



ISSN 2312-2676

ВІСНИК

**ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

BULLETIN
OF PRYDNIPROVS'KA
STATE ACADEMY OF
CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE

№ 8 СЕРПЕНЬ 2016 РОКУ

ДНІПРОПЕТРОВСЬК

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»**

ВІСНИК

**ПРИДНІПРОВСЬКОЇ
ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Заснований у травні 1997 року

**№ 8 (221)
серпень 2016**

Дніпро 2016

РЕДАКЦІЙНА РАДА:

Головний редактор В. І. Большаков, д-р техн. наук
Заступник головного редактора М. В. Савицький, д-р техн. наук
Відповідальний секретар Г. П. Євсєєва, д-р наук держ. упр.

В. В. Данішевський, д-р техн. наук, В. М. Дерев'янку, д-р техн. наук, Н. І. Верхоглядова, д-р екон. наук, І. В. Рижков, канд. техн. наук, В. Г. Заренбін, д-р техн. наук, С. В. Іванов, д-р екон. наук, Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, С. О. Слободянюк, д-р техн. наук, О. В. Челноков, канд. техн. наук, М. В. Шпірько, д-р техн. наук

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

В. Ф. Башев, д-р фіз.-мат. наук, *Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро*. А. І. Білоконь, д-р техн. наук, *Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (ПДАБА), Дніпро*. В. М. Вадимов, д-р архітектури, *Полтава*. Н. І. Верхоглядова, д-р екон. наук, *ПДАБА, Дніпро*. Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, *Харківський національний університет будівництва та архітектури (ХНУБА), Харків*. В. В. Данішевський, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. В. М. Дерев'янку, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. В. І. Дубницький, д-р екон. наук, *Донецький економіко-гуманітарний інститут, Донецьк*. М. М. Дьомін, д-р архітектури, *Київський національний університет будівництва та архітектури (КНУБА), Київ*. Г. П. Євсєєва, д-р наук держ. упр., *ПДАБА, Дніпро*. Є. А. Єгоров, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. В. Г. Заренбін, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. С. В. Іванов, д-р екон. наук, *ПДАБА, Дніпро*. С. В. Каламбет, д-р екон. наук, *Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Дніпро*. Г. М. Ковшов, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. В. П. Мироненко, д-р архітектури, *ХНУБА, Харків*. Ю. В. Орловська, д-р екон. наук, *ПДАБА, Дніпро*. А. В. Плеханов, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. В. Л. Седін, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. С. О. Слободянюк, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. В. О. Тимохін, д-р архітектури, *КНУБА, Київ*. А. В. Челноков, канд. техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. М. В. Шпірько, д-р техн. наук, *ПДАБА, Дніпро*. М. Куна-Бронійовський, проф., *Університет природничих наук, Люблін (Польща)*. Є. Красовський, д-р техн. наук, проф., *Польська Академія наук, Комісія механізації та енергетики землеробства, Люблін (Польща)*

Збірник наукових праць входить до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 07.10.2015 № 1021

Свідоцтво про Державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 9702 – видане Державним комітетом телебачення і радіомовлення України 24 березня 2005 р.

Засновник та видавець Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
Виходить 12 разів на рік

Рекомендовано до друку вченою радою академії, протокол №14 від .07.07.2016 р.

Сайт видання [http:// visnyk.pgasa.dp.ua](http://visnyk.pgasa.dp.ua)

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науковий журнал *Інформаційно-аналітичні системи: РИНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory, Indexing of International Research Journals (CiteFactor). Електронні бібліотеки та пошукові системи: Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Українські наукові журнали, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського*

Художній і технічний редактор С. Д. Моїсєнко
Перекладач Л. В. Михайлова
Редактор В. Д. Маловик
Коректор В. Д. Маловик.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»**

ВЕСТНИК

**ПРИДНЕПРОВСКОЙ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Основан в мае 1997 года

**№ 8 (221)
август 2016**

Днепр 2016

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Главный редактор	В. И. Большаков, д-р техн. наук
Заместитель главного редактора	Н. В. Савицкий, д-р техн. наук
Ответственный секретарь	Г. П. Евсеева, д-р наук гос. упр.

В. В. Данишевский, д-р техн. наук, В. Н. Деревянко, д-р техн. наук, Н. И. Верхоглядова, д-р экон. наук, И. В. Рыжков, канд. техн. наук, В. Г. Заренбин, д-р техн. наук, С. В. Иванов, д-р экон. наук, Т. С. Кравчуновская, д-р техн. наук, С. А. Слободянюк, д-р техн. наук, А. В. Челноков, канд. техн. наук, Н. В. Шпирько, д-р техн. наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. Ф. Башев, д-р физ.-мат. наук, *Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепр*. А. И. Белоконь, д-р техн. наук, *Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСА), Днепр*. В. М. Вадимов, д-р архитектуры, *Полтава*. Н. И. Верхоглядова, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепр*. Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, *Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), Харьков*. В. В. Данишевский, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. В. Н. Деревянко, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. В. И. Дубницкий, д-р экон. наук, *Донецкий экономико-гуманитарный институт, Донецк*. Н. М. Демин, д-р архитектуры, *Киевский национальный университет строительства и архитектуры (КНУСА), Киев*. Г. П. Евсеева, д-р наук гос. упр., *ПГАСА, Днепр*. Е. А. Егоров, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. В. Г. Заренбин, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. С. В. Иванов, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепр*. С. В. Каламбет, д-р экон. наук, *Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, Днепр*. Г. Н. Ковшов, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. Ю. А. Киричек, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. Т. С. Кравчуновская, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. В. П. Мироненко, д-р архитектуры, *ХНУСА, Харьков*. Ю. В. Орловская, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепр*. А. В. Плеханов, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. В. Л. Седин, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. С. А. Слободянюк, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. В. А. Тимохин, д-р архитектуры, *КНУСА, Киев*. А. В. Челноков, канд. техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. Н. В. Шпирько, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепр*. М. Куна-Бронийовски, проф., *Университет естественных наук, Люблин (Польша)*. Е. Красовский, д-р техн. наук, проф., *Польская Академия наук, Комиссия механизации и энергетики земледелия, Люблин (Польша)*

Сборник научных трудов входит в перечень № 1 научных профессиональных изданий Украины, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на получение ученых степеней доктора и кандидата технических наук и архитектуры в соответствии с приказом Министерства образования и науки Украины от 07.10.2015 № 1021

Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации – серия КВ № 9702 – выдано Государственным комитетом телевидения и радиовещания Украины 24 марта 2005 г.

Основатель и издатель Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»
Выходит 12 раз в год

Рекомендовано к печати ученым советом академии, протокол №14 от 07.07.2016 г.

Сайт издания <http://visnyk.pgasa.dp.ua>

Научометрические базы и электронные библиотеки, в которых зарегистрирован научный журнал
Информационно-аналитические системы: РИНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). *Электронные библиотеки и поисковые системы:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Украинские научные журналы, Национальная библиотека Украины им. В. И. Вернадского

Художественный и технический редактор С. Д. Моисеенко
Переводчик Л. В. Михайлова
Редактор В. Д. Маловик
Корректор В. Д. Маловик.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

**STATE HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT
PRYDNIPROVS'KA STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

BULLETIN

**OF PRYDNIPROVS'KA
STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

Established in May, 1997

No. 8 (221)

August 2016

Dnipro 2016

EDITORIAL BOARD:

Chief Editor V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, Professor
Deputy Chief Editor M. V. Savvitskiy, Doctor of Engineering Science, Professor
Executive Secretary G. P. Yevseieva, Doctor of Public Management, Professor

V. V. Danyshevskiy, Doctor of Engineering Science, V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, N. I. Verkhogliadova, Doctor of Economics, I. V. Ryzhkov, Candidate of Engineering Science, V. G. Zarenbin, Doctor of Engineering Science, S.V. Ivanov, Doctor of Economics, T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, S. O. Slobodianiuk, Doctor of Engineering Science, O. V. Chelnokov, Candidate of Engineering Science, M. V. Shpirko, Doctor of Engineering Science

EDITORIAL STAFF:

V. F. Bashev, Doctor of Physics and Mathematics, *Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipro*.
A. I. Bilokon, Doctor of Engineering Science, *Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipro*. V. M. Vadymov, Doctor of Architecture, *Poltava*. N. I. Verkhogliadova, Doctor of Economics, *PSACEA, Dnipro*. D. F. Goncharenko, Doctor of Engineering Science, *Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv (KSUCEA), Kharkiv*. V. V. Danyshevskiy, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. I. Dubnytskyi, Doctor of Economics, *Donetsk Institute of Economics and Humanities, Donetsk*. M. M. Diomin, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kyiv*. G. P. Yevseieva, Doctor of Public Management, *PSACEA, Dnipro*. I. A. Yegorov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. G. Zarenbin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. S. V. Ivanov, Doctor of Economics, *PSACEA, Dnipro*. S. V. Kalambet, Doctor of Economics, *Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro*. G. M. Kovshov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. O. Kirichek, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. P. Myronenko, Doctor of Architecture, *KSUCEA, Kharkiv*. Yu. V. Orlovska, Doctor of Economics, *PSACEA, Dnipro*. A. V. Pliexhanov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. S. O. Slobodianiuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. O. Tymokhin, Doctor of Architecture, *KNUCA, Kyiv*. O. V. Chelnokov, Candidate of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. M. V. Shpirko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. M. Kuna-Broniowski, Prof., *University of Life Sciences, Lublin, Poland*. E. Krasowski, Doctor of Engineering Science, Prof., *Polish Academy of Sciences, Commission mechanization and energy of agriculture, Lublin, Poland*

Collection of Scientific Papers is included in	List No. 1 of scientific professional publications of Ukraine, where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture can be published according to the Resolution of the Ministry of science and education of Ukraine No.1021 dated 07.10.2015
Certificate of Incorporation	of the Print Media – Series KV No. 9702 – issued by the State Committee for Television and Radio Broadcasting of Ukraine dated March 24, 2005
Founder & Publisher	State Higher Educational Institution ‘Prydniprov’ska State Academy of Civil Engineering and Architecture’ Issued 12 times a year
Recommended for publication by	the Academic Board of the Academy, Minutes No. 14, 07.07.2016
Journal website	http:// visnyk.pgasa.dp.ua
Placement of the journal in the international scientometric databases and repositories	<i>Abstracting systems:</i> information and analytical system RSCI (Russian Science Citation Index), InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Electronic Libraries:</i> Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Ukrainian scientific journals, The V. I. Vernadsky National Library of Ukraine
	Art & Technical Editor S. D. Moiseenko Interpreter L. B. Mykhailova Editor V. D. Malovyk Proofreader V. D. Malovyk.

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

- Большаков В. І., Кравчуновська Т. С., Разумова О. В., Котов М. А.
ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СТРАТЕГІЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ
НАЙБІЛЬШИХ МІСТ УКРАЇНИ 10
- Барсук Р. В., Іродов В. Ф.
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ВИБОРУ ПЕРЕВАЖНИХ РІШЕНЬ
ДЛЯ ТРУБЧАСТИХ ГАЗОВИХ НАГРІВАЧІВ
ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ 17
- Парусов Е. В., Губенко С. І., Сичков О. Б., Луценко В. А., Сагура Л. В.
ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ АУСТЕНІТНОГО ЗЕРНА НА РОЗВИТОК ЗНЕВУГЛЕЦЬОВУВАННЯ
ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА БУНТОВОГО ПРОКАТУ 26
- Менейлюк О. І., Лобакова Л. В.
АЛГОРИТМ ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОГО РІШЕННЯ ЩОДО ПЕРЕПРОФІЛЮВАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ БУДІНКІВ 35
- Збараз Л. І., Павлова В. Г.
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ
З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ 42
- Петренко А. О., Петренко В. О., Цуканов О. А.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ
І КОНДИЦІОНУВАННЯМ БУДІВЕЛЬ 51
- Карпюк Л. В., Любимова-Зінченко О. В.
ВИКОРИСТАННЯ ГРАФІЧНОГО РЕДАКТОРА В ІНЖЕНЕРНІЙ ГРАФІЦІ
І КУРСОВОМУ ПРОЕКТУВАННІ 59
- Поліщук С. З., Каспійцева В. Ю.
ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ
НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ 65
- Менейлюк О. І., Менейлюк І. О., Нікіфоров О. Л.
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЧИСЕЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ БУДІВНИЦТВА ТА
РЕКОНСТРУКЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД 72

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большаков В. И., Кравчуновская Т. С., Разумова О. В., Котов Н. А. ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛОГО ФОНДА КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ УКРАИНЫ.	10
Барсук Р. В., Иродов В. Ф. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ВЫБОРА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРУБЧАТЫХ ГАЗОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ	17
Парусов Э. В., Губенко С. И., Сычков А. Б., Луценко В. А., Сагура Л. В. ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА НА РАЗВИТИЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУНТОВОГО ПРОКАТА	26
Менейлюк А. И., Лобакова Л. В. АЛГОРИТМ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ	35
Збараз Л. И., Павлова В. Г. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С УЧЁТОМ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ	42
Петренко А. О., Петренко В. О., Цуканов А. А. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ЗДАНИЙ	51
Карпюк Л. В., Любимова-Зинченко О. В. ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА В ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ И КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ	59
Полищук С. З., Каспийцева В. Ю. ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ	65
Менейлюк А. И., Менейлюк И. А., Никифоров А. Л. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	72

IN THIS ISSUE

SCIENTIFIC RESEARCH

- Bolshakov V. I., Kravchunovska T. S., Razumova O. V., Kotov N. A.
FORMATION OF EFFECTIVE STRATEGIES FOR RESIDENTIAL AREA
RECONSTRUCTION OF BIG CITIES IN UKRAINE..... 10
- Barsuk R. V., Irodov V. F.
MATHEMATICAL MODELLING OF PREFERRED SOLUTIONS CHOICE FUNCTION
FOR TUBULAR GAS HEATERS BY EXPERIMENTAL INFORMATIONS 17
- Parusov E. V., Gubenko S. I., Sychkov A. B., Lutsenko V. A., Sahura L. V.
INFLUENCE OF AUSTENITE GRAIN SIZE TO DEVELOPMENT OF DECARBONIZATION
IN PRODUCTION OF ROLLED STEEL 26
- Menejljuk A. I., Lobakova L. V.
ALGORITHM OF SELECTION EFFECTIVE SOLUTIONS FOR REPROFILING
OF INDUSTRIAL BUILDINGS 35
- Zbaraz L. I., Pavlova V. G.
MATHEMATICAL MODELLING OF OPERATION HEAT NETWORKS IN VIEW
OF HEAT LOSS 42
- Petrenko A. O., Petrenko V. O., Tsukanov A. A.
AUTOMATED SYSTEM OF OPERATIONAL CONTROL HEATING
AND AIR CONDITIONING OF BUILDINGS 51
- Karpyuk L. V., Ljubimova-Zinchenko O. V.
THE USING OF GRAPHICAL EDITOR IN THE ENGINEERING GRAPHICS
AND THE COURSE DESIGNING 59
- Polischuk S. Z., Kaspjcteva V. Yu.
ESTIMATION AND PROGNOSIS OF QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR
AT REGIONAL LEVEL 65
- Menejljuk O. I., Menejljuk I. O., Nikiforov O. L.
DEVELOPMENT OF ALGORITHMS OF NUMERICAL PROJECT OPTIMIZATION FOR THE
CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF ENGINEERING STRUCTURES 72

УДК 711.432-16

ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛОГО ФОНДА КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ УКРАИНЫ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,

КРАВЧУНОВСКАЯ Т. С.^{2*}, д. т. н., проф.,

РАЗУМОВА О. В.³, к. т. н., проф.,

КОТОВ Н. А.^{4*}, к. т. н., доц.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

³ Кафедра архитектуры, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-32, e-mail: o.v.razumova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

^{4*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Аннотация. Постановка проблемы. Одной из главнейших государственных социально-экономических задач является обеспечение населения доступным, экономичным и энергоэффективным жильем, которое соответствует современным требованиям. **Цель работы.** Выявление, на основе анализа трудов ведущих ученых в области реконструкции жилой застройки, определяющих факторов, системное использование которых будет способствовать решению проблемы обеспечения населения доступным жильем. **Результаты.** Сформулированы концептуальные положения по совершенствованию жилищной политики, с учетом изменений, которые происходят во внешней и внутренней среде. **Научная новизна.** Предложены принципы проектирования реконструкции и строительства доступного жилья с учетом градостроительной ценности территорий крупнейших городов. **Практическая значимость.** Реализация предложенных принципов при разработке проектов комплексной реконструкции и вторичной застройки городских территорий позволит сохранить существующий жилищный фонд, повысить уровень комфортности существующего жилья, сократить эксплуатационные расходы на его содержание, обеспечить прирост жилой площади без освоения новых территорий.

Ключевые слова: жилой фонд; срок эксплуатации; реконструкция; надстройка; эксплуатационные затраты

ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ СТРАТЕГІЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ НАЙБІЛЬШИХ МІСТ УКРАЇНИ

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, д. т. н., проф.,

КРАВЧУНОВСЬКА Т. С.², д. т. н., проф.,

РАЗУМОВА О. В.³, к. т. н., проф.,

КОТОВ М. А.^{4*}, к. т. н., доц.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Кафедра планування та організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

³ Кафедра архітектури, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-32, e-mail: o.v.razumova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

^{4*} Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Анотація. Постановка проблеми. Одне з найголовніших державних соціально-економічних завдань - забезпечення населення доступним, економічним і енергоефективним житлом, яке відповідає сучасним вимогам. **Мета.** Виявлення, на основі аналізу праць провідних учених у галузі реконструкції житлової забудови, визначальних чинників, системне застосування яких сприятиме вирішенню проблеми забезпечення населення доступним житлом. **Результати.** Сформульовано концептуальні положення щодо вдосконалення житлової політики, з урахуванням змін, що відбуваються у зовнішньому та внутрішньому середовищі. **Наукова новизна.**

Запропоновано принципи проектування реконструкції та будівництва доступного житла з урахуванням містобудівної цінності територій великих міст. **Практична значимість.** Реалізація запропонованих принципів під час розроблення проектів комплексної реконструкції та вторинної забудови міських територій дозволить зберегти існуючий житловий фонд, підвищити рівень комфортності існуючого житла, скоротити експлуатаційні витрати на його утримання, забезпечити приріст житлової площі без освоєння нових територій.

Ключові слова: житловий фонд; строк експлуатації; реконструкція; надбудова; експлуатаційні витрати

FORMATION OF EFFECTIVE STRATEGIES FOR RESIDENTIAL AREA RECONSTRUCTION OF BIG CITIES IN UKRAINE

BOLSHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KRAVCHUNOVSKA T. S.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
RAZUMOVA O. V.³, *Ph. D., Prof.*,
KOTOV N. A.^{4*}, *Ph. D., Ass. Prof.*

¹ Department of Materials and Materials Processing, State Higher Educational Establishment «Prydneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 745-23-72, e-mail: press.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

² Department of Planning and Organization of Production, State Higher Educational Establishment «Pridneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

³ Department of Architecture, State Higher Educational Establishment «Prydneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, Tel. +38 (0562) 46-93-32, e-mail: o.v.razumova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

^{4*} Department of Reinforced-Concrete and Stone Construction, State Higher Educational Establishment «Prydneprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: kotokoto@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

Summary. Purpose. One of the most main state socio-economic tasks is providing of population accessible, economical and energy-efficient habitation which conforms to modern requirements. **Methodology.** Exposure, on the basis of analysis of labours of known scientists in area of reconstruction of dwelling building, determinatives the system use of which will be instrumental in the decision of problem of providing of population accessible habitation. **Findings.** Conceptual positions are formulated on perfection of housing policy, taking into account changes which take place in an external and internal environment. **Originality.** Principles of planning of reconstruction and building of accessible habitation are offered taking into account the town-planning value of territories of the largest cities. **Practical value.** Realization of the offered principles at development of projects of complex reconstruction and second city land development will allow to save an existent housing fund, promote the level of comfort of existent habitation, shorten running expenses on his maintenance, to provide the increase of dwelling-place without developing new territories.

Keywords: housing; operating lifetime; reconstruction; superstructure; operating costs

Постановка проблеми. На сьогоднішній день, учитывая тенденции роста численности городского населения по отношению к сельскому, необходимость обеспечения устойчивого развития крупнейших городов в существующих границах, структуру и объемы существующего жилищного фонда, достаточно высокий уровень его физического износа, спрос на новое жилье, цены на жилую недвижимость, ограниченность возможностей государственного бюджета, социальную дифференциацию населения и инвестиционные возможности приобретения жилья населением, актуальной является проблема строительства и реконструкции доступного и социального жилья. Доступность жилья определяется, прежде всего, стоимостью его строительства (реконструкции), которая, в свою очередь, обусловлена экономичностью архитектурно-технических решений, эконо-

мичностью при возведении здания, экономичностью в процессе эксплуатации (эксплуатационные расходы).

