши при цьому комплекс супутніх завдань. Тобто успіх тих чи інших дій залежить від гармонізації екологічних, економічних та соціальних цілей розвитку регіону. Системний підхід містить комплекс механізмів, які дозволяють поєднати різні, інколи протилежні, але важливі складники системи, використовуючи інструменти МАІ.

Список використаних джерел

1. *Реалізація стратегії Карпатської конвенції в Буковинських Карпатах: методологічні та еколого-біологічні аспекти* : монографія / О. І. Фурдичко, В. Д. Солодкий. – Чернівці : Зелена Буковина, 2011. – 520 с.
2. *Системний підхід* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uk.wikipedia.org/>.
3. *Воронюк Ю. Ю.* Методико-технологічний аспект забезпечення раціонального використання земель сільськогосподарського призначення Карпатського регіону / Ю. Ю. Воронюк, Р. І. Беспалько // SCIENCE and EDUCATION a NEW DIMENSION (природничі, математичні та технічні науки). – Будапешт, 2014. – II (3), ISSUE 21. – С. 83–86.
4. *Статистичний щорічник України за 2012 рік* / за ред. О.Г. Осауленка. – К. : Державна служба статистики України, 2013. – 552 с.
5. *Регіональна доповідь про стан природного навколишнього середовища в Закарпатській області за 2013 рік* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ecozakarpat.gov.ua>.
6. *Регіональна доповідь про стан природного навколишнього середовища в Івано-Франківській області у 2012 році* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua>.
7. *Регіональна доповідь про стан природного навколишнього середовища в Львівській області за 2013 рік* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ekologia.lviv.ua>.
8. *Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернівецькій області 2012 році* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua>.

УДК 528.34

Ю.В. Щербак, магістр

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

В. М. Іванов, ст. викладач

М.Я. Бринь, канд. техн. наук

Петербурзький державний університет шляхів сполучення Імператора Олександра I, м. Санкт-Петербург, Росія

ПРО ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕОДОЛІТНИХ ХОДІВ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ КАДАСТРОВИХ ЗЙОМОК

Ю.В. Щербак, магістр

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

В.Н. Иванов, ст. преподаватель

М. Я. Брынь, канд. техн. наук

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

ОБ ОБОСНОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КАДАСТРОВЫХ СЪЕМОК

Yuliia Shcherbak, master

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

Viktor Ivanov, senior teacher

Mykhailo Bryn, PhD in Technical Sciences

Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

THE SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THEODOLITE LINES WHEN PERFORMING CADASTRAL SURVEY

Запропоновано розрахунок параметрів теодолітних ходів (довжин ходів, довжин сторін, допустимих куткових і абсолютних нев'язок), виходячи з технічних характеристик сучасних геодезичних приладів. Проведено за двома методами дослідження параметрів теодолітних ходів, які, в цілому, збігаються між собою та з вимогами Інструкції з топографічної зйомки.

Ключові слова: параметри теодолітних ходів: довжини ходів, довжини сторін, допустимі кутові й абсолютні нев'язки.

Предложен расчет параметров теодолитных ходов (длин ходов, длин сторон, допустимых угловых и абсолютных невязок), исходя из технических характеристик современных геодезических приборов. Проведены по двум методам исследования параметров теодолитных ходов, которые, в целом, совпадают между собой и с требованиями Инструкции по топографической съемке.

Ключевые слова: параметры теодолитных ходов: длины ходов, длины сторон, допустимые угловые и абсолютные невязки.

Proposed calculation parameters theodolite moves (moves lengths, lengths, permissible angular and absolute residuals) based on technical characteristics of modern geodetic instruments. Conducted two research methods parameters theodolite moves, which generally coincide with each other and with the instructions of surveying.

Key words: theodolite moves parameters: length moves lengths, permissible angular and absolute discrepancy.