Анализ последних публикаций. Как совершенно справедливо указывали исследователи [1-6], а также другие авторы, задача обеспечения населения Украины доступным и комфортным жильем вполне осуществима при бережном сохранении существующего жилищного фонда путем его капитального ремонта и реконструкции.

Изложение основного материала. Несмотря на неудовлетворительное состояние жилищно-коммунального сектора в целом, имеется ряд основополагающих факторов, системное использование которых будет способствовать решению проблемы обеспечения населения Украины доступным жильем, в том числе путем реконструкции

существующего жилищного фонда. К числу таких факторов относятся:

- наличие устаревшего жилищного фонда, который составляет около 72 млн м² и которым необходимо управлять, используя рыночные механизмы;

- демографические факторы, а именно: снижение общей численности населения в Украине и замедление стремительного роста численности населения в большинстве крупнейших городов;

- факторы, связанные с владением приватизированным жильем, сдачей его в аренду;

- постоянное расширение кредитных возможностей для приобретения или строительства доступного жилья;

- наличие научно - обоснованных проектов жилых зданий нового поколения, наукоемких технологий, новых конструктивных систем, эффективных энергосберегающих материалов, инженерных систем и оборудования.

Совместное и взаимосогласованное использование этих факторов при должной организации и контроле позволит в перспективе решить проблему обеспечения населения доступным жильем.

Основой для совершенствования жилищной политики в Украине с учетом происходящих внутренних и внешних изменений могут стать следующие концептуальные положения:

1. Сохранение и развитие жилищного фонда необходимо осуществлять по региональным программам, учитывающим местную специфику и предусматривающим наращивание объемов и совершенствование структуры жилищного строительства, в основном, по территориальным нормативам, индивидуальным и модернизированным серийным проектам с ориентацией на потребительский спрос различных групп населения и с постоянным снижением эксплуатационных затрат.

2. За основу градостроительной политики в период демографического спада и стабилизации промышленного потенциала принимается практика застройки городов без расширения их границ с уплотнением существующей застройки, комплексной реконструкцией зданий, сооружений, объектов социальной,

транспортной и инженерной инфраструктуры, возрождением архитектурного исторического облика застройки городов и экологической реабилитацией природной среды.

3. Равное внимание должно уделяться как городскому, так и сельскому жилищному строительству, поскольку в украинских селах проживает более 30 % населения страны. При этом объекты жилищного строительства в селах должны быть привлекательны как для сельских жителей, так и для молодых специалистов, а также переселенцев из других населенных пунктов.

4. Равноценное отношение к сохранению существующего и созданию нового жилищного фонда, при этом процессы комплексной реконструкции существующей жилой застройки и нового строительства жилья осуществляются с совмещением во времени и пространстве, с максимальным использованием существующих зданий и инфраструктуры городских территорий.

5. В целях привлечения инвесторов к реконструкции устаревшего жилищного фонда необходимо обеспечить для них льготные условия строительства коммерческого жилья на территориях реконструируемых кварталов с бесплатным предоставлением земли, но с отнесением затрат по реконструкции на вновь создаваемые площади коммерческого жилья, без ограничений наращивания его объемов до удовлетворения рыночного платежеспособного спроса.

6. Для ускорения ликвидации жилищного кризиса и предоставления возможности найма жилья гражданами в соответствии с уровнем их платежеспособности, как это практикуется в США, Китае, странах Западной Европы, создать государственный и коммунальный жилищный фонд, сдаваемый в наем, прежде всего, государственным служащим – врачам, педагогам, ученым, военнослужащим, и категориям граждан, перед которыми имеются законодательные обязательства государства, с правом последующего выкупа.

7. Одновременность процессов строительства коммерческого жилья; комплексной реконструкции жилых кварталов с уплотнением застройки, приростом площадей жилья и обновлением инфраструктуры; создания жилищного фонда, сдаваемого в наем; строительства жилых домов в селах.

8. При этом необходимо повышение нормы обеспеченности жильем на одного человека, повышение надежности, комфорта и других потребительских свойств жилищ до современных требований, снижение удельного теплопотребления жилья в два и более раз.

9. В связи с сокращением численности населения Украины в региональных программах необходимо учитывать фактор притока мигрантов (как внешних, так и внутренних).

Основные положения концепции комплексной реконструкции пяти- и меньшей этажности жилой застройки состоят в следующем.

До начала реконструктивных работ проводится техническая экспертиза и паспортизация всех жилых зданий, подлежащих реконструкции, с целью определения их остаточного эксплуатационного ресурса и очередности включения в поток реконструкции.

За объект реконструкции и вторичной застройки принимается жилой квартал или микрорайон.

На свободных участках внутри квартала возводятся стартовые многоэтажные ширококорпусные жилые дома.

Пятиэтажные дома реконструируются с расширением площадей и перепланировкой квартир.

Этажность домов вторичной застройки определяется с учетом градостроительной ситуации и условий инсоляции. При этом используются все способы уплотнения застройки: вставки, пристройки, надстройки и т.п. Часть пятиэтажных домов реконструируется с надстройкой мансард и расширением корпуса, часть по условиям инсоляции переводится в состав нежилых помещений.

С учетом прироста площадей жилья и числа жителей в квартале модернизируются объекты социальной и инженерной инфраструктуры. На первых этажах домов вторичной застройки и в зданиях, переводимых в разряд нежилых помещений, размещаются объекты социального назначения и малые предприятия.

Изношенные инженерные сети и другие объекты коммунального назначения реконструируются с учетом возрастающих нагрузок.

При недостатке энерго- и других ресурсов жизнеобеспечения в районе реконструируемых жилых массивов используются современные локальные квартальные или домовые котельные и другие установки.

При вторичной застройке микрорайонов решается проблема размещения автостоянок, в том числе под внутриквартальными и городскими автодорогами, и совершенствуется благоустройство и схема транспортного и пешеходного движения.

На базе реконструируемых и вторично застроенных кварталов (микрорайонов) создаются энергоэффективные зоны с двукратным сокращением энергопотребления на отопление жилья [5].

При комплексной реконструкции и вторичной застройке жилых кварталов и микрорайонов соблюдаются следующие принципы:

- социальной ориентации проекта реконструкции и вторичной застройки;
- архитектурно-градостроительной совместимости вторичной застройки с окружающей, в том числе исторической застройкой;
- гармонизации застройки и жилой среды квартала (микрорайона);
- системного, взаимосогласованного решения градостроительных, архитектурных, экологических, социальных и экономических проблем;
- бесплатного предоставления инвесторам территорий кварталов и микрорайонов, подлежащих реконструкции;
- минимизации бюджетных капитальных вложений;
- минимизации эксплуатационных затрат;
- соблюдения законодательно-правовых норм и защиты прав жителей реконструируемых домов;
- гарантированного предоставления каждому квартиросъемщику реконструируемых домов комфортной квартиры в том же квартале (микрорайоне).

Прогнозируемые результаты, получаемые при осуществлении комплексной реконструкции жилых домов первых массовых серий и застройки малоэтажных жилых кварталов, позволяют решить глобальные задачи не только жилищного строительства, но и градостроительства в целом.

На существующих территориях реконструируемых жилых кварталов, расположен-

ных, как правило, вблизи центров городов и обустроенных всеми объектами городской и транспортной инфраструктуры, обеспечивается прирост площадей жилья в 2 - 3 раза, без освоения новых территорий и устройства протяженных инженерных и транспортных коммуникаций.

Все малометражные квартиры превращаются в полнометражные, а архитектурный облик жилых домов и жилой застройки после реконструкции приобретает современный вид.

При этом обеспечивается: продление жизненного цикла существующего жилищного фонда до продолжительности эксплуатации нового жилья; повышение потребительской стоимости реконструируемых квартир; сокращение удельного потребления тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение в два раза; снижение стоимости строительства жилья 15 - 20 %; снижение эксплуатационных затрат, в том числе затрат на ремонтные работы, в течение 15 - 20 лет.

Реконструкцию устаревшего жилищного фонда необходимо осуществить на принципах окупаемости затрат на строительство нового жилья за счет рыночной реализации получаемых при вторичной застройке жилых кварталов дополнительных квартир, сдачи в аренду нежилых помещений и снижения затрат на отопление, на аренду земли и обустройство территории.

Осуществляя комплексную реконструкцию и вторичную застройку, крупнейшие города Украины в течение 15 - 20 лет могут развиваться без расширения границ. При этом города получают дополнительный инвестиционный ресурс земли ранее застроенных (недостаточно плотно) 2 - 5-этажных кварталов (микрорайонов) в престижных районах для жилищного строительства в течение 15 - 20 лет и дополнительные средства в бюджет за счет аренды стоянок автомашин под городскими автодорогами.

Таким образом, без освоения и обустройства новых территорий, на существующей городской инфраструктуре, с заменой изношенных коммунальных сетей и объектов, на принципах окупаемости затрат решается проблема улучшения жилищных условий граждан, проживающих в домах, подлежащих ре-

конструкции, и создания дополнительного жилищного фонда для переселения из ветхого и аварийного жилья.

В настоящих социально-экономических условиях в крупнейших городах Украины, при крайней необходимости сноса аварийных и ветхих жилых зданий и реконструкции морально и физически устаревшего жилищного фонда, а также не снижающейся потребности в новом жилье, реализация идеи комплексной реконструкции и вторичной застройки 2 - 5-этажных жилых кварталов может послужить именно тем инструментом, который позволит избежать кризисной ситуации, связанной с необходимостью сноса домов первых индустриальных серий, и осуществить необходимый прирост нового жилья на рациональной экономической, социальной и градостроительной основе.

Выводы. Обновление городской жилой застройки является одним из важнейших направлений социально-экономического развития страны. Значение обновления жилой застройки заключается в улучшении качества жизни за счет увеличения объемов комфортного жилищного фонда, обеспеченного современной инфраструктурой. Инвестиционная привлекательность таких проектов обеспечивается за счет:

1. сохранения и продления срока эксплуатации жилого фонда Украины, представляющего большую материальную ценность, (около 20%) стоимости основных фондов станы;
2. улучшения качества жилья, безопасности и надежности конструкций;
3. реконструкция по методу Большакова – Жербина [8] дает значительное увеличение этажности (вплоть до 20 этажей) и, как следствие, значительное увеличение жилой площади, в то время как надстройка мансарды увеличивает жилую площадь только на 20 %;
4. при реконструкции стоимость строительства уменьшается за счет уже имеющегося земельного участка и наличия коммуникаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачинська Л. Г. Житлова архітектура у СРСР: історичні наслідки політичного втручання / Л. Г. Бачинська // Сучасні проблеми архітектури та містобудування : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури ; відп. ред. М. М. Дьомін. – Київ, 2011. – Вип. 28. – С. 3–15.
2. Тимченко Р. А. Модернизация жилого дома с использованием передовых технологий и материалов / Р. А. Тимченко, Д. А. Кришко, Ю. И. Луценко // Разработка рудных месторождений / Криворож. техн. ун-т. – 2010. – Вып. 93. – С. 13–16.
3. Лисенко Ю. Необхідність ефективного методу правового регулювання комплексної реконструкції будинків перших масових серій / Ю. Лисенко, Є. Галич, Д. Шапран // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія : Економіка. – Ужгород, 2012. – Вип. 2(36). – С. 6–9.
4. Основы оценки экономической эффективности реконструкции жилых зданий / В. И. Большаков, Н. А. Моторный, О. В. Разумова, О. Ю. Щеглова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2005. – № 10. – С. 4–10.
5. Булгаков С. Н. Реконструкция жилых домов первых массовых серий и малоэтажной жилой застройки / С. Н. Булгаков. – Москва : Глобус, 2001. – 248 с.
6. Беломесяцев А. Б. Економічні основи архітектури / А. Б. Беломесяцев ; Нац. акад. мистецтв України, Ін-т проблем сучас. мистецтва. – Київ : Фенікс, 2008. – 400 с.
7. Большаков В. И. Варианты реконструкции жилых зданий первых массовых серий с надстройкой этажей / В. И. Большаков, О. В. Разумова, Л. Н. Дадиверина. – Днепропетровск : ПГАСА, 2007. – 150 с.
8. Жербин М. М. Новая концепция модернизации и надстройки существующих малоэтажных жилых зданий до любого количества этажей / М. М. Жербин, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Gaudeamus, 2000. – 50 с.
9. Киевский И. Л. Влияние организационно-технических факторов на реализацию продукции жилищного строительства: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Киевский Илья Леонидович ; Центр. науч.-исслед. и проект.-эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи стр-ву. – Москва, 2003. – 22 с.
10. Кравчуновська Т. С. Комплексна реконструкція житлової забудови: організаційно-технологічні аспекти / Т. С. Кравчуновська. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2010. – 230 с.
11. Проблеми і перспективи будівництва доступного житла в Україні / Т. С. Кравчуновська, С. П. Броневицький, І. О. Михайлова, О. О. Мартенс // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 69. – С. 242–246.
12. Концептуальные основы региональной политики развития комплексной реконструкции объектов жилой недвижимости с максимальным использованием существующих зданий и инфраструктуры городских территорий / [В. М. Киринос, В. Г. Андреев, Е. П. Уваров, В. А. Целовальников, Н. Н. Руденко, П. Е. Уваров, В. В. Пунагин, М. Е. Шпарбер, Б. С. Дамаскин, В. М. Пилипенко, А. П. Пашков, Т. С. Кравчуновская, Е. Г. Галич, А. М. Югов, С. В. Кожемяка, В. В. Савйовский, Н. И. Котляр] ; под общ. ред. В. М. Кириноса. – Днепропетровськ : Наука і освіта, 2010. – 121 с.
13. Костецкий Н. Ф. Зарубежный опыт государственного регулирования воспроизводства жилищного фонда, его сохранения и модернизации / Н. Ф. Костецкий, А. И. Гурко // Экономика строительства. – 2003. – № 1. – С. 13–30.
14. Richard L. Urban construction project management / L. Richard, J. Eschemuller. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 480 p.
15. Sidney V. Levy. Project management in construction / Sidney V. Levy. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.
16. Spatial planning. Key instrument for development and effective governance with special reference to countries in transition / United nations, Economic commission for Europe // UNECE. – 2008. – March. – Available at: http://www.unece.org/hlm/publications_recent10.html. – Accessed 27 June 2016.

REFERENCES

1. Bachyns'ka L.H., ed. Domin M.M. *Zhytlova arkhitektura u SRSR: istorychni naslidky politychnogo vtruchannia* [Residential architecture in the USSR: historical consequences of political interference]. *Suchasni problemy arhitektury ta mistobuduvannia* [Modern problems of architecture and urban planning]. Kyiv. nats. un-t bud-va i arkhitektury [Kyiv National University of Construction and Architecture]. Kyiv: KNUBA, 2011, iss. 28, pp. 3–15. (in Ukrainian).
2. Timchenko R.A., Krishko D.A. and Lutsenko Yu.I. *Modernizatsiya zhilogo doma s ispol'zovaniem peredovykh tekhnologiy i materialov* [Modernization of residential building using advanced technologies and materials]. *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy* [The ore deposits development]. 2010, is. 93, pp. 13 – 16. (in Russian).
3. Lysenko Yu., Galych Ye., Shapran D., ed. Miklovda V.P., Pitiulych M.I. and Gapak N.M. *Neobkhdnist efektyvnoho metodu pravovoho rehuliuвання kompleksnoi rekonstruktsii budynkiv pershykh masovykh serii* [An effective method necessity of legal regulation for a complex reconstruction of first mass serieshouses]. *Naukovyi visnyk Uzhgorodskoho universytetu. Seriya: Ekonomika* [ScientificbulletinofUzhgoroduniversity. Series: Economy]. Uzhgorod: Vydavnytstvo UzhNU «Goverla», 2012, iss. 2 (36), pp. 6 – 9. (in Ukrainian).
4. Bolshakov V.I., Motornyi N.A., Razumova O.V. and Shcheglova O.Yu. *Osnovy otsenki ekonomicheskoy effektivnosti rekonstruktsii zhilykh zdaniy* [The cost-effectiveness assessing fundamentals of residential buildingsreconstruction].

Visnik Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Construction and Architecture]. 2005, no. 10, pp. 4 – 10. (in Russian).

5. Bulgakov S.N. *Rekonstruktsiya zhilykh domov pervykh masovykh seriy i maloetazhnoy zhiloy zastroyki* [The reconstruction of houses first mass series and low-rise residential development]. Moskva: Globus, 2001, 248 p.
6. Belomesiatsev A. B. *Ekonomichni osnovy arkhitektury* [Economic fundamentals of architecture]. Akad. mystetstv Ukrainy, In-t probl. suchas. Mystetstva [Arts Academy of Ukraine, Institute of Modern Art Problebms]. Kyiv: Feniks, 2008, 400 p. (in Ukrainian).
7. Bolshakov V.I., Razumova O.V. and Dadiverina L.N. *Varianty rekonstruktsii zhilykh zdaniy pervykh massovykh seriy s nadstroykoy etazhey* [Variants for the residential buildings reconstruction of the first mass series with overstory]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2007, 150 p.
8. Zherbin M.M. and Bolshakov V.I. *Novaya kontseptsiya modernizatsii i nadstroyki sushchestvuyushchikh maloetazhnykh zhilykh zdaniy do lyubogo kolichestva etazhey* [The modernization new concept and overstories of the existing low-rise residential buildings to any number of floors]. Dnepropetrovsk: Gaudeamus, 2000, 50 p.
9. Kievskiy I. L. *Vliyanie organizatsionno-tekhnologicheskikh faktorov na realizatsiyu produktsii zhilishchnogo stroitelstva*. Avtoreferat Diss. [The impact of organizational and technical factors on sales of products of housing construction. Author's abstract.]. Moskva, 2003. 22 p.
10. Kravchunovska T. S. *Kompleksna rekonstruktsiya zhytlovoi zabudovy: organizatsiino-tekhnologichni aspekty* [Complex reconstruction of residential development: organizational and technological aspects]. Dnipropetrovsk, Nauka i osvita Publ., 2010. 230 p.
11. Kravchunovska T. S., Bronevyskiy S. P., Mykhailova I. O., Martens O. O. Problemy i perspektyvy budivnytstva dostupnogo zhytla v Ukraini [Problems and prospects of affordable housing in Ukraine]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering], 2013, issue 69, pp. 242-246.
12. Kirnos V. M., Andreev V. G., Uvarov Ye. P., Tselovalnikov V. A., Rudenko N. N., Uvarov P. Ye., Punagin V. V., SHparber M.Ye., Damaskin B.S., Pilipenko V.M., Pashkov A.P., Kravchunovskaya T. S., Galich Ye. G., Yugov A. M., Kozhemyaka S.V., Savyovskiy V. V., Kotlyar N. I. *Kontseptualnye osnovy regionalnoy politiki razvitiya kompleksnoy rekonstruktsii obyektov zhiloy nedvizhimosti s maksimalnym ispolzovaniem sushchestvuyushchikh zdaniy i infrastruktury gorodskikh territoriy* [Conceptual foundations of regional policy for the development of complex reconstruction of residential properties with maximum use of existing buildings and infrastructure of urban areas]. Dnipropetrovsk, Nauka i osvita Publ., 2010. 121 p.
13. Kostetskiy N. F., Gurko A. I. Zarubezhnyy opyt gosudarstvennogo regulirovaniya vosproizvodstva zhilishchnogo fonda, yego sokhraneniya i modernizatsii [Foreign experience of state regulation of reproduction of housing, preservation and modernization]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics], 2003, no. 1, pp. 13-30.
14. Richard L., Eschemuller J. *Urban construction project management*. N.Y., McGraw-Hill Publ., 2008. 480 p.
15. Sidney V. Levy. *Project management in construction*. N.Y., McGraw-Hill Publ., 2006. 402 p.
16. Spatial planning. Key instrument for development and effective governance with special reference to countries in transition. Available at: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/documents/Publications/spatial_planning.e.pdf. (Accessed 27 June 2016).

Рецензент: д-р т. н., проф. Білоконь А. І.

Надійшла до редколегії: 28.06.2016 р.

Прийнята до друку: 30.06.2016 р.