Постановка проблеми. За наявного рівня розвитку геодезичного приладобудування найбільш розповсюджене кадастрове знімання електронними тахеометрами. Сучасні електронні тахеометри дозволяють вимірювати відстані до 1 км і більше, середні квадратичні помилки вимірювання відстаней рідко перевищують 5 мм, а кутів – 7", широко використовується у практиці кадастрових зйомок режим роботи тахеометра без відбивача. Використання можливостей сучасних геодезичних приладів під час виконання польових топографо-геодезичних робіт дозволяє підвищити точність і якість результатів кадастрових зйомок. При цьому існує проблема розроблення нормативної бази проведення кадастрових зйомок, яка б дозволила реалізувати ці можливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз показує, що в нормативних документах по-різному регламентується використання сучасних електронних засобів вимірювань. Так, Інструкція [1] орієнтована на створення знімального обґрунтування тільки технічними теодолітами і мірними стрічками. Інструкція [2] допускає прокладання теодолітних ходів як оптичними теодолітами та стрічками, так і електронними тахеометрами.

Нам відомі дві публікації, в яких запропоновано методики визначення параметрів теодолітних ходів, це підручник [4] і стаття [3]. При цьому зазначимо, що в [2; 1; 4] вимоги до довжин ходів, кількість сторін є строго фіксованими. У методиці [3] є можливість варіювати довжинами ходів залежно від числа сторін ходу.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проведення на належному рівні топографо-геодезичних, картографічних та землевпорядних робіт – основа ефективного управління земельними ресурсами та здійснення земельної реформи у країні. Механізм реалізації зазначених завдань визначено Законами України «Про державний земельний кадастр», «Про землеустрій», «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», Порядком проведення інвентаризації земель, Інструкцією з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) та ін.

З метою землевпорядної і кадастрової діяльності використовуються дані, отримані внаслідок безпосередніх лінійно-кутових вимірів на місцевості, які спираються, здебільшого, на точки теодолітних ходів. Тому актуальним є питання обґрунтування параметрів теодолітних ходів у разі використання сучасних геодезичних приладів, середні квадратичні похибки вимірювання кутів яких не перевищують $7''$, а довжин ліній – 5 м.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розрахунок параметрів теодолітних ходів (довжин ходів, довжини сторін, допустимих кутових і абсолютних нев'язок), виходячи з технічних характеристик сучасних геодезичних приладів.

Викладення основного матеріалу. Відповідно до Порядку проведення інвентаризації земель [5] гранична похибка поворотних точок меж земельних ділянок відносно найближчих пунктів державної геодезичної мережі не повинна перевищувати:

- у м. Києві, Севастополі та містах обласного підпорядкування – 0,1 м;
- в інших містах та селищах – 0,2 м;
- у селах – 0,3 м;
- за межами населених пунктів – 0,5 м.

Середні квадратичні похибки положення поворотних точок будуть при цьому в 2 рази меншими. Середні квадратичні похибки положення межових знаків складаються з похибок положення точок теодолітного ходу та похибок координування межових знаків. Останніми похибками знехтуємо. Тоді дійдемо висновку, що середні квадратичні похибки положення точок теодолітних ходів не повинні перевищувати відповідно 0,05, 0,1, 0,15 та 0,25 м для територій, наведених вище.

Прийmemo ці дані як вихідні для обґрунтування параметрів теодолітних ходів: довжин ходів, довжин сторін, допустимих кутових і абсолютних нев'язок. При цьому, переважно, виходять з того, що хід є витягнутим, має при цьому рівні сторони та спирається на вихідні пункти і вихідні дирекційні кути. Середня квадратична похибка m_w кінцевої точки ходу обчислюється за формулою [3]

$$m_w^2 = m_Q^2 + m_L^2 = \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 L^2 \frac{n+3}{12} + m_d^2 n, \quad (1)$$

де m_Q – середня квадратична поперечна похибка ходу, що обчислюється за умови попереднього розподілу кутової нев'язки, m_L – середня квадратична поздовжня похибка ходу, m_d – середня квадратична похибка вимірювання довжин d сторін, n – число сторін у ході, m_β – середня квадратична помилка вимірювання кутів, L – довжина ходу, $L = dn$.

У підручнику [5] формулу (1) записано у вигляді

$$\left(\frac{m_w}{L} \right)^2 = \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 \frac{n+3}{12} + \left(\frac{m_d}{d} \right)^2 \frac{1}{n}. \quad (2)$$

Для знаходження екстремального значення кількості сторін теодолітного ходу автори [4] диференціюють (2) по n , результат прирівнюють до нуля і в результаті приходять до висновку:

$$n = \frac{m_d}{d} \frac{\rho}{m_\beta} \sqrt{12}. \quad (3)$$

І далі з формули (2) знаходять L

$$L = \frac{m_w}{\sqrt{\left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \frac{n+3}{12} + \left(\frac{m_d}{d}\right)^2 \frac{1}{n}}}. \quad (4)$$

Прийнято вважати, що абсолютна нев'язка ходу до зрівнювання дорівнює подвоєній середній квадратичній похибці m_p положення точки ходу в слабкому місці ходу після зрівнювання.