УДК 519.816

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ ВИБОРУ ПЕРЕВАЖНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ТРУБЧАСТИХ ГАЗОВИХ НАГРІВАЧІВ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ

БАРСУК Р. В.^{1*}, асп.,ПРОДОВ В. Ф.^{2*}, д. т. н., проф.

^{1*} Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

^{2*} Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

Анотація. Постановка проблеми. Робота присвячена побудові функції вибору переважних рішень за експериментальною інформацією для трубчастого газового нагрівача, що працює на паливних гранулах – пелетах. Передбачається подальше використання функції вибору для прийняття технічних рішень під час конструювання і проектування трубчастих газових нагрівачів. **Аналіз останніх досліджень.** Розглянуто праці щодо побудови функції вибору за окремими пред'явами. Але побудова повної функції вибору за окремими пред'явами не розглядалась. **Мета та завдання** - розробити повну математичну модель функції вибору за окремими пред'явами. До оцінювання первинної експериментальної інформації долучається експерт, який оцінює окремі результати за вихідними функціями (критеріями). Його оцінка оформляється у вигляді таблиці парних порівнянь експериментальних точок. Таким чином, на множині експериментальних точок за допомогою експертного оцінювання необхідно побудувати пред'яви бінарних відношень вибору, які потім застосовуються для побудови повної функції вибору. **Висновки.** Викладено послідовність побудови функції вибору. Наведено результати порівнянь точок, які характеризують стан трубчастого газового нагрівача, з використанням експертних оцінок. Отримано вихідні функції порівнянь, за якими можна характеризувати поліпшення характеристик трубчастого нагрівача чи навпаки.

Ключові слова: математична модель; теорія прийняття рішень; функція вибору; планування експерименту; трубчасті газові нагрівачі

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ВЫБОРА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРУБЧАТЫХ ГАЗОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

БАРСУК Р. В.^{1*}, асп.,ПРОДОВ В. Ф.^{2*}, д. т. н., проф.

^{1*} Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

^{2*} Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

Аннотация. Постановка проблемы. Работа посвящена построению функции выбора предпочтительных решений по экспериментальной информации для трубчатого газового нагревателя, работающего на топливных гранулах – пеллетах. Предусматривается дальнейшее использование функции выбора для принятия технических решений при конструировании и проектировании трубчатых газовых нагревателей. **Анализ последних исследований.** Рассмотрены работы о построении функции выбора по отдельным предьявам. Но построение полной функции выбора по отдельным предьявам не рассматривалось. **Цель и задания** - разработать полную математическую модель функции выбора по отдельным предьявам. К оценке первичной экспериментальной информации подключается эксперт, который оценивает отдельные результаты по выходным функциям (критериям). Его оценивание оформляется в виде таблицы парных сравнений экспериментальных точек. Таким образом, на множестве экспериментальных точек с помощью экспертной оценки необходимо построить предьявы бинарных отношений выбора, которые потом используются для построения полной функции выбора. **Выводы.** Изложена последовательность построения функции выбора. Изложены результаты сравнений точек, которые характеризуют состояние трубчатого газового нагревателя, с использованием экспертных оценок. Получены выходные функции сравнений, по которым можно характеризовать улучшение характеристик трубчатого нагревателя или наоборот.

Ключевые слова: математическая модель; теория принятия решений; функция выбора; планирование эксперимента; трубчатые газовые нагреватели

MATHEMATICAL MODELLING OF PREFERRED SOLUTIONS CHOICE FUNCTION FOR TUBULAR GAS HEATERS BY EXPERIMENTAL INFORMATIONS

BARSUK R. V.^{1*}, *postgraduate*,
IRODOV V. F.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

^{1*} Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A Chernyshevsky str., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

^{2*} Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A Chernyshevsky str., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

Annotation. Problems formulation. The article deals with choice functions building of preferred solutions by experimental information for tubular gas heater working on fuel granules - pellets. Further choice functions using for making technical solutions by tubular gas heaters construction and designing. **Recently research analysis.** There are works about choice functions construction by separate presents are examined. But full chose functions building by separate presents are not examined. **Aims and tasks.** There are setting aim to develop full choice functions mathematical model on separate presents by authors. The expert are connect to primary experimental data's evaluation that estimates separate results by output functions (criteria). Its evaluations issue in experimental points paired comparison's table form. Thus, there are necessary construct binary choice relations presents on experimental "points" set by expert that then using for full choice function's constructing. **Conclusions.** There are choice function's construction's sequence are sets. There are posed point comparison results that characterized tubular gas heater's condition with expert's evaluation using. Also posed output functions comparisons by which can be characterized improving tubular gas heater's performance or vice versa.

Keywords: *mathematical model; decision theory; choice function; design of experiment; tubular gas heaters*

Постановка проблеми. Відомий трубчастий газовий обігрівач [8] складається із пальника, патрубку для постачання первинного повітря, патрубка для постачання палива та самого трубчастого нагрівача. Як паливо використовуються пелети. Пальник має свої характерні розміри: це площа пальника та ефективна площа для постачання первинного повітря.

Трубчаста частина нагрівача являє собою трубу певного діаметра. У проміжок між пальником і трубчастою частиною потрапляє вторинне повітря. Повітряний потік, у даному випадку, створює ежектор на виході із трубчастого нагрівача.

У таблиці 1 наведено конструктивні параметри роботи трубчастого нагрівача:

- площа пальника, S ;
- корисна площа для проходу первинного повітря, $S_{пер}$;
- витрати первинного повітря, L_1 ;
- загальна витрата повітря, $L_{заг}$;
- потужність пальника, W .

Також можна навести критерії, за якими здійснюється оцінювання роботи обігрівача:

- унесення золи за певний час, (3);

- концентрація CO у відпрацьованих газах, C_{CO} ;

- концентрація NO_x у відпрацьованих газах, C_{NO_x} .

Для параметрів, які характеризують роботу трубчастих газових нагрівачів, існують такі вимоги [1]: для CO це менше ніж 130 мг/м³, а для NO_x - менше 250 мг/м³. Тому на схематичному зображенні трубчастого нагрівача присутні такі надписи як CO та NO_x. Також характерним вихідним параметром є унесення золи, тому що під час посиленої подачі первинного повітря створюється ненавмисне унесення золи із пальника. Це спричинює засмічення трубчастої частини, що, у свою чергу, погіршує теплообмін, а також зменшує час працездатності трубчастої частини.

Таким чином, до вхідних параметрів, які характеризують роботу трубчастого газового нагрівача, можна віднести: характерні розміри пальника, витрати пелет, кількість первинного та вторинного повітря. До вихідних параметрів належать: унесення золи за певний час роботи пальника та концентрації CO та NO_x у відпрацьованих газах.

Конструюючи ці нагрівачі, необхідно дотримуватись декількох умов. По-перше,

концентрації CO та NO_x у відпрацьованих газах повинні бути у межах норми. По-друге, кількість унесеної золи повинна бути якомога меншою (наслідки вже були розглянуті вище). Але при цьому мають значення вхідні параметри. Наприклад, у разі збільшення витрат вторинного повітря

може понижуватися концентрація CO. Але при цьому треба використовувати більш потужний витяжний вентилятор, що зумовлює збільшення ціни системи трубчастого газового нагрівача. Тому потрібно враховувати усі вхідні і вихідні параметри одночасно.

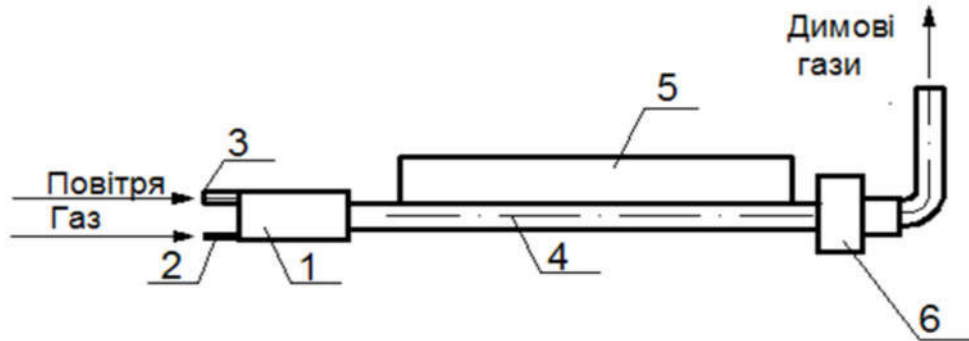


Рис. 1. Схема інфрачервоного трубчастого нагрівача:

1 – пальник у захисному кожусі; 2 – патрубок для подачі палива; 3 – патрубок для подачі первинного повітря; 4 – випромінювальна труба; 5 – відбивач теплового випромінювання (екран); 6 – вентилятор

Традиційний підхід до вирішення проблеми вимагав побудови трьох окремих залежностей для вихідних критеріїв – унесення золи (3), концентрації CO, концентрації NO_x. Крім того, це досить затратний підхід, а головне – необхідність потім на основі цих окремих залежностей побудувати математичну модель (процедуру) прийняття рішень. Але не зрозуміло, як це здійснити.

Тому було вирішено використати теорію прийняття рішень.

Можна, застосовуючи цю теорію, побудувати математичну модель функції вибору, яка буде заснована на експериментальній інформації. За допомогою цієї функції можна знаходити найбільш переважні рішення для конструювання трубчастих газових нагрівачів.

Аналіз публікацій. Трубчасті газові обігрівачі почали широко використовуватися наприкінці ХХ століття, здебільше, для систем автономного теплопостачання виробничих приміщень, наприклад, теплиць [3], цехів. Використання цих нагрівачів у житлових та громадських будівлях не дозволяється.

Існують різноманітні конструкційні схеми цих нагрівачів, у тому числі для

нагрівання повітря [6], системи з рециркуляцією [9] тощо.

Один із перспективних напрямів - використання трубчастих газових нагрівачів у будівельній конструкції [11].

Відомі різноманітні підходи до моделювання трубчастих газових обігрівачів [2; 10; 14]. Але завдання цієї роботи суттєво відрізняються від наявних.

Мета статті. Необхідно провести експериментальні дослідження роботи трубчастих газових нагрівачів за різних вхідних параметрів. Інформацію про залежність вихідних параметрів роботи трубчастих газових нагрівачів подати у вигляді окремих пред'яв реалізації функції вибору переважних рішень, за якими у подальшому можна побудувати усю функцію вибору.

Виклад основного матеріалу. Методика проведення експерименту. Під час дослідження трубчастих газових нагрівачів задавалися такі параметри: площа пальника, площа отворів для потрапляння первинного повітря, кількість первинного повітря, та кількість загального повітря потужність пальника як характеристика витраченого палива (табл. 1).

Таблиця 1

Таблиця експериментальних даних, отриманих унаслідок дослідження трубчастого газового нагрівача

№	S	S пер	Lзаг	Lпер	W	З	max=130	max=250
							C _{CO}	C _{NOx}
	м ²	м ²	м ³ /год	м ³ /год	кВт	г/хв	мг/м ³	мг/м ³
1	0,005	0,00286	572,4	25,2	33,5	2,1	510	293
2	0,005	0,00286	543,6	23,4	31,3	2,88	6734	207
3	0,005	0,00286	543,6	21,6	54,7	2,77	43	259
4	0,01	0,00643	633,6	46,8	18,0	0,21	4500	257
5	0,01	0,00643	651,6	54	32,0	0,47	694	205
6	0,01	0,00643	684,0	50,4	35,5	5,5	110	230
7	0,01	0,00643	622,8	57,6	82,8	2,8	-	-
8	0,005	0,00127	709,2	27	26,0	0,29	-	-
9	0,005	0,00127	594	28,8	32,0	0,21	-	-
10	0,005	0,00127	601,2	30,6	36,0	0,12	-	-
11	0,01	0,00287	655,2	50,4	30,0	1,0	-	-
12	0,01	0,00287	619,2	54	60,0	3,34	-	-
13	0,01	0,00287	594,0	46,8	94,0	2,42	-	-
14	0,005	0,00286	582,0	12,6	18,0	-	2234	131
15	0,005	0,00286	571,0	7,2	20,0	-	700	229
16	0,0025	0,00021	201,0	2,7	6,4	3,57	2765	89
17	0,0025	0,00021	168,0	4,1	9,0	7,0	2902	134
18	0,0025	0,00021	165,0	4,3	18,0	10,0	7214	109
19	0,0025	0,00021	151,0	5,1	18,0	7,0	7844	125
20	0,0025	0,00021	215,0	2,2	4,7	1,6	1429	146
21	0,0025	0,00021	201,0	2,8	11,3	4,9	1311	193
22	0,0025	0,00021	196,0	3,0	10,0	5,0	1019	210
23	0,0025	0,00021	182,0	3,9	12,8	3,6	779	212
24	0,0025	0,00021	178,0	2,5	5,3	1,8	812	201
25	0,0025	0,00021	167,0	2,8	4,5	0,7	2148	160
26	0,0025	0,00021	155,0	3,0	6,0	1,7	722	265
27	0,0025	0,00021	150,0	3,5	11,2	2,8	617	259
28	0,0025	0,00021	140,0	4,0	18,0	5,4	1144	240
29	0,0025	0,00021	136,0	4,5	22,5	10,5	853	257
30	0,0025	0,00021	128,0	7,0	22,5	11,3	783	261
31	0,0025	0,00021	127,0	2,5	8,2	1,9	1099	134
32	0,0025	0,00021	123,0	3,0	9,0	1,0	450	188
33	0,0025	0,00021	111,0	3,4	11,3	1,9	246	151
34	0,0025	0,00021	105,0	3,8	15,0	3,0	438	190
35	0,0025	0,00021	97,0	4,1	15,0	4,8	1225	238
36	0,0025	0,00021	85,0	5,0	22,5	10,3	830	203
37	0,0025	0,00021	80,0	6,5	18,0	10,8	945	217
38	0,0025	0,00021	210,0	2,75	3,9	1,3	2926	161
39	0,0025	0,00021	175,0	4,1	9,0	3,4	6663	56
40	0,0025	0,00021	172,0	4,3	7,5	5,6	2845	148
41	0,0025	0,00021	168,0	5,1	18,0	35,0	1986	131
42	0,0025	0,00021	152,0	2,2	5,0	5,0	1826	116
43	0,0025	0,00021	149,0	2,8	7,5	4,0	44000	304
44	0,0025	0,00021	151,0	3,0	11,3	3,8	3944	79

Під час дослідження вимірювалися концентрації CO та NO_x у відпрацьованих газах, а також кількість унесеної золи за певний проміжок часу. Для вимірювання концентрацій використовували газоаналізатор. Кількість золи вимірювали зважуванням за певний проміжок часу. Зола потрапляла у циклон, у якому основна маса і залишається. Нижня частина циклона з'єднана.

Витрати повітря вимірювали за допомогою шайби та диференційного манометра "Сапфір 22ДД-УХ".

Внаслідок проведення дослідження отримано таблицю експериментальних даних.

Робота з експериментальними даними. Для початку усі дані перетворюються на безрозмірний та відносний вигляд, наприклад, від 0 до 1, що наведено у таблиці 2.

У наведеній таблиці площа перетворена від мінімуму 0,0025 та максимуму 0,01 м². Площа отворів для надходження первинного повітря взята як частка від загальної площі. Загальні витрати взяті від 0 до 800 м³/год. Для витрати первинного повітря взято як частку від загального,

помножену на 10. Потужність перетворена від 0 до 100 кВт. Для кількості унесеної

золи узято максимальну – 12 гр/хв, CO – 44 000 мг/м³, та для NOx – 304 мг/м³.

Таблиця 2

Експериментальні дані, перетворені на безрозмірний та відносний вигляд від 0 до 1

№	S	S пер	L _{заг}	L ₁	W	З	max=130	max=250
							C _{CO}	C _{NOx}
1	0,5	0,572	0,7155	0,440252	0,335	0,175	0,012	0,964
2	0,5	0,572	0,6795	0,430464	0,313	0,240	0,153	0,681
3	0,5	0,572	0,6795	0,397	0,547	0,231	0,001	0,852
4	1	0,643	0,792	0,738	0,18	0,018	0,102	0,845
5	1	0,643	0,8145	0,828	0,32	0,039	0,016	0,674
6	1	0,643	0,855	0,736	0,355	0,458	0,003	0,757
7	1	0,643	0,7785	0,924	0,828	0,233	-	-
8	0,5	0,254	0,8865	0,38	0,26	0,024	-	-
9	0,5	0,245	0,7425	0,484	0,32	0,018	-	-
10	0,5	0,254	0,7515	0,509	0,36	0,010	-	-
11	1	0,287	0,819	0,769	0,3	0,083	-	-
12	1	0,287	0,774	0,872	0,6	0,278	-	-
13	1	0,287	0,742	0,787	0,94	0,202	-	-
14	0,5	0,572	0,723	0,218	0,18	-	0,051	0,431
15	0,5	0,572	0,671	0,134	0,2	-	0,016	0,753
16	0,25	0,084	0,25125	0,134	0,064	0,298	0,063	0,293
17	0,25	0,084	0,21	0,244	0,09	0,583	0,066	0,441
18	0,25	0,084	0,20625	0,26	0,18	0,833	0,164	0,359
19	0,25	0,084	0,188	0,337	0,18	0,583	0,178	0,411
20	0,25	0,084	0,268	0,102	0,047	0,133	0,032	0,48
21	0,25	0,084	0,25125	0,139	0,113	0,408	0,03	0,635
22	0,25	0,084	0,245	0,153	0,1	0,417	0,023	0,691
23	0,25	0,084	0,2275	0,214	0,128	0,300	0,018	0,697
24	0,25	0,084	0,2225	0,14	0,053	0,150	0,018	0,661
25	0,25	0,084	0,208	0,167	0,045	0,058	0,049	0,526
26	0,25	0,084	0,194	0,194	0,06	0,142	0,016	0,872
27	0,25	0,084	0,187	0,233	0,112	0,233	0,014	0,852
28	0,25	0,084	0,175	0,285	0,18	0,450	0,026	0,789
29	0,25	0,084	0,17	0,33	0,225	0,875	0,019	0,845
30	0,25	0,084	0,16	0,546	0,225	0,942	0,018	0,859
31	0,25	0,084	0,158	0,197	0,082	0,158	0,025	0,441
32	0,25	0,084	0,15375	0,2439	0,09	0,083	0,010	0,618
33	0,25	0,084	0,13875	0,306	0,113	0,158	0,006	0,497
34	0,25	0,084	0,131	0,362	0,15	0,250	0,01	0,625
35	0,25	0,084	0,121	0,422	0,15	0,400	0,028	0,783
36	0,25	0,084	0,106	0,588	0,225	0,858	0,019	0,668
37	0,25	0,084	0,1	0,8125	0,18	0,900	0,021	0,714
38	0,25	0,084	0,2625	0,13	0,039	0,108	0,067	0,53
39	0,25	0,084	0,21875	0,234	0,09	0,283	0,151	0,184
40	0,25	0,084	0,215	0,25	0,075	0,467	0,065	0,487
41	0,25	0,084	0,21	0,303	0,18	0,292	0,045	0,431
42	0,25	0,084	0,19	0,145	0,05	0,417	0,042	0,382
43	0,25	0,084	0,186	0,188	0,075	0,333	1	1
44	0,25	0,084	0,18875	0,198	0,113	0,317	0,09	0,26

Після цього відбувається попарне порівняння експериментальних точок. Якщо точка, яка порівнюється, краща за точку, з якою проходить порівняння, то на виході отримуємо 1. Якщо ж навпаки, то отримуємо 0. Такий спосіб (завдання матрицею) найбільш оптимальний для даної задачі.

Саме на цьому етапі особа, яка приймає рішення, виконує свою роль. Це відбувається тому, що лише особа, яка добре розуміється на цьому питанні, може сказати, що краще, а що гірше.

Таким чином отримується таблиця попарних порівнянь експериментальних точок, заповнена одиницями та нулями (табл. 3). У теорії прийняття рішень такий спосіб має назву завдання матрицею.

Такий спосіб (завдання матрицею) найбільш оптимальний для даної задачі.

Аналізуючи отриману таблицю попарних порівнянь, можна дійти висновку, що бінарні порівняння мають властивості:

- транзитивність;
- рефлексивність;
- антисиметричність.

Отже, для вищенаведеної функції вибору використовується бінарне відношення нестроного порядку.

На основі таблиці 3 потрібно побудувати функцію вибору. Функція вибору являє собою теоретико-множинне відображення, яке дозволяє виділити з усіх

можливих рішень, у даній ситуації (для даного пред'явлення), прийнятні рішення.