Прийнявши $m_p = 0,05$ м, матимемо $m_w = 0,10$ м і при $m_\beta = 7''$, $m_d = 5$ мм (для мінімальної довжини сторони 20 м відносна помилка $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{4000}$) й одержимо за формулою (3) $n = 25$, а за формулою (4) $L = 1,4$ км. Для інших значень m_p (0,1, 0,15 та 0,25 м) довжини ходу будуть пропорційно більшими. Вони наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок параметрів теодолітних ходів за методикою професора Островського при $m_\beta = 7''$, $m_d = 0,005$ м

Середня квадратична похибка m_p положення точки теодолітного ходу, м	$n = 25$	
	Довжина ходу L , км	Середня довжина сторони d , км
0,05	1,4	0,06
0,10	2,8	0,11
0,15	4,2	0,17
0,25	6,9	0,28

У роботі [3], виходячи з формули (1), запропоновано обчислювати допустимі довжини ходів при різному числі сторін n або допустиме число сторін у ходах різної довжини. Формула обчислення довжини ходу має вигляд

$$L = \frac{\rho}{m_\beta} \sqrt{\frac{12(4m_p^2 - nm_d^2)}{(n+3)}}. \quad (5)$$

За формулою (5) під час використання для прокладання теодолітних ходів електронних тахеометрів з точністю вимірювання кутів $m_\beta = 7''$, довжин ліній $m_d = 5$ мм та приймаючи послідовно $m_p = 0,05, 0,10, 0,15, 0,25$ м, можна розрахувати допустимі довжини ходів. Результати обчислень наведено в табл. 2.

Абсолютна лінійна нев'язка ходу повинна бути менше $w_{\text{доп}} = 2 t_p m_p$.

Наведена формула дозволяє встановлювати обґрунтований допуск на абсолютну лінійну нев'язку теодолітного ходу. Так, при $m_p = 0,05$ м і довірчій ймовірності 0,96 маємо $t_p = 2,05$, $w_{\text{доп}} = 0,20$ м.

Допустиму кутову нев'язку ходу можна обчислити за формулою $f_\beta = t_p m_\beta \sqrt{n+1}$.

При $m_\beta = 7''$ будемо мати $f_\beta = 15'' \sqrt{n+1}$.

Таблиця 2

Розрахунок параметрів теодолітних ходів при різній кількості сторін (n) за заданою середньою квадратичною похибкою m_p положення

Середня квадратична похибка m_p положення точки теодолітного ходу, м	Середня квадратична похибка вимірювання кутів $m_\beta = 7''$									
	Середня квадратична похибка вимірювання довжин ліній $m_d = 0,005$ м									
	$n = 5$		$n = 10$		$n = 15$		$n = 20$		$n = 25$	
	Довжина ходу L , км	Середня довжина сторони d , км	Довжина ходу L , км	Середня довжина сторони d , км	Довжина ходу L , км	Середня довжина сторони d , км	Довжина ходу L , км	Середня довжина сторони d , км	Довжина ходу L , км	Середня довжина сторони d , км
0,05	3,6	0,7	2,8	0,3	2,4	0,15	2,1	0,1	1,9	0,07
0,10	7,2	1,4	5,6	0,6	4,8	0,3	4,2	0,2	3,8	0,15
0,15	10,8	2,2	8,5	0,8	7,2	0,5	6,4	0,3	5,8	0,23
0,25	18,0	3,6	14,1	1,4	12,0	0,8	10,6	0,5	9,6	0,39

Наведемо для порівняння інструктивні вимоги до параметрів теодолітних ходів під час проведення топографічного знімання у разі використання електронних тахеометрів (табл. 3 [5]) для масштабів 1:500 та 1:1000, тому що тільки для цих масштабів граничні похибки положення точок ходу під час топографічного знімання збігаються з граничними похибками поворотних точок меж земельних ділянок при кадастровому зніманні в містах та селищах.