Процес автоматизації вибору потребує завдання механізму вибору – розрахункового методу, який реалізує відповідну функцію вибору для усіляких пред'явлень [12; 13].

Таблиця 3

Порівняння експериментальних режимів (порівнюється режим стовпчика з режимом рядка, якщо він кращий, то 1, навпаки – 0)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
2	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
3	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
15	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
17	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
18	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
19	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1
21	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
22	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
23	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
24	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
25	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
26	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
27	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
28	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
29	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
32	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
36	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
37	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
38	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
39	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
40	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
41	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
42	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
45	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1

Продовження таблиці 3

Порівняння експериментальних режимів (порівнюється режим стовпчика з режимом рядка, якщо він кращий, то 1, навпаки – 0)

№	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
17	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
18	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
20	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
26	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
27	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
28	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
29	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
30	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
31	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
36	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
38	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
40	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
41	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
42	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
45	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Формально, функцію вибору можна записати у такому вигляді:

$$C_R(X) = \{x \in X / \forall y \in X _xRy\}, \quad (1)$$

- де: $C_R(X)$ - функція вибору;
- x – одинарне пред’явлення;
- X – множина вхідних пред’явлень;
- R – бінарне відношення вибору.

Використання функцію вибору такого типу зумовлюється тим, що вона визначається бінарним відношенням R та

представляється “оптимізаційним механізмом домінування”.

У теорії прийняття рішень існує спосіб апроксимації функції вибору. У праці [5] розглядається даний процес більш детально.

Проте апроксимація не дозволяє побудувати повну функцію вибору. Тобто за значних змін параметрів потрібно будувати нову функцію вибору та її апроксимувати.

Тому перспективною бачиться побудова математичної моделі функції вибору. Для пошуку параметрів цієї функції можливо використати еволюційний пошук рішень [4].

Висновок. Запропоновано новий підхід до математичного моделювання прийняття рішень за експериментальною інформацією по роботі трубчастого газового нагрівача за трьох вихідних критеріїв. В основі підходу

– побудова функції вибору. Первинна експериментальна інформація перетворена до безрозмірного вигляду. На її основі, з використанням експертних рішень, побудовано матрицю попарних порівнянь. Для побудови функції вибору по матриці попарних порівнянь пропонується використати еволюційний алгоритм пошуку переважних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования : ГОСТ 21204-97 / Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. офиц. ; [введ. 1998-07-01 ; взамен ГОСТ 21204-83]. – Минск, 1998. – 35 с. : табл. – (Межгосударственный стандарт).
2. Дудкин К. В. Математическое моделирование трубчатых газовых нагревателей для безопасного нагрева воды в объеме со свободной поверхностью / К. В. Дудкин, В. В. Ткачева, Ю. В. Бобырь // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 62 : Безопасность жизнедеятельности 2011. – С. 166–170.
3. Дудкин К. В. Воздушно-водяная система теплоснабжения теплиц с трубчатыми газовыми нагревателями / Дудкин К. В., Ткачова В. В., Данишевский В. В. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 3, № 8(63). – С. 57–60.
4. Іродов В. Ф. Регуляризація часткових описів при еволюційному пошуку рішень на основі самоорганізації / Іродов В. Ф., Барсук Р. В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. академии стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 84. – С. 111–116.
5. Литваков Б. М. Аппроксимация функций выбора / Литваков Б. М. // Автоматика и телемеханика. – 1984. – Вып. 9. – С. 138–146. – Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/links/6c3faa9f1fbe0e4abf8580f75055ba32/at4847.pdf>.
6. Теория выбора и принятия решений / Макаров И. М., Виноградская Т. М., Рубчинский А. А., Соколов В. Б. – Москва : Наука, 1982. – 328 с.
7. Пристрій для променевого обігріву та нагрівання повітря : пат. 61594 Україна (UA), МПК F24D 10/00, F24C 15/00 / Іродов В. Ф., Осетянська Д. Є., Хацкевич Ю. В.; заявник та власник Придніпр. акад. буд-ва і архітектури. – № u201015435; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14
8. Пристрій для променевого обігріву та нагрівання повітря : пат. 92674 Україна (UA), МПК F24D 10/00, F24D 15/00, F24C 15/00 / винахідники та власники : Барсук Р. В., Іродов В. Ф., Чорнойван А. А. – № u201403524; заявл. 05.04.2014; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.
9. Система повітряно-променевого опалення : пат. 83475 Україна (UA), МПК F24D 10/00, F24D 15/00 / винахідники та власники : Дудкін К. В., Іродов В. Ф., Ткачова В. В., Чорноморець Г. Я. – № u 201304161; заявл. 03.04.2013; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.
10. Ткачова В. В. Індуктивне моделювання трубчастого газового нагрівача та пальника на пелетах / Ткачова В. В., Барсук Р. В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 78 : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – С. 275–281.
11. Чорноморець Г. Я. Техніко-економічне обґрунтування використання трубчастих нагрівачів, розташованих у будівельних конструкціях / Чорноморець Г. Я. // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск. – Вып. 76 : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. – С. 293–298.
12. Юдин Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений / Юдин Д. Б. – Москва : Наука, 1989. – 320 с.
13. Salama A. S. Accurate topological measures for rough sets / Salama A. S. // International Journal of advanced research in artificial intelligence. – 2015. – Vol. 4, iss. 4. – P. 31–37. – Available at: https://thesai.org/Downloads/IJARAI/Volume4No4/Paper_5-ccurate_Topological_Measures_for_Rough_Sets.pdf
14. Taler D. Mathematical modeling of tube heat exchangers with complex flow arrangement / Dawid Taler, Marcin Trojan, Jan Taler // Chemical and Process Engineering. – 2011. – Vol. 32, iss. 1. – P. 7–19. – Available at: [http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink.pdf?eventlink/\\$002fj\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?ac=j\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.xml](http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink.pdf?eventlink/$002fj$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?ac=j$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.xml)

REFERENCES

1. Gorelki gazovye promyshlennye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya: GOST 21204-97 [Industrial gas burners. General specifications: State standards 21204-97] Mezghos. sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii [Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification]. Izd. ofic., vved. 1998-07-01 [Official publication, dated on 1998-07-01]. Minsk, 1998, 35 p. (in Russian).
2. Dudkin K.V., Tkacheva V.V. and Bobyr' Yu.V. *Matematicheskoe modelirovanie trubchatykh gazovykh nagrevatelej dlya bezopasnogo nagreva vody v ob'eme so svobodnoj poverkhnost'yu* [Mathematical modeling of tubular gas heaters for safe water heating in the free-surface volume]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2011, iss. 62, pp. 166–170. (in Russian).
3. Dudkin K.V., Tkachova V.V. and Danishevskij V.V. *Vozdushno-vodyanaya sistema teplosnabzheniya teplits s trubchatymi gazovymi nagrevatelyami* [Air-water system of greenhouses heating with tubular gas heaters]. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij* [Eastern European Advanced Technology Journal]. 2013, vol. 3, no. 8(63), pp. 57–60. (in Russian).
4. Irodov V.F. and Barsuk R.V. *Regulyaryzatsiia chastkovykh opysiv pry evoliutsiinomu poshuku rishen na osnovi samoorganizatsii* [Regularization of partial descriptions with evolutionary solutionssearch on the basis of self-organization]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2015, iss. 84, pp. 111–116. (in Ukrainian).
5. Litvakov B.M. *Approksimatsiya funktsij vybora* [Approximation of functions selection]. *Avtomatyka i telemekhanika* [Automation and Remote Control]. 1984, iss. 9, pp. 138-146. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/6c3faa9f1f8e0e4abf8580f75055ba32/at4847.pdf>. (in Russian).
6. Makarov I.M., Vinogradskaya T.M., Rubchinskij A.A. and Sokolov V. *Teoriya vybora i prinyatiya reshenij* [Choice and decision theory]. Moskva: Nauka, 1982, 328 p. (in Russian).
7. Irodov V.F., Osetianska D.Ye. and Khatskevych Yu.V. *Prystrij dlia promenevoho obihrivu ta nahrivannia povitria: pat. 61594 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00, F24C 15/00* [Device for radiant heating and air heating: pat. 61594 Ukraina (UA), Patent National Classification F24D 10/00, F24C 15/00].Prydnipr. akad. bud-va i arhitektury [Prydniprov's'ka Academy of Civil Engineering and Architecture]. No u201015435, 2011. (in Ukrainian).
8. Barsuk R.V., Irodov V.F. and Chornoivan A.A. *Prystrij dlia promenevoho obihrivu ta nahrivannia povitria: pat. 92674 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00, F24D 15/00, F24S 15/00* [Device for radiant heating and air heating: pat. 92674 Ukraina (UA), Patent National Classification F24D 10/00, F24D 15/00, F24S 15/00]. No. u201403524; 2014. (in Ukrainian).
9. Dudkin K.V., Irodov V.F., Tkachova V.V. and Chornomorets H.Ya. *Systema povitriano-promenevoho opalennia: pat. 83475 Ukraina (UA), MPK F24D 10/00, F24D 15/00* [Air-radiant system of heating: pat. 83475 Ukraina (UA), Patent National Classification F24D 10/00, F24D 15/00]. No. u201304161, 2013. (in Ukrainian).
10. Tkachova V.V. and Barsuk R.V. *Induktyvne modeliuвання trubchastoho hazovoho nahrivacha ta palnyka na peletakh* [Inductive modeling of tubular gas heater and burner on pellets]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2014, iss. 78, pp. 275–281. (in Ukrainian).
11. Chornomorets H.Ya. *Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannia vykorystannia trubchastykh nahrivachiv roztashovanykh u budivelnnykh konstruksiiakh* [Feasibility study of the tubular heaters using located in building structures]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, iss. 76, pp. 293–298. (in Ukrainian).
12. Yudin D.B. *Vychislitel'nye metody teorii prinyatiya reshenij* [Calculation methods of the decision theory]. Moskva: Nauka, 1989, 320 p.
13. Salama A.S. *Accurate topological measures for rough sets. International Journal of advanced research in artificial intelligence.* 2015, vol. 4, iss. 4, pp. 31–37. Available at: https://thesai.org/Downloads/IJARAI/Volume4No4/Paper_5Accurate_Topological_Measures_for_Rough_Sets.pdf
14. Taler D., Trojan M. and Taler J. *Mathematical modeling of tube heat exchangers with complex flow arrangement. Chemical and Process Engineering.* 2011, vol. 32, iss. 1, pp. 7-19. Available at: [http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink:pdfeventlink/\\$002fj\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?t:ac=j\\$002fcpe.2011.32.issue-1\\$002fv10176-011-0001-y\\$002fv10176-011-0001-y.xml](http://www.degruyter.com/dg/viewarticle.fullcontentlink:pdfeventlink/$002fj$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.pdf/v10176-011-0001-y.pdf?t:ac=j$002fcpe.2011.32.issue-1$002fv10176-011-0001-y$002fv10176-011-0001-y.xml)

Рецензент: д-р т. н., проф. Дерев'яно В. М.

Надійшла до редколегії: 13.04.2016 р.

Прийнята до друку: 12.05.2016 р.

УДК 669.112.227.3:621.771.25

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА НА РАЗВИТИЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БУНТОВОГО ПРОКАТА

ПАРУСОВ Э. В.¹, к. т. н., с. н. с.,
ГУБЕНКО С. И.², д. т. н., проф.,
СЫЧКОВ А. Б.³, д. т. н., проф.,
ЛУЦЕНКО В. А.⁴, д. т. н., с. н. с.,
САГУРА Л. В.^{5*}, к. т. н.

¹ Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, Днепр, Украина, 49050, тел. +38 (0562) 33-71-63, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4290-6498

² Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 374-83-57, e-mail: sigubenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5427-1154

³ Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, пр. Ленина, 38, Магнитогорск, Россия, 455000, тел. +7 (919) 348-66-84, e-mail: absyckov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0886-1601

⁴ Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, Днепр, Украина, 49050, тел. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: lutsenko@optima.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

^{5*} Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, Днепр, Украина, 49050, тел. +38 (0562) 33-71-63, e-mail: slv_metal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

Аннотация. Введение и состояние проблемы. Одним из нежелательных и распространенных дефектов микроструктуры, который снижает качественные показатели высокоуглеродистого бунтового проката (катанки) и эксплуатационные характеристики изготавливаемых из него изделий является обезуглероживание поверхности. При этом сопротивление металла знакопеременным нагрузкам определяется глубиной обезуглероженного слоя, то есть фактическим различием микроструктуры на поверхности от структуры основного металла. Известно [1, 2], что для развития процесса обезуглероживания на поверхности металла при нагреве в печи газовая атмосфера должна оказывать не очень сильное окислительное воздействие. Если скорость окисления будет больше скорости диффузии углерода в стали, то интенсифицируется окалинаобразование и в этом случае кислород может окислять уже одновременно и углерод и железо.

В большинстве случаев обезуглероженный слой считается неудовлетворительным фактором, однако существует мнение и о положительном влиянии обезуглероживания поверхности бунтового проката на его потребительские свойства. Мягкая обезуглероженная поверхность обеспечивает повышенную пластичность металла при перегибах и скручиваниях из-за малой чувствительности к концентраторам напряжений, высокой сопротивляемости распространению трещин, а также повышению коррозионной стойкости [3]. Формирование в поверхностном обезуглероженном слое остаточных сжимающих напряжений приводит к повышению усталостной прочности и долговечности в процессе эксплуатации стальных канатов [4]. В бунтовом прокате с более развитым поверхностным обезуглероживанием уменьшается вероятность образования закалочных структур (мартенсита) при волочении и вызываемых появлением мартенсита поверхностных трещин и надрывов. Однако при деформации металла способом холодного волочения, путем протяжки бунтового проката через систему монолитных волок, максимальные напряжения при этом сосредоточены на поверхности проката [3–5]. В связи с такой особенностью, равномерность распределения структуры на поверхности и в приповерхностных слоях оказывает решающее воздействие. Следовательно, при изготовлении качественного сортамента высокоуглеродистого бунтового проката необходимо обеспечить минимальную и равномерную глубину обезуглероживания на поверхности металла [3–7].

В работе [11] отмечено влияние микродобавок бора на изменение величины аустенитного зерна, а соответственно и протяженность границ в высокоуглеродистых сталях при повышении температуры аустенитизации в интервале 900...1100 °С.

Цель работы - исследование влияния величины аустенитного зерна на глубину обезуглероживания в углеродистой (базовой) стали и стали микролегированной бором.

Ключевые слова: обезуглероженный слой, аустенитное зерно, бунтовой прокат, микролегирование, бор

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА НА РОЗВИТОК ЗНЕУГЛЕЦЬОВУВАННЯ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА БУНТОВОГО ПРОКАТУ

ПАРУСОВ Е. В.¹, к. т. н., с. н. с.,
ГУБЕНКО С. І.², д. т. н., проф.,
СИЧКОВ О. Б.³, д. т. н., проф.,
ЛУЦЕНКО В. А.⁴, д. т. н., с. н. с.,
САГУРА Л. В.^{5*}, к. т. н.

¹ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, Україна, 49050, тел. +38 (0562) 33-71-63, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4290-6498

² Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 374-83-57, e-mail: sigubenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5427-1154

³ Магнітогорський державний технічний університет ім. Г. І. Носова, пр. Леніна, 38, Магнітогорськ, Росія, 455000, тел. +7 (919) 348-66-84, e-mail: absyckov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0886-1601

⁴ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, Україна, 49050, тел. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: lutsenko@optima.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

^{5*} Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, Україна, 49050, тел. +38 (0562) 33-71-63, e-mail: slv_metal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

Анотація. Вступ і стан проблеми. Одним із небажаних і поширених дефектів мікроструктури, який знижує якісні показники високовуглецевого бунтового прокату (катанки) і експлуатаційні характеристики виробів, які з нього виготовляються, є зневуглецьовування поверхні. При цьому опір металу знакозмінним навантаженням визначається глибиною зневуглецьованого шару, тобто фактичним розходженням мікроструктури на поверхні від структури основного металу. Відомо [1, 2], що для розвитку процесу зневуглецьовування на поверхні металу під час нагрівання в печі газова атмосфера повинна чинити не дуже сильну окисну дію. Якщо швидкість окиснення буде більша швидкості дифузії вуглецю в сталі, то інтенсифікується окалиноутворення і в цьому випадку кисень може окиснювати вже одночасно і вуглець і залізо.

У більшості випадків зневуглецьований шар вважається незадовільним фактором, однак існує думка і про позитивний вплив зневуглецьовування поверхні бунтового прокату на його споживчі властивості. М'яка зневуглецьована поверхня забезпечує підвищену пластичність металу у випадку перегинів і скручувань через малу чутливість до концентраторів напружень, високий опір поширенню тріщин, а також підвищення корозійної стійкості [3]. Формування в поверхневому зневуглецьованому шарі залишкових стискаючих напружень зумовлює підвищення втомної міцності і довговічності в процесі експлуатації сталевих канатів [4]. У бунтовому прокаті з більш розвиненим поверхневим зневуглецьовуванням зменшується ймовірність утворення структури загартування (мартенситу) під час волочіння і спричинених появою мартенситу поверхневих тріщин і надривів. Однак у разі деформації металу способом холодного волочіння, шляхом протягання бунтового прокату через систему монолітних волок, максимальні напруги при цьому зосереджені на поверхні прокату [3–5]. У зв'язку з такою особливістю, рівномірність розподілу структури на поверхні і в приповерхневих шарах здійснює вирішальний вплив. Отже, для виготовлення якісного сортаменту високовуглецевого бунтового прокату необхідно забезпечити мінімальну і рівномірну глибину зневуглецьовування на поверхні металу [3–7].

У праці [11] відзначено вплив мікродобавок бору на зміну величини аустенітного зерна, і відповідно протяжність кордонів у високовуглецевих сталях у випадку підвищенні температури аустенітизації в інтервалі 900...1 100 С.

Мета роботи - дослідження впливу величини аустенітного зерна на глибину зневуглецьовування у вуглецевій (базовій) сталі і сталі, мікролегованій бором.

Ключові слова: зневуглецьований шар, аустенітне зерно, бунтовий прокат, мікролегування, бор

INFLUENCE OF AUSTENITE GRAIN SIZE TO DEVELOPMENT OF DECARBONIZATION IN PRODUCTION OF ROLLED STEEL

PARUSOV E. V.¹, Ph. D, senior researcher,

GUBENKO S. I.², Dr. Sc. (Tech.), Prof.

SYCHKOV A. B.³, Dr. Sc. (Tech.), Prof.

LUTSENKO V. F.⁴, Dr. Sc. (Tech.), senior researcher,

SAHURA L. V.^{5*}, Ph. D.

¹ Iron and Steel Institute named Z.I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, Dnipro, Ukraine, 49050, tel. +38 (0562) 33-71-63, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4290-6498

² National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 374-83-57, e-mail: sigubenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5427-1154

³ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin avenue, 38, Magnitogorsk, Russia, 455000, tel. +7 (919) 348-66-84, e-mail: absyckov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0886-1601

⁴ Iron and Steel Institute named Z.I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, Dnipro, Ukraine, 49050, tel. +38 (0562) 47-29-25, e-mail: lutsenko@optima.com.ua, ORCID ID: 0000-0002-4604-5592

^{5*} Iron and Steel Institute named Z.I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, Dnipro, Ukraine, 49050, tel. +38 (0562) 33-71-63, e-mail: slv_metal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

Summary. Introduction and current state of the problem. Common and undesirable defects in microstructures include surface decarburization which compromises the quality of HC wire rods hot-wound into coils (coil rod) and performance of products made there from. Resistance of metal to alternating loads is determined by the depth of the

decarburized layer, i.e. actual difference between surface microstructure and base metal structure. As we know [1, 2], for decarburization process to occur on the metal surface when heated in a furnace, the gaseous atmosphere shall not produce a very strong oxidizing effect. If the rate of oxidation is higher than that of carbon diffusion in steel, it enhances scale build-up whereby oxygen can oxidize both carbon and iron.

Although decarburized layer is mostly deemed to be detrimental, it has been argued that decarburization of wire rod surface can be advantageous to useful qualities of wire rods. Soft decarburized surface ensures improved flexural (bending) or torsional (twisting) ductility of metal resulting from low sensitivity to stress concentration factors, high resistance to crack propagation and higher corrosion resistance [3]. Compressive residual stresses occurring in a decarburized skin improve the fatigue life and increase the durability of steel-wire ropes [4]. Wire rods with more pronounced surface decarburization are less likely to form the hardened structures (martensite) in drawing operations due to surface cracking and cupping of the martensitic layer. However, in the process of cold drawing whereby metal is deformed by pulling wire rods through a series of drawing dies (monolithic system), maximum stresses develop on the surface of rolled products [3–5]. Therefore uniform distribution of structure on the surface and in the boundary layers is essential. This means that minimum and uniform depth of decarburization on the metal surface is a prerequisite for the production of high-quality HC rolled stock [3–7].