Таблиця 3

Вимоги до параметрів теодолітних ходів відповідно до [2]

Масштаб знімання	Гранична похибка положення точки ходу, (0,2 мм у м-бі плану), м	Відносні похибки вимірювання ліній 1:2000		Граничні абсолютні лінійні помилки, м	Граничні кутові нев'язки, кут. сек
		Допустимі довжини ходів, км	Допустима кількість сторін		
1:500	0,1	2,0	20	0,3	$f_\beta = 20''\sqrt{n+1}$
1:1000	0,2	4,0	20	0,6	

Висновки і пропозиції. Проведені дослідження показують, що обчислені за різними методиками, наведеними в [3; 4], параметри теодолітних ходів (довжини ходів, довжини сторін, допустимі кутові й абсолютні нев'язки) у цілому збігаються між собою та з вимогами, наведеними в Інструкції [2]. Перевагою методики, викладеної в [3], є можливість збільшення довжин ходів у разі зменшення кількості сторін. Запропоновано закріпити розроблені параметри в нормативних документах Російської Федерації.

Список використаних джерел

1. *Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* – М. : Недра, 1985. – 160 с.
2. *Инструкция з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 :* ГКНТА – 2.04-02-98. – К. : Укргеоінформ; Гол. упр. геодез., картогр. та кадастру, 1999. – 155 с.
3. *Обоснование точности и параметров кадастровой съёмки земельных участков урбанизированных территорий / М. Я. Брынь, П. А. Весёлкин, В. Н. Иванов и др. // Записки горного института.* – СПб. : Изд-во Нац. минерально-сырьевого ун-та «Горный», 2013. – Т. 204. – С. 19–24.
4. *Островський А. Л.* Геодезія : підручник для вузів / А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Гарнавський. – Л. : Видавництво «Львівська політехніка», 2007. – Ч. II. – 508 с.
5. *Порядок проведення інвентаризації земель від 23 травня 2012 р. № 513 [Електронний ресурс].* – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/513-2012-%D0%BF>.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у науковому журналі «Технічні науки та технології», який внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 року № 747.

Шановні дописувачі!

Спочатку просимо надіслати Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів), оформлені за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології». Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до відділу науково-дослідної частини ЧНТУ.

У зв'язку з включенням наукового журналу «Технічні науки та технології» до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU просимо Вас звернути увагу на деякі зміни в пакеті документів.

1. Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком (Додаток А);
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів, заповнену за наведеним бланком (Додаток Б). Звертаємо Вашу увагу, що ім'я та по батькові автора(ів) подаються повністю;
- квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (Додаток В);
- згоду на публікацію у формі Договору про передачу права на використання твору (бланк Договору розміщено на сайті університету).

2. Вимоги до наукової статті. Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника.

Статтю можна подавати однією з трьох мов: українською, російською, англійською.

Обсяг статті повинен бути таким: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається як у роздрукованому вигляді, так і в електронному варіанті на оптичному диску CD (DVD) або надсилається електронною поштою на адресу: chntu.ndch@gmail.com. Текст статті набирається з використанням комп'ютерних текстових редакторів Word for Windows 97/2000/XP.

3. Структура статті. До друку у журналі «Технічні науки та технології» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: УДК. Автори. Назва наукової або освітньої установи, де працюють автори. Назва статті. Анотації. Ключові слова. **Вся інформація про автора (ів), назва статті, анотація і ключові слова подається трьома мовами: українською, російською, англійською.** Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел.

4. Параметри сторінки повинні бути такими:

Формат А4 (210×297 мм).

Поля: верхнє, нижнє та бокові – 25 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ У СТАТТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗСТАНОВКИ ПЕРЕНОСІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ СПИСКІВ. УСІ СПИСКИ ПРОСТАВЛЯЮТЬСЯ У РУЧНОМУ РЕЖИМІ!

5. Вимоги до оформлення структурних елементів статті.

5.1. УДК – шрифт Times New Roman (кегель 12), курсив, вирівнювання по лівому краю без абзацу.