The paper [11] acknowledges the influence of micro-additives of boron on changes in the austenite grain size and accordingly the length of borders in high-carbon steels with austenitizing temperature increase within the range of 900...1100°C.

The purpose of work is to research the effect of austenite grain size on the decarburization depth in carbon (base) steel and boron micro-alloyed steel.

Keywords: decarbonized layer, austenite grain, rolled steel, microalloying, boron

Постановка проблеми. Одним из нежелательных и распространенных дефектов микроструктуры, который снижает качественные показатели высокоуглеродистого бунтового проката (катанки) и эксплуатационные характеристики изготавливаемых из него изделий, является обезуглероживание поверхности. При этом сопротивление металла знакопеременным нагрузкам определяется глубиной обезуглероженного слоя, то есть фактическим различием микроструктуры на поверхности от структуры основного металла. Известно [1; 2], что для развития процесса обезуглероживания на поверхности металла при нагреве в печи газовая атмосфера должна оказывать не очень сильное окислительное воздействие. Если скорость окисления будет больше скорости диффузии углерода в стали, то интенсифицируется окисление, и в этом случае кислород может окислять уже одновременно и углерод и железо.

В большинстве случаев обезуглероженный слой считается неудовлетворительным фактором, однако существует мнение и о положительном влиянии обезуглероживания поверхности бунтового проката на его потребительские свойства. Мягкая обезуглероженная поверхность обеспечивает повышенную пластичность металла при перегибах и скручиваниях из-за малой чувствительности к

концентраторам напряжений, высокой сопротивляемости распространению трещин, а также повышению коррозионной стойкости [3]. Формирование в поверхностном обезуглероженном слое остаточных сжимающих напряжений приводит к повышению усталостной прочности и долговечности в процессе эксплуатации стальных канатов [4]. В бунтовом прокате с более развитым поверхностным обезуглероживанием уменьшается вероятность образования закалочных структур (мартенсита) при волочении и вызываемых появлением мартенсита поверхностных трещин и надрывов. Однако при деформации металла способом холодного волочения путем протяжки бунтового проката через систему монолитных волок, максимальные напряжения сосредоточены на поверхности проката [3 - 5]. В связи с такой особенностью равномерность распределения структуры на поверхности и в приповерхностных слоях оказывает решающее воздействие. Следовательно, при изготовлении качественного сортамента высокоуглеродистого бунтового проката необходимо обеспечить минимальную и равномерную глубину обезуглероживания на поверхности металла [3–7].

Нагрев стальных заготовок перед горячей прокаткой в печах вызывает интенсивное развитие окисления, обеднение поверхностных слоев углеродом и пере-

распределение легирующих элементов в поверхностных слоях [8]. Обезуглероживание при нагреве происходит в результате взаимодействия окисляющих газов с углеродом, который находится в твердом растворе или связан в карбиды железа. Скорость обезуглероживания определяется главным образом процессом двусторонней диффузии, происходящей под воздействием разности градиента сред. С одной стороны, обезуглероживающие газы поступают к поверхностным слоям металла, а с другой, – образующиеся газообразные продукты, содержащие углерод, движутся в обратном направлении. При этом углерод из внутренних слоев металла диффундирует в поверхностный слой [9].

Поэтому обезуглероживание и окалинообразование, происходящие на

поверхности металла, в большинстве случаев рассматриваются совместно. При нагреве в печи металл окисляется кислородом, который входит в состав продуктов сгорания топлива. При нагреве стали выше температуры $1\ 100^{\circ}\text{C}$ в обычной слабоокислительной атмосфере окалинообразование на поверхности металла происходит быстрее, чем обезуглероживание [1; 2; 10].

В работе [1] показано, что глубина обезуглероживающего слоя зависит от температуры нагрева стали в окислительной среде. В соответствии с работой [2] (рис. 1) обезуглероживание стали начинается при температуре $\sim 650^{\circ}\text{C}$ и интенсивно протекает до температуры $\sim 850^{\circ}\text{C}$.

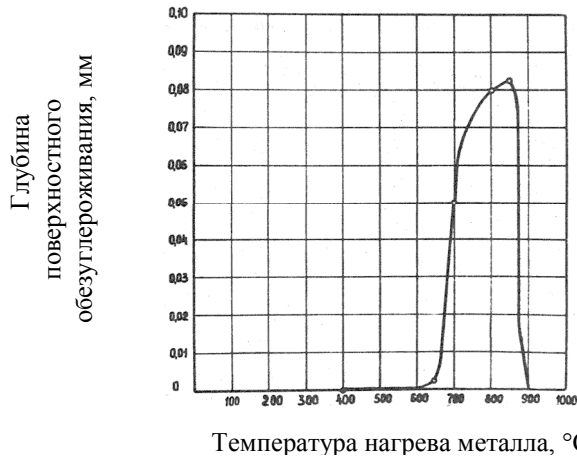


Рис. 1. Залежність глибини обезуглероживания від температури нагрівання сталі У6 [2]

Уменьшение глубины обезуглероживающего слоя происходит в интервале температур $850\text{...}900\text{ C}$, что соответствует началу интенсивного развития окалинообразования. Наряду с рассмотренными особенностями имеются данные о влиянии границ зерен на диффузионные процессы в стали, к которым относится и обезуглероживание, в частности, в работе [10] показан значительный вклад границ зерен в процессы диффузии.

В работе [11] отмечено влияние микродобавок бора на изменение величины аустенитного зерна, а соответственно и протяженность границ в высокоуглеродистых сталях при повышении температуры аустенитизации в интервале $900\text{...}1\ 100^{\circ}\text{C}$.

Ввиду изложенного *целью работы* являлось исследование влияния величины аустенитного зерна на глубину обезуглеро-

живания в углеродистой (базовой) стали и стали микролегированной бором.

Материал и методика исследований. Материалом для исследований служили промышленные партии бунтового проката из сталей марок С80D (диаметр 6,5 мм) и С86D (диаметр 10,0 мм), химический состав которых соответствовал требованиям европейского стандарта EN ISO 16120-2:2011 (табл. 1). Используемые приборы: нагревательная печь с защитной атмосферой «MF1600A», нагревательная печь «МПИМ-02», световой оптический микроскоп «Axiovert 200 M MAT». Аустенитное зерно выявляли методом травления микрошлифов в травильном растворе при температуре 50°C , который содержал поверхностно-активные вещества и пикриновую кислоту.

Таблиця 1

Химический состав исследуемого бунтового проката

Марка стали	Химический состав стали, % по масс.									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	N	B
C80D	0,81	0,57	0,18	0,009	0,002	0,05	0,03	0,12	0,008	-
C80D	0,82	0,55	0,17	0,010	0,003	0,04	0,05	0,13	0,009	0,0017
C86D	0,88	0,68	0,18	0,010	0,003	0,03	0,06	0,12	0,007	0,0012

Результаты исследований и их обсуждение. Проведение сравнительных исследований было разделено на два этапа:

- этап № 1: моделирование благоприятных температурно-временных параметров для развития и протекания обезуглероживания на поверхности проката из стали марки C80D;

- этап № 2: выпуск промышленных партий бунтового проката из стали марки C86D при варьировании параметров деформационно-термической обработки.

Для проведения экспериментов (этап № 1) от промышленных партий бунтового проката диаметром 6,5 мм отбирали по два образца длиной 50,0 мм для каждой из температур аустенитизации. Для исключения

влияния на результаты исследований глубины обезуглероженного слоя, сформированного с прокатного нагрева, предварительно произвели обточку всех образцов до диаметра 5,5 мм. Затем образцы подвергали аустенитизации в муфельной печи с защитной атмосферой «MF1600A» до температур 900...1100°C с интервалом 50°C. При достижении заданной температуры аустенитизации осуществляли выдержку в течение ~ 300 с. Первую партию образцов в количестве пять штук подвергали закалке, с последующим отпуском в течение 1 часа при температуре 230°C. Общее количество исследуемых образцов на этапе № 1 составляло 10 штук.

Таблиця 2

Изменение величины зерна стали C80D различного химического состава при различных температурах аустенитизации

Температура аустенитизации, °C	Исследуемый показатель			
	базовая сталь		сталь с бором	
	средний условный диаметр зерна, мм	номер зерна	средний условный диаметр зерна, мм	номер зерна
900	0,023	8	0,015	9
950	0,028	7	0,041	6
1000	0,034	7	0,067	5
1050	0,062	5	0,112	3
1100	0,088	4	0,172	2

Анализ полученных данных по определению величины аустенитного зерна (табл. 2) показывает, что при повышении температуры аустенитизации с 900 до 1150°C величина условного диаметра аустенитного зерна для базовой стали возрастает с 0,023 до 0,088 мм (номер зерна 8...4). В стали, микролегированной бором, средний условный диаметр аустенитного зерна вырос с 0,015 мм до 0,172 мм (номер зерна 9...2). В целом можно отметить, что при достижении температуры аустенитизации

950°C рост зерна в стали с бором происходит более интенсивно и на два номера превышает этот параметр в сравнении с базовой сталью. Такие результаты не противоречат ранее полученным [11; 12].

Для исследования развития поверхностного обезуглероживания вторую партию образцов в количестве пять штук помещали в муфельную печь с обычной атмосферой «МПМ-02», предварительно разогретую до температуры 800°C, выдерживали в течение 1 часа и далее охлаждали с печью.

Металлографический анализ (рис. 2) показал, что в исследуемых образцах с мелкозернистой структурой (номер зерна 8, 9) по всему периметру как для базовой, так и для стали с бором возникает обезуглероживание глубиной 0,060 и 0,050 мм, а частичное со-

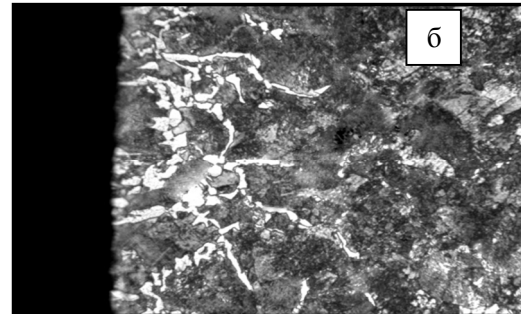
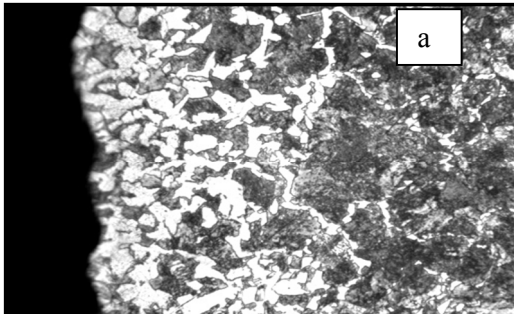


Рис. 2. Структура ($\times 200$) поверхности исследуемых образцов диаметром 5,5 мм из стали С80D с бором после проведения обезуглероживающей термической обработки: а – мелкозернистая структура, температура аустенитизации 900 °С; б – крупнозернистая структура, температура аустенитизации 1100 °С

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что с целью уменьшения глубины обезуглероженного слоя на поверхности металлопроката необходимо повышать величину аустенитного зерна (средний условный диаметр).

В работах [13; 14] показано, что размер аустенитного зерна в бунтовом прокате повышается при увеличении температуры виткообразования, что способствует формированию перлитной структуры с высокой степенью дисперсности (межпластиночное расстояние в перлите менее 0,20 мкм). Следовательно, для получения эффективной структуры металла из высокоуглеродистых сталей, которая характеризуется равномерным распределением дисперсного перлита в поперечном сечении проката и минимальной глубиной обезуглероженного слоя, целесообразно повышать температуру раскладки проката на витки с последующим ускоренным воздушным охлаждением.

Дальнейшие промышленные эксперименты (этап № 2) осуществляли на бунтовом прокате диаметром 10,0 мм из стали марки С86D (см. табл. 1). С целью проведения сравнительного анализа температуру на виткообразователе варьировали от 900 до 1 030 °С. Результаты металлографических исследований представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

Полученные результаты исследований на промышленных партиях бунтового про-

ката свидетельствуют о том, что при повышении температуры на виткообразователе наблюдается аналогичная тенденция (этап № 1): средний условный диаметр зерна повышается от 0,021 до 0,056 мм, а средняя глубина обезуглероженного слоя уменьшается более чем в 2 раза.

Общеизвестно, что металл с более крупным аустенитным зерном имеет меньшую протяженность зеренных границ [15], которые являются активными «каналами» для протекания диффузионных процессов. Это, в свою очередь, уменьшает интенсивность зернограницной диффузии углерода к поверхности металла, что в конечном итоге приводит к наблюдаемому эффекту – уменьшению глубины обезуглероженного слоя с ростом величины зерна. Указанная закономерность характерна как для лабораторных, так и промышленных условий.

Дополнительным стимулом, при прочих равных условиях, который обеспечивает повышение величины аустенитного зерна, является целенаправленный ввод бора в сталь.

Следовательно, получено еще одно доказательство позитивного влияния бора не только на повышение степени дисперсности перлитной структуры в высокоуглеродистых сталях, а и на уменьшение глубины обезуглероженного слоя бунтового проката в процессе высокотемпературной деформационно-термической обработки.

Таблиця 3

Величина зерна и глубина обезуглероженного слоя в бунтовом прокате стали С86D диаметром 10,0 мм при изменении температуры виткообразования

Температура виткообразования, °С	Средний условный диаметр зерна, мм	Номер зерна	Глубина обезуглероженного слоя ¹ , %
900	0,021	8	$\frac{1,23...1,51}{1,44}$
1 030	0,056	5	$\frac{0,49...0,88}{0,67}$

Примечание: 1 – в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее.

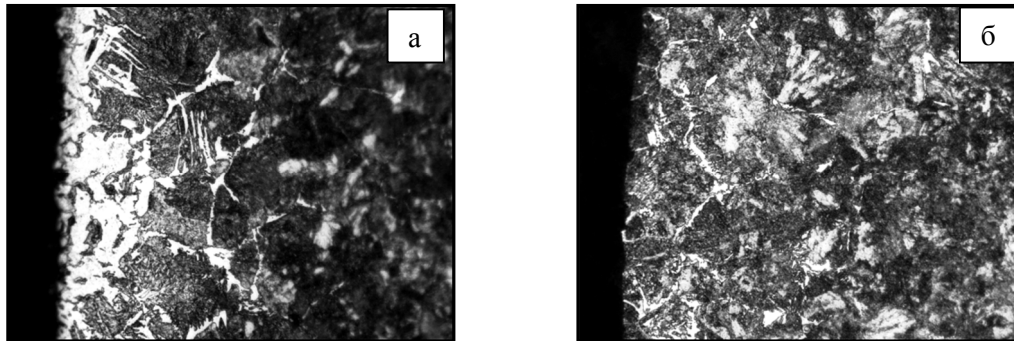


Рис. 3. Структура (×500) поверхности бунтового проката стали С86D диаметром 10,0 мм после охлаждения от различных температур виткообразования: а – температура виткообразования 900 °С, глубина обезуглероженного слоя 1,4 %; б – температура виткообразования 1 030 °С, глубина обезуглероженного слоя 0,63 %

Выводы. Показана взаимосвязь между величиной аустенитного зерна и формирующейся глубиной обезуглероженного слоя, как с отдельного, так и с прокатного нагрева. С целью уменьшения обезуглероживания на поверхности высокоуглеродистого бунтового проката целесообразно увеличивать величину зерна, что достигается путем целенаправленного ввода микродобавок бора в сталь и повышения температуры виткообразования

перед ускоренным воздушным охлаждением проката на линии Стелмор.

Установлено, что ввод микролегирующей добавки бора в сталь повышает величину аустенитного зерна (на 2 номера), что способствует уменьшению протяженности границ зерен и снижает интенсивность диффузионного массопереноса углерода к поверхности раздела металл – окислительная среда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кайстров Е. А. Борьба с обезуглероживанием в прокатных цехах / Е. А. Кайстров // Сталь. – 1950. – № 12. – С. 1106–1108.
2. Губинский В. И. Уменьшение окалинообразования при производстве проката / В. И. Губинский, А. Н. Минаев, Ю. В. Гончаров. – Київ : Техніка, 1981. – 135 с.
3. Изготовление высококачественных метизов (научный и практический опыт Белорецкого металлургического комбината) : коллектив. монография / науч. ред. и сост. В. А. Кулеша ; отв. ред. Н. А. Клековкина. – Белорецк : [б. и.], 1999. – 328 с.
4. Белалов Х. Н. Формирование свойств канатной проволоки / Х. Н. Белалов // Стальные канаты : сб. науч. тр. / Междунар. ассоциация исследователей стал. канатов. – Одесса, 2001. – Вып. 2. – С. 105-116.
5. Парусов В. В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки / В. В. Парусов, А. Б. Сычков, Э. В. Парусов. – Днепропетровск : Арт-пресс, 2012. – 376 с.
6. Глубина обезуглероженного слоя на углеродистой катанке различных заводов-изготовителей / В. В. Парусов, В. А. Луценко, А. Б. Сычков, В. А. Тищенко, А. И. Сивак // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 5. – С. 61–64.

7. Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. Ю. Столяров, М. А. Шекшеев, С. Ю. Жукова, С. О. Малашкин ; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. – Магнитогорск : Магн. гос. техн. универ. им. Г. И. Носова, 2014. – 257 с.
8. Луценко В. А. Окалинообразование при термомеханической обработке катанки в потоке высокоскоростного стана / В. А. Луценко // Черная металлургия : бюл. науч.-техн. и экон. информ. – 2006. – № 12. – С. 54–57.
9. Луценко В. А. Влияние параметров высокоскоростной термомеханической обработки на процессы окалинообразования углеродистой стали / В. А. Луценко // Литье и металлургия. – 2005. – № 2, ч. 2. – С. 96 - 98.
10. Физическое металловедение / под ред. Р. Кана. – Москва : Мир, 1968. – Вып. 2 : Фазовые превращения. Металлография. – 492 с.
11. Влияние величины зерна и других факторов на дисперсность перлита углеродистых сталей / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура, О. В. Парусов, И. Н. Чуйко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 73. – С. 186–190.
12. Влияние вида обработки на величину аустенитного зерна высокоуглеродистой стали / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура, А. И. Сивак // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Украины, Ин-т черной металлургии им. З. И. Некрасова. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 28. – С. 296–299.
13. Разработка режима термомеханической обработки катанки из стали 85, микролегированной бором, на основе закономерностей превращений аустенита при непрерывном охлаждении / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура, А. И. Сивак, А. П. Клименко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 3. – С. 54–58.
14. К вопросу о дислокационно-диффузионном генезисе пластинчатого перлита в высокоуглеродистом бунтовом прокате / Э. В. Парусов, С. И. Губенко, А. Б. Сычков, И. Н. Чуйко, Л. В. Сагура // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. научн. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 89. – С. 137–143.
15. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1986. – 542 с.