Автори – *ініціали та прізвище* кожного автора починати з нового рядка (шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по лівому краю, без абзацного відступу, напівжирний), *науковий ступінь або посада, якщо немає ступеня* (шрифт Times New Roman (кегель 12), звичайний). Скорочення слід подавати згідно з ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні правила та вимоги” (наприклад: д-р екон. наук; канд. техн. наук; тис., млн, млрд; грн, дол; табл., рис. тощо). Дані про авторів подаються трьома мовами.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY

Назва організації – місце (я) роботи автора (-ів) (вирівнювання по лівому краю без абзацного відступу, шрифт Times New Roman (кегель 10)). Після назви організації через кому вказуються місто та країна розміщення організації (трьома мовами).

Назва статті – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу, трьома мовами.

Анотація – шрифт Times New Roman (кегель 9), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг – 8–10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською (Додаток А).

Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. Ключові слова подаються трьома мовами. Кількість ключових слів – 3–7 (Додаток А).

Основний текст – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал).

Розділи статті (Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел) зазначаються таким шрифтом: Times New Roman, кегель 12, напівжирний, звичайний. Після назви розділу статті ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

5.2. Інтервали між елементами статті такі:

- УДК – автори – 1;
- автори – назва організації – 1;
- назва організації – назва статті – 2;
- назва статті – анотація – 1;
- анотація – ключові слова – 1;
- ключові слова – основний текст – 1;
- основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка) – 1;
- назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка – їхні назви) – 1;
- нижній край таблиці (назва рисунка) – основний текст – 1;
- основний текст – список використаних джерел – 1;
- список використаних джерел – перелік джерел – 1.

6. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

Рисунки і таблиці необхідно подавати у статті безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці.

6.1. Ілюстрації (рисунки та чорно-білі фотографії)

Під час виконання рисунків рекомендується використання Microsoft Visio 2007 (2003). За умови використання закладеної графіки Microsoft Word рисунки повинні бути згрупованими. Шрифт рисунків Times New Roman, кегель 12, курсив.

Рисунки позначають словом «Рис.» і нумерують послідовно в межах статті. Якщо у статті є лише один рисунок, він не нумерується. Пояснювальні підписи, номер рисунка, його назву розміщують послідовно під ілюстрацією.

Наприклад:

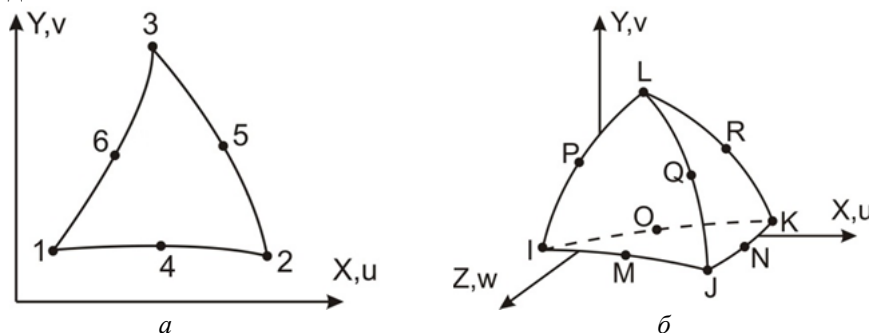


Рис. 3. Види скінченних елементів:

а – 6-вузловий плоский скінченний елемент і б – 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

6.2. Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться у статті, як правило, повинен оформлятися у вигляді таблиць.

Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 12) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці – по центру (кегель 12, курсив).

Наприклад:

Таблиця 1

Граничні значення режимів різання

№ досл.	V_k , м/с	$V_{дет}=V_k/60$	t , мм	$Q_{гр}$, мм ² /с	a_z , мкм	a_z max	$n/n_{різ}$
1	20	333	0,033	11	5,32	10,17	10/6
2	40	667	0,033	13	3,04	5,83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2,01	3,78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1,64	3,07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1,59	2,84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Закінчення табл. 1».

6.3. Формули

Використовуючи формули, необхідно дотримуватися певних правил.

Великі, довгі та громіздкі формули, які мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Стиль формул: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках праворуч, не виходячи за поле. Формули необхідно вирівнювати по лівому краю сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення (a_z)_{max}:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (1)$$

де $k_1 < 1$, $k_2 > 1$ – показники ступенів при товщині зрізу;

$F(a_z)$, $(1 - F(a_z))$ – значення інтегральної функції розподілення розрахункової товщини зрізів, які визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення a_z . Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфування в роботі [7].