REFERENCES

1. Kajstrov E.A. *Borba s obezuglerozhivaniem v prokatnykh tsekhakh* [Fighting with decarbonization in rolling mills]. *Stal'* [Steel]. 1950, no 12, pp. 1106-1108. (in Russian).
2. Gubinskij V.I., Minaev A.N. and Goncharov Yu.V. *Umen'shenie okalinoobrazovaniya pri proizvodstve prokata* [Scaling decrease in the production of rolled products]. Kiev: Tekhnika, 1981, 135 p. (in Russian).
3. Kulesha V.A. and Klekovkina N.A., eds. *Izgotovlenie vysokokachestvennykh metizov* [Production of high-quality hardware]. Beloretsk: [s.n.], 1999, 328 p. (in Russian).
4. Belalov Kh.N. *Formirovanie svoystv kanatnoj provoloki* [Properties formation of the cable wire]. *Stal'nye kanaty* [Steel ropes]. Mezhdunar. assotsiatsiya issledovatelej stal. kanatov [The International Association of researchers of steel ropes]. Odessa, 2001, iss. 2, pp. 105-116. (in Russian).
5. Parusov V.V., Sychkov A.B. and Parusov E.V. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy proizvodstva vysokoefektivnykh vidov katanki* [Theoretical and technological bases of the production of highly effective types of wire rod]. Dnipropetrovsk: Art-press, 2012, 376 p. (in Russian).
6. Parusov V.V., Lutsenko V.A., Sychkov A.B., Tyshchenko V.A., and Sivak A.I. *Glubina obezuglerozhennogo sloya na ughlerodistoy katanke razlichnykh zavodov-izgotoviteley* [The depth of decarbonized layer on the carbon wire rod of various manufacturers]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost* [Metal and mining industry]. 2003, no 5, pp. 61-64. (in Russian).
7. Sychkov A.B., Zhygarev M.A., Stolyarov A.Yu., Sheksheev M.A., Zhukova S.Yu. and Malashkin S.O. *Metallurgicheskie i metallovedcheskie aspekty proizvodstva vysokouglerodistoy katanki* [Metallurgical and metallographic aspects of the production of high-carbon wire rod]. Magnitogorsk: MNTU im. G. I. Nosova, 2014, 257 p. (in Russian).
8. Lutsenko V.A. *Okalinoobrazovanie pri termomekhanicheskoy obrabotke katanki v potoke vysokoskorostnogo stana* [Scaling with the thermomechanical treatment in a stream of high-speed wire rod mill]. *Chernaya metallurgiya: byul. nauch.-tekhn. i ekon. inform.* [Ferrous metallurgy: Bulletin of scientific-engineering and economical information]. 2006, no 12, pp. 54-57. (in Russian).
9. Lutsenko V.A. *Vliyanie parametrov vysokoskorostnoy termomekhanicheskoy obrabotki na protsessy okalinoobrazovaniya ughlerodistoy stali* [Parameters influence of high thermo-mechanical treatment process on carbon steel scaling]. *Lit'e i metallurgiya* [Casting and metallurgy]. 2005, no 2, iss. 2, pp. 96-98. (in Russian).
10. Kan R. *Fizicheskoe metallovedenie* [Physical metallurgy]. Moskva: Mir, 1968, iss. 2, 492 p.
11. Parusov E.V., Parusov V.V., Sagura L.V., Parusov O.V. and Chuyko I.N. *Vliyanie velichiny zerna i drugikh faktorov na dispersnost perlita ughlerodistykh staley* [Influence of grain size and other factors on the dispersibility of carbon steels perlit]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Machine Engineering]. 2014, no 73, pp. 186-190. (in Russian).

- Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2014, no. 73, pp. 186-190. (in Russian).
12. Parusov E.V., Parusov V.V., Sagura L.V. and Sivak A.I. *Vliyanie vida obrabotki na velichiny austenitnogo zerna vysokouglerodistoy stali* [Influence of the treatment type on the value of the austenite grain of the high carbon steel]. *Fundamentalnye i prikladnye problemy chernoy metallurgii* [Fundamental and applied problems of the ferrous metallurgy]. Nats. akad. nauk Ukrainy, In-t chernoj metallurgii im. Z. I. Nekrasova [National Academy of Science of Ukraine, Institute of Ferrous Metallurgy named after Nekrasov Z.I.]. Dnepropetrovsk, 2014, no 28, pp. 296-299. (in Russian).
 13. Parusov E.V., Parusov V.V., Sagura L.V., Sivak A.I. and Klimenko A.P. *Razrabotka rezhima termomekhanicheskoy obrabotki katanki iz stali 85, mikrolegirovannoy borom, na osnove zakonomernostey prevraschenij austenita pri nepreryvnom okhlazhdenii* [Development of thermomechanical processing mode of steel rod 85, microalloyed boron, based on austenite patterns under continuous cooling transformation]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2015, no 3, pp. 54-58. (in Russian).
 14. Parusov E.V., Gubenko S.I., Sychkov A.B., Chuyko I.N. and Sagura L.V. *K voprosu o dislokatsionno-diffuzionnom genezise plastinchatogo perlita v vysokouglerodistom buntovom prokate* [On the matter of dislocation-diffusion genesis of lamellar pearlite in high-carbon coil-rod mill products]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury [Prydniprovs'ka State Academy of Civil Construction and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2016, no. 89, pp. 137-143.
 15. Gulyaev A.P. *Metallovedenie* [Metal Science]. Moskva: Metallurgiya, 1986, 542 p. (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Большаков В. И.

Надійшла до редколегії: 24.07.2016 р.

Прийнята до друку: 29.07.2016 р.

УДК 658.5

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

МЕНЕЙЛЮК А. И.¹, д. т. н., проф.,
ЛОБАКОВА Л. В.², асп.

¹ Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Одесская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +38(048)7236151, e-mail: kafedra.tsp@mail.ru.

^{2*} Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Одесская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Дидрихсона, 4, 65029, Одесса, Украина, тел. +38(048)7236151, e-mail: kafedra.tsp@mail.ru.

Аннотация. Постановка проблемы. Несоответствие промышленных предприятий, построенных во времена СССР, сегодняшним требованиям, а также существенный технический прогресс, реформирование экономики и переход к рыночным принципам оценки эффективности приводят к необходимости изменения их целевого и функционального назначения. Техническое состояние многих промышленных зданий в Украине позволяет эксплуатировать их еще не одно десятилетие. Перепрофилирование производственных предприятий позволяет не только снизить стоимость строительных работ, но и получать новые объекты в черте города. Несмотря на большое количество промышленных зданий, потерявших свою эффективность и актуальность, а также значительный интерес со стороны инвесторов к данным объектам, сфера перепрофилирования в строительстве остается мало изученной. **Анализ публикаций.** Проблема реконструкции промышленных зданий рассмотрена в работах Д. В. Топчия [3], В. И. Травина [9] и других ученых. Однако отсутствуют указания в нормативных документах, а также системные исследования по совершенствованию организации реконструкции зданий при перепрофилировании. **Целью** данной работы является разработка алгоритма действий по выбору эффективных организационных решений на этапе планирования проекта перепрофилирования промышленных зданий. Предложенный алгоритм позволит выбрать эффективное организационно-технологическое решение по перепрофилированию промышленных зданий с учетом особенностей здания, его месторасположения, состояния его конструкций и действующих ограничений. Выбранное с помощью предложенного алгоритма наиболее эффективное организационное решение позволит реализовать проект перепрофилирования промышленного здания в наиболее возможные короткие сроки и с использованием минимально возможных материальных ресурсов с учетом имеющихся особенностей и ограничений. **Выводы.** Каждый объект перепрофилирования имеет ряд уникальных особенностей, которые необходимо учитывать при выборе эффективного варианта перепрофилирования. Выбор эффективного решения реализации проектов перепрофилирования зданий рекомендуется проводить в соответствии с разработанным алгоритмом с целью логичного и исключающего ошибки достижения конечного результата.

Ключевые слова: перепрофилирование; планирование проекта; выбор эффективного варианта; алгоритм действий

АЛГОРИТМ ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОГО РІШЕННЯ ЩОДО ПЕРЕПРОФІЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ БУДИНКІВ

МЕНЕЙЛЮК О. І.¹, д. т. н., проф.,
ЛОБАКОВА Л. В.², асп.

¹ Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Одеська державна академія будівництва та архітектури», вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (048) 7236151, e-mail: kafedra.tsp@mail.ru.

^{2*} Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Одеська державна академія будівництва та архітектури», вул. Дідріхсона, 4, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (048) 7236151, e-mail: kafedra.tsp@mail.ru

Аноація. Постановка проблеми. Невідповідність промислових підприємств, побудованих за часів СРСР, сьгоднішнім вимогам, а також істотний технічний прогрес, реформування економіки і перехід до ринкових принципів оцінювання ефективності викликають необхідність зміни їх цільового та функціонального призначення. Технічний стан багатьох промислових будівель в Україні дозволяє експлуатувати їх ще не одне десятиліття. Перепрофілювання виробничих підприємств дозволяє не тільки знизити вартість будівельних робіт, а й отримувати нові об'єкти в межах міста. Незважаючи на велику кількість промислових будівель, які втратили свою ефективність і актуальність, а також значний інтерес із боку інвесторів до даних об'єктів, сфера перепрофілювання в будівництві залишається мало вивченою. **Аналіз публікацій.** Проблема реконструкції промислових будівель розглянута в працях Д. В. Топчія [3], В. І. Травіна [9], а також інших учених. Але відсутні вказівки в нормативних документах, а також системні дослідження з удосконалення організації реконструкції будівель під час перепрофілювання. **Мета роботи** - розроблення алгоритму дій щодо вибору ефективних організаційних рішень на етапі планування проекту перепрофілювання промислових будівель. Запропонований алгоритм дозволить вибрати ефективне організаційно-технологічне рішення щодо перепрофілювання

промислових будівель з урахуванням особливостей будівлі, її місця розташування, стану конструкцій і діючих обмежень. Обране за допомогою запропонованого алгоритму найбільш ефективне організаційне рішення дозволить реалізувати проект перепрофілювання промислової будівлі в якнайкоротший терміни і з використанням мінімально можливих матеріальних ресурсів з урахуванням наявних особливостей та обмежень.

Висновки. Кожен об'єкт перепрофілювання має низку унікальних особливостей, які необхідно враховувати, вибираючи ефективний варіант перепрофілювання. Вибір ефективного рішення реалізації проектів перепрофілювання будівель рекомендується проводити відповідно до розробленого алгоритму з метою логічного досягнення кінцевого результату.

Ключові слова: перепрофілювання; планування проекту; вибір ефективного варіанта; алгоритм дій

ALGORITHM OF SELECTION EFFECTIVE SOLUTIONS FOR REPROFILING OF INDUSTRIAL BUILDINGS

MENEJLJUK A. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
LOBAKOVA L. V.², *postgraduate.*

¹ Department of Technology of Building Production, State Higher Educational Establishment «Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture », Didrihsona Street, 4, 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38 (048) 7236151, e-mail: kafedra.tsp@mail.ru.

^{2*} Department of Technology of Building Production, State Higher Education Establishment «Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture », Didrihsona Street, 4, 65029, Odessa, Ukraine, tel. +38 (048) 7236151, e-mail: kafedra.tsp@mail.ru.

Summary. Raising of problem. Non-compliance requirements of today's industrial enterprises, which were built during the Soviet period, as well as significant technical progress, economic reform and transition to market principles of performance evaluation leading to necessity to change their target and functionality. The technical condition of many industrial buildings in Ukraine allows to exploit them for decades. Redesigning manufacturing enterprises allows not only to reduce the cost of construction, but also to obtain new facilities in the city. Despite the large number of industrial buildings that have lost their effectiveness and relevance, as well as a significant investor interest in these objects, the scope of redevelopment in the construction remains unexplored. **Analysis researches on the topic.** The problem of reconstruction of industrial buildings considered in Topchy D. [3], Travin V. [9], as well as in the work of other scientists. However, there are no rules in regulatory documents and system studies for improving the organization of the reconstruction of buildings at realigning. **The purpose** of this work is the development an algorithm of actions for selection of effective organizational decisions at the planning stage of a reprofiling project of industrial buildings. The proposed algorithm allows you to select an effective organizational and technological solution for the re-profiling of industrial buildings, taking into account features of the building, its location, its state of structures and existing restrictions. The most effective organizational solution allows realize the reprofiling project of an industrial building in the most possible short terms and with the lowest possible use of material resources, taking into account the available features and restrictions. **Conclusion.** Each object has a number of unique features that necessary for considering at choosing an effective reprofiling variant. The developed algorithm for selecting effective decisions of reprofiling buildings is recommended for use in accordance with for the purpose of logical and errors excluding the final result.

Keywords: reprofiling; project planning; choice of effective variants; algorithm of actions

Постановка проблеми. Несоответствие промышленных предприятий, построенных во времена СССР, современным требованиям, а также существенный технический прогресс, реформирование экономики и переход к рыночным принципам оценки эффективности приводят к необходимости изменения их целевого и функционального назначения. Техническое состояние многих промышленных зданий в Украине позволяет эксплуатировать их еще не одно десятилетие. Большинство таких зданий находится на территориях населенных пунктов. Развитие городов привело к значительному увеличению их территорий, в результате чего промышленные предприятия, построенные

когда-то на окраинах, оказались в пределах или даже в центральных частях городов.

Перепрофилирование производственных предприятий позволяет не только снизить стоимость строительных работ, но и получать новые объекты в черте города. Несмотря на большое количество промышленных зданий, потерявших свою эффективность и актуальность, а также значительный интерес со стороны инвесторов к данным объектам, сфера перепрофилирования в строительстве остается малоизученной.

Следовательно, исследования, посвященные выбору эффективных моделей реконструкции промышленных зданий при

перепрофилировании, являются в настоящее время актуальными.

Постановка задачи. Существует множество вариантов реализации проектов перепрофилирования зданий. Основной задачей данной работы является разработка рекомендаций и алгоритма действий по выбору эффективных организационных решений на этапе планирования проекта перепрофилирования промышленных зданий с целью усовершенствования организации работ.

Изложение материала. Выбор эффективного варианта реализации проектов перепрофилирования является одной из самых важных задач на этапе планирования проекта. При этом необходимо учесть большое количество особенностей проекта.

В первую очередь необходимо определить состояние несущих конструкций, коммуникаций, оборудования, конструктивных узлов при предварительном общем осмотре здания, определить степень их износа. Также необходимо определить конструктивные характеристики здания в общем.

Оценкой физического износа зданий и сооружений занимаются специальные «Бюро технической инвентаризации» и другие специализированные организации. Они составляют технический паспорт с описанием конструкций и элементов здания, также его параметров: объема, жилой площади с указанием планов этажей здания и земельных участков. При этом для каждой конструкции здания указывается физический износ за определенное время. Физический износ устанавливают визуально или с помощью специального оборудования, пользуясь нормативным документом «Правила оцінки фізичного зносу будинків» (приказ № 52 от 02.07.93, утвержденный Государственным комитетом Украины по жилищно-коммунальному хозяйству). К нему приложены таблицы с описанием дефектов и повреждений конструкций и соответствующих этим описаниям процентов физического износа конструкции. Величина процента физического износа –

это стоимость ремонта в процентах от стоимости здания, построенного в настоящее время. Называют такую величину еще восстановительной стоимостью [2; 9].

Предварительное обследование здания проводится для:

- выявления степени коррозионного износа несущих металлоконструкций, степени износа деревянных и железобетонных конструкций;
- выявления деформации отдельных элементов или конструкций;
- выявления нарушения геометрических размеров сечений элементов;
- выявления различных дефектов, механических повреждений, трещин;
- выявления неблагоприятного влияния сырости и агрессивных сред на конструктивные элементы.

Дефекты и повреждения, которые накапливаются в зданиях и сооружениях, подразделяют на три категории. К первой категории принадлежат дефекты и повреждения, устраняемые заменой конструктивных элементов, ко второй – устраняемые усилением элементов, а к третьей – устраняемые при текущем или капитальном ремонте [1].

В процессе обследования оценка состояния несущих элементов конструкции может осуществляться с помощью визуального осмотра всех конструктивных элементов и инструментальной проверки прочностных характеристик материалов элементов конструкции.

Важным показателем проекта является его техническая целесообразность. Так, определение конструктивных характеристик здания в общем необходимо для понимания, возможно ли перепрофилирование данного объекта в желаемый. На этом этапе определяется возможность перепрофилирования существующего сооружения в иные типы, так как не все объекты могут быть перепрофилированы в объекты с заранее определенными характеристиками, или же это технически нецелесообразно. Например, из жилого здания нерационально делать торговый центр, поскольку такие конструктивные характеристики как

недостаточно высокие потолки, близко расположенные несущие колонны и др. не дают возможности перепрофилирования или потребуются слишком большие затраты труда и материальных ресурсов.

Также важнейшим показателем является экономическая целесообразность проекта. Перепрофилирование здания будет экономически целесообразным, если оно будет более выгодно, чем новое строительство, с учетом не только стоимостных характеристик, но и временных.

Существует множество вариантов расчета экономической целесообразности проектов. Для предварительной оценки условно затраты на реконструкцию по сравнению с возведением нового здания можно выразить соотношением:

$$\frac{C_{рек.}}{B_{рек.}} \leq \frac{C_{нов.}}{B_{нов.}}, \quad (1)$$

где $C_{рек.}$ – стоимость работ по реконструкции здания с перепрофилированием; $C_{нов.}$ – стоимость возведения нового здания с теми же характеристиками; $B_{рек.}$ – время службы здания после реконструкции; $B_{нов.}$ – время службы нового здания.

Если данное условие выполняется, т. е. соотношение $\frac{C_{рек.}}{B_{рек.}}$ меньше соотношения $\frac{C_{нов.}}{B_{нов.}}$, то реконструкция здания является экономически целесообразным проектом [5].

Важным также является географический фактор или расположение объекта реконструкции. Имеет большое значение целесообразность расположения объекта. Например, нерационально менять целевое назначение, например, ангара, который находится далеко от населенного пункта в поле, на выставочный зал или супермаркет.

Если здание, которое подлежит перепрофилированию, находится в черте города, необходимо учесть, что проведение строительных работ в городских условиях включает такие трудности как стесненные условия строительных работ, условия механизации и транспортировки грузов, а

также ограничивает действия, которые могут нанести вред постройкам близости.

По результатам обследования здания составляется техническое заключение, которое содержит следующие документы:

1. Задание на техническое обследование, подписанное ответственным представителем заказчика или застройщика.

2. Пояснительную записку, в которой присутствует описание здания, площадки его размещения и прилегающей территории, результаты материалов архивных исследований, подробное описание конструкций и их технического состояния, включая расчеты прочности (основания, фундаменты, системы инженерного оборудования, колонны, перекрытия, лестницы, стены, фасады и т.д.). В пояснительной записке должно быть подробное описание деформаций и повреждений в здании или сооружении; характеристика существующих планировочных решений, строительные обмеры, геологические и гидрологические условия площадки, сведения о техническом состоянии прилегающей застройки.

3. Чертежи: ситуационный план, план участка на топографической съемке, планы этажей с указанием конструкций, деформаций, повреждений, план фасадов.

При необходимости к техническому заключению добавляют фотографии дефектов и повреждений конструкций здания [4; 6; 7].

При проведении реконструкции с перепрофилированием можно столкнуться с рядом ограничений, связанных с особенностями проектов. Такими ограничениями могут быть:

- сроки реконструкции;
- стоимость работ по реконструкции с перепрофилированием;
- интенсивность финансирования;
- способ финансирования;
- ограничение в количестве рабочих;
- ограничение в количестве рабочих часов в неделю;
- другие ограничения.

Перед началом проведения работ по перепрофилированию здания необходимо

получить пакет разрешительной документации на работы по перепрофилированию здания.

Состав разрешительной документации:

- разрешение на проектирование;
- общая пояснительная записка;
- строительно-конструктивное решение;
- разрешение на выполнение работ по реконструкции объекта;
- архитектурно-планировочное задание;
- задание от инспекции по охране памятников архитектуры;
- решение по инженерному обеспечению, в том числе разрешение на присоединение к существующим инженерным сетям и коммуникациям или подтверждение существующего присоединения;
- технический паспорт объекта с указанием степени физического износа конструкций и инженерного оборудования;
- сметная документация;
- акт экспертизы здания;
- другие документы, запрашиваемые соответствующими службами населенного пункта [3].

Для определения наиболее эффективного варианта реализации проекта перепрофилирования здания был разработан представленный ниже алгоритм. Он учитывает особенности проведения реконструкции с перепрофилированием, состояние несущих конструкций здания, его расположение, ограничения, действующие во время реализации проекта.

Алгоритм:

1. Определить конструктивные характеристики здания.
2. Определить состояние несущих конструкций, коммуникаций, инженерного оборудования.
3. Выяснить, возможно ли перепрофилирование данного здания в необходимое, следуя нормам (санитарным, строительным, пожарным, экологическим и др.).
4. Определить экономическую целесообразность выполнения перепрофилирования.

5. Определить целесообразность расположения объекта с новым целевым назначением.

6. Определить техническую целесообразность проведения перепрофилирования.

7. Провести инженерно-геологические изыскания и сделать соответствующие расчеты нагрузки на грунты в том случае, если при перепрофилировании здания увеличиваются или перераспределяются нагрузки на грунт.

8. Определить методы усиления конструкции здания, если необходимо, и методы проведения строительных работ.

9. В случае проведения работ в части здания согласовать процессы перепрофилирования и процессы, происходящие в другой части здания.

10. Получить пакет разрешительной документации на работы по перепрофилированию здания.

11. Составить перечень работ, необходимых для перепрофилирования здания, с учетом особенностей здания, и произвести взаимную увязку работ во времени.

12. Определить проектные объемы работ и затраты труда рабочих.