7. Список використаних джерел необхідно складати за вимогами, що висуваються до оформлення списку використаних джерел у дисертаційних роботах (Бюлетень ВАК України № 5, 2009).

Заголовок «Список використаних джерел» слід розміщувати посередині рядка, шрифт Times New Roman, кегель 12, напівжирний, а список джерел – 11 кегель.

8. Оплата публікації. Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації однієї сторінки наукової статті становить **50 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією, зразок якої наведений у Додатку В.

9. Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина). Всі документи, що містять підписи та печатки, повинні бути відсканованими.

Контактна особа: Подимова Людмила Анатоліївна.

Робочий тел.: (04622) 3-42-44.

E-mail: chntu.ndch@gmail.com

Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.

Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи, що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.

Додаток А
Приклад оформлення статті

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук

М.А. Прокопець, магістр

Є.Ю. Коваленко, магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

А.В. Будённий, канд. техн. наук

М.А. Прокопец, магистр

Е.Ю. Коваленко, магистр

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Oleksandr Budyonny, PhD in Technical Sciences

Maryna Prokopets, master

Yevhen Kovalenko, master

National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute», Kyiv, Ukraine

CONTACTLESS CHARGING BATTERIES

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликій відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передающими и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Key words: noncontact charge, batteries, processes, energy.

Постановка проблеми. ...

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ...

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. ...

Мета статті. Головною метою цієї роботи є ...

Виклад основного матеріалу. ...

Висновки і пропозиції. ...

Список використаних джерел

1. Основные источники электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ecololife.ru/study-539-1.html>.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1982. – 622 с.
3. Пентегов И. В. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11–15.
4.
5.

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Дані про авторів	Українською мовою	Російською мовою	Англійською мовою
Прізвище			
Ім'я			
По батькові			
Науковий ступінь			
Вчене звання			
Почесне звання			
Місце роботи			
Посада			
Назва статті			
Обсяг статті			
Поштова адреса, на яку необхідно надсилати примірник збірника			
Контактна інформація	роб. тел.		
	дом. тел.		
	моб. тел.		
	e-mail		

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

Договір про передачу права на використання твору укладається на кожну статтю і надсилається поштою у паперовому вигляді з повністю заповненими автором (ами) твору реквізитами у двох примірниках (один для редакційної колегії, інший – для автора). Договір підписується ректором Чернігівського національного технологічного університету й один примірник повертається у паперовому вигляді автору (ам) твору поштою. Наявність Договору про передачу права на використання твору є обов'язковою умовою публікації наукових статей у наукових виданнях Університету для всіх авторів.

Додаток В
Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки	Дт	<input type="text" value="1002"/>	Ідентифікаційний код	<input type="text" value="05460798"/>
	Кт	<input type="text" value="31259203106996"/>		
	Одержувач платежу	<u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>		
	Дата здійснення операції	_____		
	Дата валютування	_____		
			Код установи банку	<input type="text" value="853592"/>
	Найменування установи банку	<u>ГУДКСУ Укр. в Чернігівській області</u>		
	Прізвище, ім'я, по-батькові платника	_____		
	Адреса платника	_____		
	Призначення платежу	_____ за видання у збірнику 25010100		
Касир			Сума	<input type="text"/>
	Загальна сума	_____ (словами)		
	Підпис платника	_____		
	Дт	<input type="text" value="1002"/>	Ідентифікаційний код	<input type="text" value="05460798"/>
	Кт	<input type="text" value="31259203106996"/>		
	Одержувач платежу	<u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>		
	Дата здійснення операції	_____		
	Дата валютування	_____		
			Код установи банку	<input type="text" value="853592"/>
	Найменування установи банку	<u>ГУДКСУ Укр. в Чернігівській області</u>		
Прізвище, ім'я, по-батькові платника	_____			
Адреса платника	_____			
Призначення платежу	_____ за видання у збірнику 25010100			
Касир			Сума	<input type="text"/>
	Загальна сума	_____ (словами)		
	Підпис платника	_____		

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (1)

Головний редактор	В.В. Казимир
Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Літературний редактор	Л.М. Сила
Коректор	О.С. Смєлова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко
	Т.В. Коваленко

Підписано до друку 14.09.2015. Формат 60x84/8. Друк різнографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 27,9.
Тираж 300 пр. Замовлення № 285/15.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.