13. Определить перечень необходимых стройматериалов, оборудования, машин и механизмов, затраты на их использование по каждому процессу.

14. Для выбора наиболее эффективного варианта перепрофилирования с помощью экспериментально-статистического моделирования необходимо:

- составить перечень показателей эффективности производственных процессов;
- назначить варьируемые факторы и уровни их изменения;
- выбрать план проведения численного эксперимента в соответствии с математической теорией планирования;
- построить необходимое количество вариантов моделей проекта в соответствии с намеченным планом;
- определить аналитические зависимости показателей эффективности от варьируемых факторов в исследуемых граничных

пределах с помощью математического моделирования;

- построить графики этих зависимостей (для удобства использования);
- ввести действующие ограничения;
- выполнить анализ полученных моделей;
- выбрать эффективный вариант проекта перепрофилирования в зависимости от имеющихся граничных условий на основе анализа моделей.

Выводы. 1. Каждый объект перепрофилирования имеет ряд уникальных особенностей, которые необходимо учитывать при выборе эффективного варианта перепрофилирования.

2. Выбор эффективного варианта реализации проектов перепрофилирования зданий следует проводить в соответствии с разработанным алгоритмом с целью логичного и исключающего ошибки достижения конечного результата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авдейчиков Г. В. Испытание строительных конструкций / Г. В. Авдейчиков. – Москва : АСВ, 2009. – 160 с.
2. Обследование и испытание зданий и сооружений / Сыктывкар. лесн. ин-т ; сост. В. В. Бобров. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – 82 с.
3. Состав, порядок оформления, согласования и утверждения проектной документации для строительства : ДБН А.2.2-3-2004 / Гос. комитет Украины по стр-ву и архитектуре. – Взамен ДБН А.2.2-3-97 ; введ. 2004.07.01. – Киев, 2004. – Режим доступа: <http://www.cogeneration.com.ua/img/zstored/dbn-a.2.2-3-2004.pdf>.
4. Топчий Д. В. Реконструкция и перепрофилирование производственных зданий : монография / Д. В. Топчий. – Москва : АСВ, 2008. – 144 с.
5. Баронин С. А. Организация, планирование и управление строительством. / С. А. Баронин, С. А. Болотин, П. Г. Грабовый ; под. ред. П. Г. Грабового, А. И. Солунского. – Москва : Проспект, 2012. – 528 с.
6. Обследование и испытание зданий и сооружений / [В. Г. Козачек, Н. В. Нечаев, С. Н. Нотенко, В. И. Ркмшин, А. Г. Ройтман ; под ред. В. И. Римшина]. – 2-е изд. – Москва : Высшая школа, 2004. – 447 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/1048981/>.
7. Ефремова О. С. Организация безопасной эксплуатации зданий и сооружений / О. С. Ефремова. – Москва : Альфа-Пресс, 2007. – 184 с.
8. Рюмкина В. Г. Обзор мирового опыта сохранения индустриального наследия / В. Г. Рюмкина // Сборник докладов конференции «Пути сохранения и пропаганды исторического наследия ОАО «РЖД», 16 - 17 декабря 2008 г., Москва / сост. МОО «ВОЛЖД» (Общество любителей железных дорог) ; под общ. ред. А. Б. Вульфова. – 2008. – Режим доступа: <http://volzd.ru/conference1-doc16.html>.
9. Травин В. И. Капитальный ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий / В. И. Травин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2004. – 256 с.
10. A review of methods and algorithms for optimizing construction scheduling / J. Zhou, P. E. D. Love, X. Wang, K. L. Teo, Z. Irani // Journal of the Operational Research Society. – 2013. – Vol. 64, № 8. – P. 1091–1105.
11. Subcontractors scheduling on residential building construction sites / T. Benoist, A. Jeanjean, G. Rochart, H. Cambazard, E. Grellier, N. Jussien. – 2006. – 6 p. – Available at: <http://pagesperso.g-scop.grenoble-inp.fr/~cambazah/page2/assets/benoist-iss06.pdf>.
12. Myers R. H. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments / Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery. – 2nd ed. – Ntw York : John Wiley & Sons, 2002. – 798 p.
13. O`Kelly E. Conversions / E. O`Kelly, C. Dean. – 1st ed. – London : Laurence King, 2007. – 208 p. – Available at: https://books.google.com.ua/books?id=fVMvkOBw7OcC&pg=PT220&dq=O%60Kelly+E.+Conversions&hl=ru&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=O%60Kelly%20E.%20Conversions&f=false.

REFERENCES

1. Avdejchikov G.M. *Ispytanie stroitel'nykh konstruksij* [Testing of building constructions]. Moskva: ASV, 2009, 160 p. (in Russian)
2. Bobrov V.V. *Obsledovanie i ispytanie zdaniy i sooruzhenij* [Inspection and testing of buildings and structures]. Syktyvkar: SLI, 2012, 82 p. (in Russian)
3. Gos. komitet Ukrainy po str-vu i arkhitekture. *Sostav, poryadok oformleniya, soglasovaniya i utverzhdeniya proektnoj dokumentatsii dlya stroitel'stva: DBN A.2.2-3-2004* [The composition, policies, coordination and approval of project documentation for construction]. Kiev, 2014. Available at: <http://www.cogeneration.com.ua/img/zstored/dbn-a.2.2-3-2004.pdf> (in Russian)
4. Topchij D.V. *Rekonstruktsiya i pereprofilirovanie proizvodstvennykh zdaniy* [Renovation and conversion of industrial buildings]. Moscow: ASV, 2008, 144 p. (in Russian)

5. Baronin S.A., Bolotin S.A. and Grabovyy P.G. *Organizatsiya, planirovanie i upravlenie stroitel'stvom* [Organization, planning and management construction]. Moskva: Prospekt, 2012, 528 p. (in Russian)
6. Kozachek V.G., Nechaev N.V., Notenko S.N., Rkmslin V.I. and Rojzman A.G. *Obsledovanie i ispytanie zdanij i sooruzhenij* [Inspection and testing of buildings and structures]. Moskva: Vysshaya shkola, 2004, 447 p. Available at: <http://www.twirpx.com/file/1048981/>. (in Russian)
7. Efremova O.S. *Organizatsiya bezopasnoj ekspluatatsii zdanij i sooruzhenij* [Organization of the safe operation of buildings and structures]. Moskva: Alfa-Press, 2007, 184 p. (in Russian)
8. Ryumkina V.G. *Obzor mirovogo opyta sokhraneniya industrial'nogo naslediya* [Overview of international experience of industrial heritage conservation]. *Sbornik dokladov konferentsii «Puti sokhraneniya i propagandy istoricheskogo naslediya OAO «RZhD», 16-17 dekabrya 2008 g.* [Proceedings of the conference "Ways to preserve and promote the historical heritage of "Russian Railways", December 16-17, 2008]. MOO «VOLZhD» (Obshchestvo ljubitelej zheleznih dorog) [IPO "VOLZhD" (Society of Railway enthusiasts)]. 2008. Available at: <http://volzd.ru/conference1-doc16.html>. (in Russian)
9. Travin V.I. *Kapital'nyj remont i rekonstruktsiya zhilykh i obshchestvennykh zdanij* [Overhaul and reconstruction of residential and public buildings]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2004, 251 p. (in Russian)
10. Zhou J., Love P.E., Wang X., Teo K.L. and Irani.AZ. *A review of methods and algorithms for optimizing construction scheduling. Journal of the Operational Research Society.* 2013, vol. 64, no. 8, pp. 1091–1105.
11. Benoist T., Jeanjean A., Rochart G., Cambazard H., Grellier E. and Jussien N. *Subcontractors scheduling on residential building construction sites.* 2006, 6 p. Available at: <http://pagesperso.g-scop.grenoble-inp.fr/~cambazah/page2/assets/benoist-iss06.pdf>.
12. Myers R.H. and Montgomery D.C. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments.* New York: John Wiley & Sons, 2002, 798 p.
13. O'Kelly E. and Dean C. *Conversions.* London: Laurence King, 2007, 208 p. Available at: https://books.google.com.ua/books?id=fVMvkOBw7OcC&pg=PT220&dq=O%60Kelly+E.+Conversions&hl=ru&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=O%60Kelly%20E.%20Conversions&f=false.

Рецензент: д-р т. н., доц. Галушко В. А.

Надійшла до редколегії: 24.05.2016 р.

Прийнята до друку: 23.06.2016 р.

УДК 697.34

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С УЧЁТОМ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

ЗБАРАЗ Л. І.¹, к. т. н., доц.,

ПАВЛОВА В. Г.², к. т. н., н. с., асист.

¹ Кафедра теплотехники и энергоэффективных технологий, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, 61002, Харьков, Украина, тел. +38 (0577) 707-69-23 e-mail Zbaraz_Len@ukr.net ORCID ID 0000-0003-2912-0375

² Кафедра теплотехники и энергоэффективных технологий, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, 61002, Харьков, Украина, тел. +38 (0577) 707-69-23, e-mail paviktory@ukr.net, ORCID ID 0000-0002-1966-4945

Аннотация. Постановка проблемы. В последнее время в связи со значительным подорожанием энергоресурсов снижение прямых затрат на теплоснабжение становится приоритетной проблемой. В работе коммунальных предприятий особую актуальность приобретает оптимизация работы энергетического оборудования системы теплоснабжения, направленная на снижение прямых затрат. **Научная новизна.** В результате проведенных исследований получен закон изменения напора на источнике при качественно-количественном методе регулирования. **Результаты.** Разработана математическая модель работы разветвленной тепловой сети децентрализованного источника теплоснабжения, с помощью которой проанализированы различные методы регулирования тепловой нагрузки и найден оптимальный.

Ключевые слова: математическое моделирование, тепловая сеть, метод регулирования, температурный график, напор на источнике

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ

ЗБАРАЗ Л. І.¹, к. т. н., доц.,

ПАВЛОВА В. Г.², к. т. н., н. с., асист.

¹ Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (0577) 707-69-23 e-mail Zbaraz_Len@ukr.net ORCID ID 0000-0003-2912-0375

² Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (0577) 707-69-23 e-mail paviktory@ukr.net ORCID ID 0000-0002-1966-4945

Анотація. Постановка проблеми. Останнім часом у зв'язку зі значним подорожанням енергоресурсів зниження прямих витрат на тепlopостачання стає пріоритетною проблемою. У роботі комунальних підприємств особливої актуальності набуває оптимізація роботи енергетичного устаткування системи тепlopостачання, спрямована на зниження прямих витрат. **Наукова новизна.** У результаті проведених досліджень отримано закон зміни напору на джерелі за якісно-кількісного методу регулювання. **Результати.** Розроблено математичну модель роботи розгалуженої теплової мережі децентрализованого джерела тепlopостачання, за допомогою якої проаналізовано різні методи регулювання теплового навантаження і знайдено оптимальний.

Ключові слова: математичне моделювання, тепла мережа, метод регулювання, температурний графік, напір на джерелі

MATHEMATICAL MODELLING OF OPERATION HEAT NETWORKS IN VIEW OF HEAT LOSS

ZBARAZ L. I.¹, Ph. D., Ass. Prof.

PAVLOVA V. G.², Ph. D., Asist., research scientist.

¹ Department of Thermal Engineering and Energy-Efficient Technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», st. Frunze, 21, 61002 Kharkov, Ukraine. Tel. +38 (0577) 707-69-23 e-mail Zbaraz_Len@ukr.net ORCID ID 0000-0003-2912-0375

² Department of Thermal Engineering and Energy-Efficient Technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», st. Frunze, 21, 61002 Kharkov, Ukraine. Tel. +38 (0577) 707-69-23 e-mail paviktory@ukr.net ORCID ID 0000-0002-1966-4945

Annotation. Goal. In recent years, due to a significant rise in price of energy, the reduction of direct costs for heating becomes a priority. In the utilities especially important to optimization of energy heating system equipment. During transport of thermal energy in the distribution networks thermal losses occur along the length of the hydraulic pipes and the coolant pumping losses. These loss-dependence of the particular distribution network. Changing

temperature and the hydraulic regime at the source necessary to achieve the minimum cost of transport for today acting tariffs for energy. **Scientific novelty.** The studies received law changes head to the source at the qualitative and quantitative methods of regulation. **Results.** A mathematical model of an extensive network of decentralized heat source heating, which are analyzed using different methods of regulating and found the best.

Keywords: *mathematical modeling, thermal network, control method, temperature schedule, head to the source*

Введение. Наличие протяжённых тепловых сетей и большого числа потребителей делает актуальным вопрос о регулировке тепловой нагрузки с учётом тепловых потерь по длине теплотрассы. Удалённость источника теплоснабжения от потребителей тепла приводит к тому, что тепловые потери могут достигать 20...25 % от подключённой тепловой нагрузки. Следовательно, при подборе элеваторных узлов и сужающих устройств необходимо учитывать не только гидравлические потери по длине трубопроводов, но и тепловые потери через тепловую изоляцию сети.

Компенсировать тепловые потери можно следующими способами [2]:

1) увеличением температуры в подающем трубопроводе (качественный метод регулирования);

2) увеличением расхода теплоносителя на источнике (количественный метод регулирования);

3) увеличением и температуры, и расхода теплоносителя в системе теплоснабжения (качественно-количественный метод регулирования).

В любом случае расход теплоносителя у потребителей будет выше расчётного.

Цель и задачи - разработать математическую модель системы теплоснабжения, с помощью которой исследовать прямые затраты теплоснабжающих организаций и методы регулирования тепловой нагрузки и выбрать оптимальный.

Научная новизна. В литературе достаточно хорошо освещены вопросы регулировки расхода и температур теплоносителя от температуры наружного воздуха [2-4; 6-8].

Вместе с тем для регулировки гидравлического режима необходимо задать закон изменения напора на источнике. Определена зависимость изменения напора на источнике от температуры наружного

воздуха при качественно-количественном методе регулирования.

Изложение материала. Рассмотрим реальную систему теплоснабжения в пос. Большая Рогань, от котельной по ул. Ленина, 66, Харьковского района Харьковской области [1] с одним источником и 18 потребителями, подключёнными по трём контурам тепловых сетей, отходящим непосредственно от источника (рис. 1).

При тепловой нагрузке 2,82 Гкал/час и тепловых потерях в сетях 13,67 %, расход теплоносителя при качественном методе регулирования и температурном графике 95-70°C увеличивается с 112,8 м³/час до 128,22 м³/час. Этот дополнительный расход 15,42 м³/час необходимо компенсировать у потребителей. Здесь может быть два подхода к вопросу регулирования:

1) увеличить расход пропорционально подключённой нагрузке, независимо от удаления потребителя от источника;

2) увеличить расход через потребителя пропорционально подключённой нагрузке с учётом удаления от источника и способа прокладки тепловых сетей.

На наш взгляд, правильным будет второй метод, поскольку тепловые потери в сети зависят от протяжённости и способа прокладки, а не от подключённой нагрузки. Таким образом, регулировка системы теплоснабжения включает в себя расчёт тепловых потерь по длине трубопроводов и корректировку расхода у каждого потребителя.

Перечень потребителей с указанием тепловой нагрузки каждого приведен в таблице 1. Расчёт тепловых потерь по длине трубопроводов выполнен на основании МУ 34-70-080-84 [5].

Расчётные потери до потребителей (табл. 1) определены отдельно для каждого участка трубопровода (с учетом способа прокладки, вида тепловой изоляции и т. д.)

Анализ схемы подключения каждого потребителя дает возможность увеличивать расход (или нагрузку) пропорционально нагрузке данного потребителя.

Так, например, тепловые потери в крыле 3 на участке между котельной и ТК15 распределяются между тремя потребителями пропорционально их

нагрузке. Тепловые потери на участке между ТК15 и ТКА распределяются между двумя потребителями пропорционально нагрузке. Тепловые потери между ТКА и ж/д по ул. Ленина, 72 суммируются с тепловой нагрузкой дома. По такому же принципу определён расход системы отопления остальных потребителей.

Схема теплоснабжения с. Рогань, кот. ул. Ленина, 66

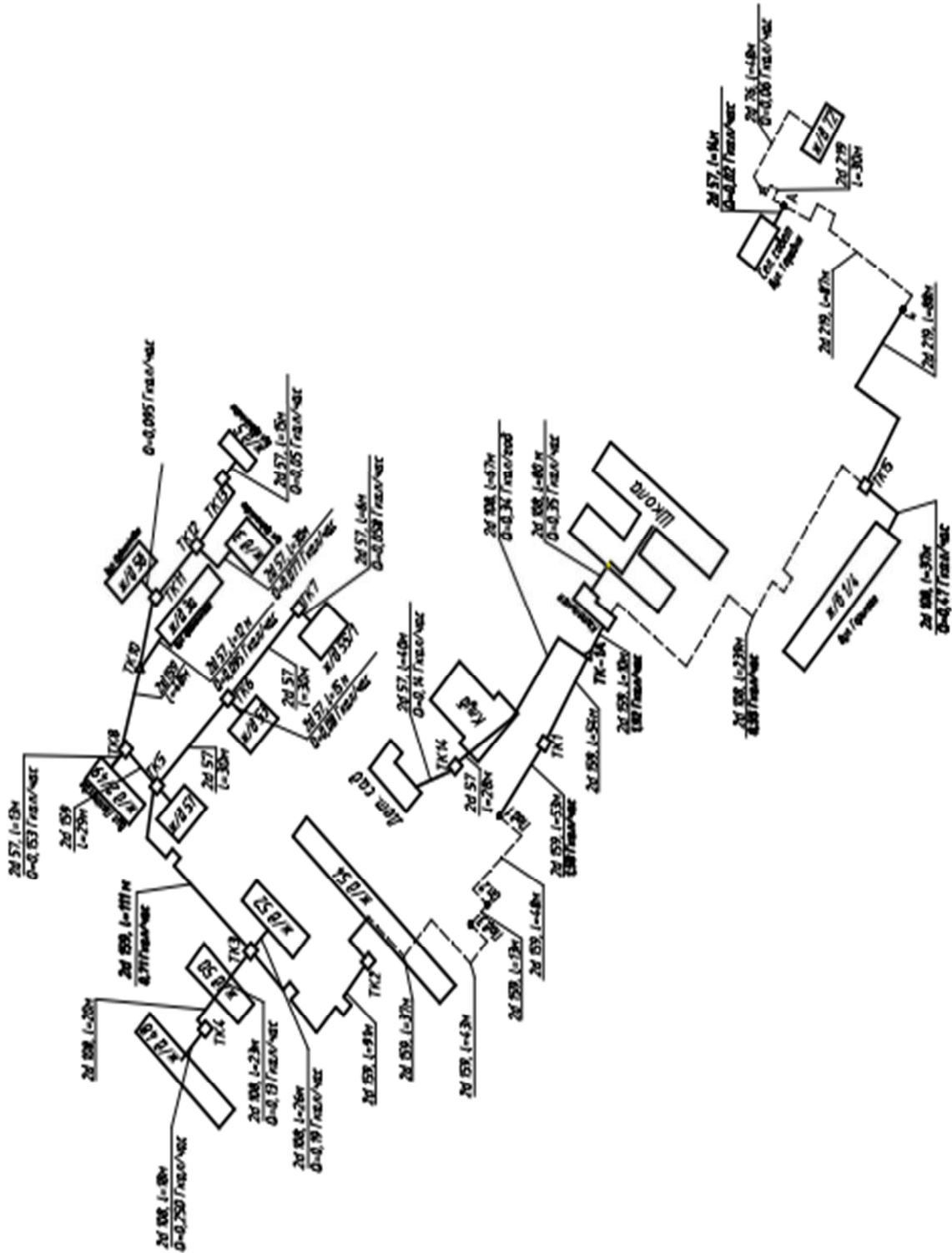


Рис. 1. Схема теплоснабжения с. Большая Рогань

Таблиця 1

Перечень потребителей с указанием нагрузки и тепловых потерь

№ п/п	Объект	Подключённая нагрузка, Гкал/час	Потери, Гкал/час	Нагрузка с потерями, Гкал/час	Расход, м ³ /час	Расчётные потери до потребителя, Гкал/час
	Крыло 1					
1	ул. Ленина, 66, (школа)	0,35	0,0067	0,3567	14,27	0,00672
	Крыло 2					
	Кот-ТК1а	1,92	0,0564	2,0574	85,06	0,00168
	ТК1а-БК	0,34	0,0088	0,3488	14,44	0,00885
2	ул. Ленина, 60. Клуб	0,2	0,0053	0,2053	8,21	
3	ул. Ленина, 60 ДНЗ	0,14	0,0157	0,1557	6,23	0,01226
	ТК1а-Ленина, 54	1,58	0,0459	1,6259	70,62	0,04672
4	ул. Ленина, 54	0,3	0,0090	0,3090	12,36	
	ул. Ленина, 54-ТК3	1,28	0,0250	1,3050	58,26	0,02548
5	ТК3 - ул. Ленина, 52	0,19	0,0153	0,2053	8,21	0,00623
	ТК3 - ул. Ленина, 50	0,38	0,0055	0,3855	16,53	0,00551
6	ул. Ленина, 50	0,13	0,0083	0,1383	5,53	
7	ул.Ленина, 50 - ул.Ленина,48	0,25	0,0249	0,2749	10,99	0,00911
	ТК3 - ТК5	0,71	0,0311	0,7411	33,53	0,03108
8	ул. Ленина, 51	0,07	0,0084	0,0784	3,14	0,00198
	ТК5 - ТК6	0,17	0,0054	0,1754	8,00	0,00541
9	ТК6 - ул. Ленина, 53	0,08	0,0125	0,0925	3,70	0,00270
10	ТК6-ул. Ленина, 55/1	0,09	0,0175	0,1075	4,30	0,00649
	ТК5-ТК8	0,47	0,0081	0,4781	22,39	0,00812
11	ул. Полетаева, 2/49	0,153	0,0190	0,1720	6,88	0,00234
	ТК8 - ТК10	0,277	0,0081	0,2851	15,51	0,00812
12	ТК10 - ул. Орджоникидзе, 3а	0,095	0,0152	0,1102	4,41	0,00216
	ТК10 - ТК11	0,132	0,0013	0,1333	11,10	0,00126
13	ТК11 - ул.Орджоникидзе, 5б	0,095	0,0202	0,1152	4,61	0,00631
	ТК11 - ТК12	0,127	0,0045	0,1315	6,49	0,00451
14	ТК12 - ул. Орджоникидзе, 3	0,077	0,0194	0,0964	3,85	0,00541
15	ТК12 - ул. Орджоникидзе, 5	0,05	0,0158	0,0658	2,63	0,00685
	Крыло 3	0,55	0,1733	0,7233	28,93	
	Кот – ТК15	0,55	0,0713	0,6213	28,93	0,07130
16	ТК15 - ул. Горького, 1/4	0,47	0,0685	0,5385	21,54	0,00887
	ТК15 - А	0,08	0,0652	0,1452	7,39	0,06517
17	ул. Ленина, 72	0,06	0,0823	0,1423	5,69	0,02231
18	ул. 1 Мая, 2	0,02	0,0225	0,0425	1,70	0,00252
	Всего:	2,820	0,3855	3,2055	128,22	0,3855
	Потери, %		13,67			

Для исследования прямых затрат теплоснабжающей организации рассмотрим методы регулирования тепловой нагрузки.

На наш взгляд, существующий сегодня в отечественном теплоснабжении классический метод качественного регулирования по температурному графику 95–70 С (безэлеваторное подключение) или на

перегретой воде (150–70 С ...115–70 С) [6] требует экономического обоснования для каждой конкретной тепловой схемы. Необходимо подобрать такой метод регулирования и температурный график, чтобы суммарные затраты З (прямые затраты на транспортировку [2; 6]) были минимальными:

$$Z = Z_m + Z_s \rightarrow \min. \quad (1)$$

Затраты топлива на компенсацию тепловых потерь между источником и потребителями Z_m , грн:

$$Z_m = (P_n + P_{об}) \cdot U_z \cdot C_z. \quad (2)$$

Затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя Z_s , грн:

$$Z_s = \frac{G \cdot h}{3,6 \cdot \eta_{ny}} \cdot C_{ээ}, \quad (3)$$

где $P_n, P_{об}$ – тепловые потери подающего и обратного трубопроводов, Гкал; U_z – удельная норма расхода газа на выработку тепловой энергии для данного конкретного источника, м³/Гкал; G – расход теплоносителя на источнике, м³/час; h – напор на источнике, м. вод. ст.; η_{ny} – КПД насосной установки (в общем случае зависит от напора, развиваемого насосом $\eta_{i0} = \eta_{i0} (1/h)$); $\dot{O}_a, C_{ээ}$ – цена газа и электроэнергии (грн).

Поскольку реальная система теплоснабжения работает по безэлеваторной схеме, аналогично работе [1] будем рассматривать качественный метод по

температурным графикам 95–70 С, 90–70 С, 90–65 С, 85–65 С, 85–60 С и качественно-количественный по тем же графикам. Ограничения: верхний предел по температуре на выходе из котельной не может быть выше 95 С (из условия невискипания теплоносителя), и не может быть ниже 80 С (исходя из уже запроектированной системы отопления зданий). Минимальный перепад напора у потребителя – не ниже 4 м (достаточный для надёжной работы системы отопления).

Для определения прямых затрат воспользуемся среднестатистическими данными среднесуточных температур наружного воздуха в отопительный период для Харьковской области (табл. 2) [7].

Для анализа прямых затрат на транспортировку теплоносителя учитывались сегодняшние цены на газ 8 865,84 грн/1000 м³ и электроэнергии – 1,8024 грн/кВт. Кроме того, удельные затраты топлива для данного источника – 164,4 кг. у. т/Гкал.

Таблица 2.

Продолжительности стояния температур наружного воздуха в отопительный период для Харьковской области

Температура наружного воздуха	ниже -25 ⁰ С	-25...-20 ⁰ С	-20...-15 ⁰ С	-15...-10 ⁰ С	-10...-5 ⁰ С	-5...0 ⁰ С	0...+10 ⁰ С
Продолжительность, час.	47	125	246	487	829	1299	1551

Температуры в подающем и обратном трубопроводах при качественно-количественном регулировании определяются по известным соотношениям:

$$\tau_1 = t_{вн} + \Delta t_0' \bar{Q}_0^{0,8} + (\delta\tau_0' - 0,5\Theta') \frac{\bar{Q}_0}{G_0}; \quad (4)$$

$$\tau_2 = t_{вн} + \Delta t_0' \bar{Q}_0^{0,8} - 0,5\Theta' \frac{\bar{Q}_0}{G_0}; \quad (5)$$

$$\bar{G}_0 = \sqrt[3]{\bar{Q}_0}, \quad (6)$$

где $t_{вн}$ – расчётная температура внутри помещения (20⁰С); $\Delta t_0'$ – расчётный температурный напор в нагревательных приборах; \bar{Q}_0 – относительный расход на отопление при

текущей наружной температуре; $\delta\tau_0'$ – расчётная разность температур сетевой воды на источнике; Θ' – расчётная разность температур у потребителя; \bar{G}_0 – относительный расход сетевой воды.

Для расчёта прямых затрат при регулировании тепловой нагрузки необходимо знать не только расход на источнике, но и напор, соответствующий этому расходу (3). Напоры на источнике определялись методом поконтурной увязки для семи значений температур наружного воздуха (соответственно табл. 2).

Результаты расчёта сведены в таблицу 3. Как видно из расчёта, минимальные затраты на транспортировку достигаются при качественно-

количественном регулировании по температурному графику 85–60°C. На рисунке 2 показаны изменения расхода, а на рисунке 3 - температур теплоносителя в

зависимости от температуры наружного воздуха. Максимальный расход – 128 м³/час, при T_{нв} – 23°C.

Таблица 3

Прямые затраты в зависимости от метода регулирования и температурного графика

Метод регулирования	Суммарные затраты на компенсацию тепловых потерь и затрат электроэнергии на перекачку теплоносителя, грн/сезон						
	95–70°C	90–65°C	85–60°C	95–75°C	90–70°C	85–65°C	80–60°C
Качественный	1 091 062,76	1 001 284,48	989 754,18	1 184 673,09	1 109 514,92	1 099 652,12	1 000 256,16
Качественно-количественный	989 846,66	976 487,12	952 709,25	1 124 629,38	994 348,28	962 836,97	936 671,88

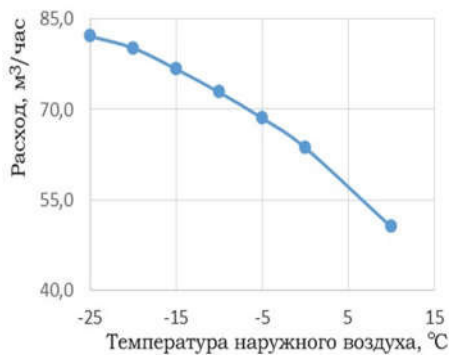


Рис. 2. Изменение расхода в зависимости от T_{нв}

Напор на источнике – 26 м. вод. ст. Минимальный расход – 79 м³/час. Напор на источнике – 12,7 м. вод. ст. Однако при понижении напора могут остановиться системы отопления наиболее удалённых потребителей. Поэтому необходимо выполнить поверочный гидравлический расчёт тепловой сети. Потребители подключены к котельной по трём контурам. Самый нагруженный – второй. Поэтому достаточно выполнить гидравлический расчёт только для этого контура, два других более устойчивые. Составим расчётную схему этого контура (рис. 4) и выполним расчёт.

Изменение расхода в зависимости от температуры наружного воздуха определяется зависимостью (6). Для

определения напора будем решать систему уравнений Кирхгофа для крыла методом поконтурной увязки [5].

Зная длину участков, определяем сопротивление сети s₀...s₅ по известным соотношениям:

$$s = \frac{0,0894}{3600^2 \cdot 9,81} \cdot \frac{k_e^{0,25} \gamma}{d^{5,25}} \quad (7)$$

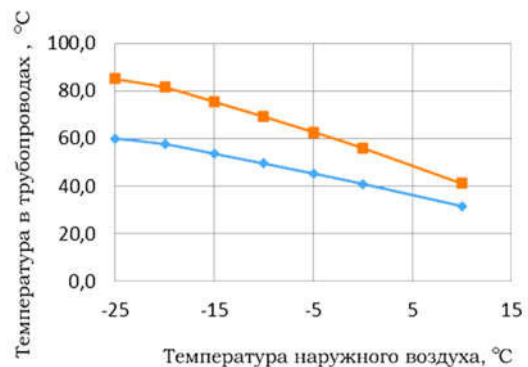


Рис. 3. Изменение температуры в подающем (—■—) и обратном трубопроводах(—◆—) в зависимости от T_{нв}

Сопротивления ответвлений на потребителей определяются из условий работы системы при напоре 26 м, когда расходы на всех ответвлениях известны.

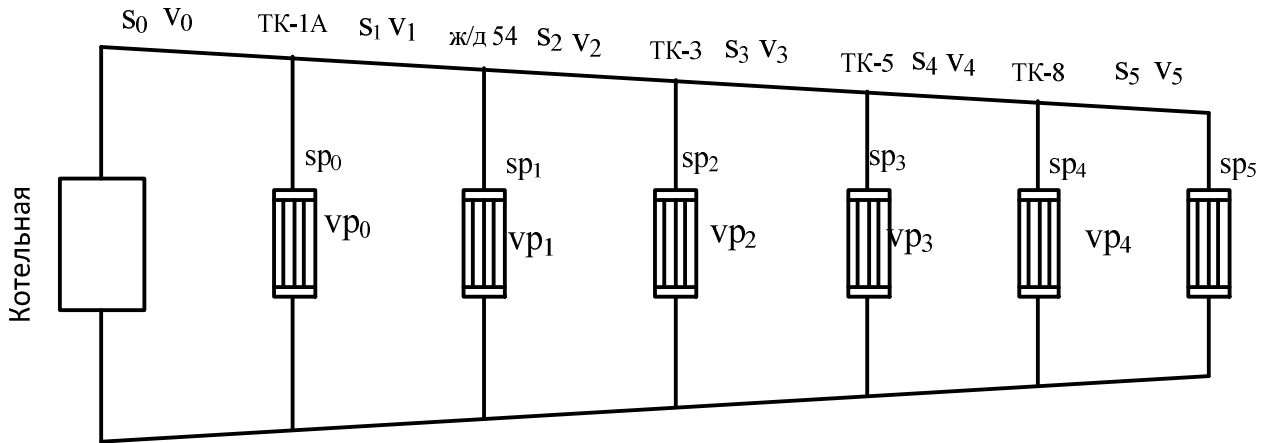


Рис. 4. Расчётная схема контура 2 системы теплоснабжения от котельной

Затем определяем давление на источнике, при котором расход в контуре будет составлять 50,53 м³/час (температура наружного воздуха +10 °С). Расходы в

контурах и на ответвлениях на потребители известны (8). Запишем уравнения Кирхгофа для шести контуров (9):

$$v_s^T = (57.56 \ 49.79 \ 41.09 \ 27.16 \ 15.67 \ 10.93) \quad (8)$$

$$v := \frac{v_s}{3600}$$

$$\left. \begin{aligned} 2 \cdot s_0 \cdot (v_0)^2 + sp_0 \cdot (v_0 - v_1)^2 &= 12.666 \\ 2 \cdot s_0 \cdot (v_0)^2 + 2 \cdot s_1 \cdot (v_1)^2 + sp_1 \cdot (v_1 - v_2)^2 &= 12.658 \\ 2 \cdot s_0 \cdot (v_0)^2 + 2 \cdot s_1 \cdot (v_1)^2 + 2 \cdot s_2 \cdot (v_2)^2 + sp_2 \cdot (v_2 - v_3)^2 &= 12.663 \\ 2 \cdot s_0 \cdot (v_0)^2 + 2 \cdot s_1 \cdot (v_1)^2 + 2 \cdot s_2 \cdot (v_2)^2 + 2 \cdot s_3 \cdot (v_3)^2 + sp_3 \cdot (v_3 - v_4)^2 &= 12.61 \\ 2 \cdot s_0 \cdot (v_0)^2 + 2 \cdot s_1 \cdot (v_1)^2 + 2 \cdot s_2 \cdot (v_2)^2 + 2 \cdot s_3 \cdot (v_3)^2 + 2 \cdot s_4 \cdot (v_4)^2 + sp_4 \cdot (v_4 - v_5)^2 &= 12.64 \\ 2 \cdot s_0 \cdot (v_0)^2 + 2 \cdot s_1 \cdot (v_1)^2 + 2 \cdot s_2 \cdot (v_2)^2 + 2 \cdot s_3 \cdot (v_3)^2 + 2 \cdot s_4 \cdot (v_4)^2 + (2 \cdot s_5 + sp_5) \cdot (v_5)^2 &= 12.625 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Уточнённый расход в контурах и у потребителей:

$$v_s^T := v \cdot 3600 \quad v_s^T = (57.6 \ 49.237 \ 40.608 \ 26.82 \ 15.599 \ 10.8) \quad (10)$$

Система уравнений (9) нами решалась с помощью стандартного пакета прикладных программ Mathcad 15 [9].

Проверка показала, что вся система устойчива и хорошо работает при качественно-количественном регулировании и снижении напора до 12,7 кг/см².

Как показал расчёт, напор изменяется линейно в зависимости от температуры наружного воздуха. На рисунке 5. представлены зависимость изменения напора на источнике в зависимости от температуры наружного воздуха.

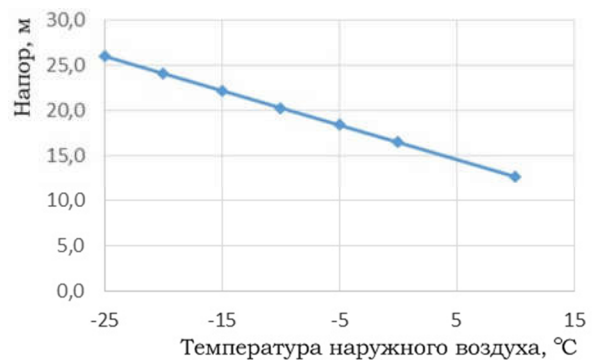


Рис. 5. Изменение напора (м) в зависимости от T_{нв}.

Выводы. Для реального источника теплоснабжения с тепловой нагрузкой 3,28 МВт проанализировано влияние тепловых потерь в сетях на режим теплоснабжения, определены расходы у потребителей с учётом тепловых потерь в сети и предложен метод регулирования, при котором прямые затраты за отопительный сезон будут минимальные.

Построены графики зависимости напора на источнике от температуры наружного воздуха для оптимального метода регулирования. Как показали исследования, напор изменяется линейно. Выбран температурный график качественно-количественного метода регулирования.

Даны рекомендации по применению поконтурного регулирования тепловых сетей и подключённых к ним потребителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Збараз Л. И. Моделирование децентрализованного источника теплоснабжения и выбор оптимальных параметров его работы / Л. И. Збараз // Комунальне господарство міст : зб. наук. пр. / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків, 2015. – Вип. 23. – С. 91–97.
2. Ганжа А. Н. Выбор рациональных параметров отпуска теплоты от источника системы теплоснабжения / А. Н. Ганжа, В. Н. Подкопай // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 8(114). – С. 8–13.
3. Ганжа А. Н. Оптимизация параметров системы теплоснабжения с учетом потерь теплоты при транспортировании теплоносителя / А. Н. Ганжа, В. Н. Подкопай // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды. II межотраслевая научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов в области проектирования предприятий горно-металлургического комплекса, энерго- и ресурсосбережения и защиты окружающей природной среды (27 - 28 марта 2013 г., Харьков) : сб. тр. / Гос. предприятие "Укр. науч.-техн. центр маталлург. пром-сти "Энергосталь". – Харьков, 2013. – С. 89–94.
4. Ганжа А. Н. Выбор рациональных параметров теплоносителя в системе теплоснабжения и способов регулирования тепловой нагрузки с учетом фактических потерь теплоты / А. Н. Ганжа, В. Н. Подкопай // Муниципальна енергетика: проблеми, рішення. П'ята міжнародна науково-технічна конференція, 19 - 20 грудня 2013 р. : матеріали конф. / Нац. ун-т кораблебудування ім. Адмірала Макарова. – Миколаїв, 2013. – С. 111–114.
5. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях : МУ 34-70-080-84 / Гл. техн. упр. по эксплуатации энергосистем Минэнерго СССР, Произв. об-ние по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей «Союзтехэнерго», Всесоюз. науч.-исслед. теплотехн. ин-т им. Ф. Э. Дзержинского. – Введ. 01.01.85 г. – Москва : СПО Союзтехэнерго, 1985. – 71 с.
6. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – 5-е изд., перераб. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 360 с.
7. Стоянов Ф. А. Методы системного анализа в задачах оптимального проектирования централизованных систем теплоснабжения / Стоянов Ф. А., Андреев С. Ю., Шевченко Л. П. – Харьков : Золотые страницы, 2005. – 140 с.
8. Методы и алгоритмы расчёта тепловых сетей / [В. Я. Хасилев, А. П. Меренков, Б. М. Каганович, К. С. Светлов, М. К. Такайшвили] ; под. общ. ред. В. Я. Хасилева, А. П. Меренкова. – Москва : Энергия, 1978. – 176 с.
9. Benker H. Mathematik-Problemlösungen mit MATHCAD und MATHCAD PRIME / Hans Benker. – Berlin : Springer-Verlag, 2013. – 303 s.

REFERENCES

1. Zbaraz L.I. *Modelirovanie detsentralizovannogo istochnika teplosnabzheniya i vybor optimal'nykh parametrov ego raboty* [Modelling of the decentralized heat source and the choice of optimal parameters of its work]. *Komunalne gospodarstvo mist* [Urban communal service]. Kharkiv. nats. akad. misk. gosp-va [Kharkiv National Academy of Urban Economy]. Kharkiv, 2015, iss. 23, pp. 91–97. (in Russian)
2. Ganzha A.N. and Podkopaj V.N. *Vybor ratsional'nykh parametrov otpuska teploty ot istochnika sistemy teplosnabzheniya* [The rational parameters choice of heat supply from the heating system source]. *Energoberezhnie. Energetika. Energoaudit* [Energy saving. Energetics. Energy audit]. 2013, no. 8(114), pp. 8–13. (in Russian)
3. Ganzha A.N and Pidkopaj V.N. *Optimizatsiya parametrov sistemy teplosnabzheniya s uchetom poter' teploty pri transportirovanii teplonositelya* [Optimization of heat supply system parameters, taking into account the heat losses during transportation of the coolant]. *Innovatsionnye puti modernizatsii bazovykh otraslej promyshlennosti, energo- i resursoberezhnie, okhrana okruzhayushhej prirodnoj sredy. II mezhotraslevaya nauchno-prakticheskaya*

konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov v oblasti proektirovaniya predpriyatij gorno-metallurgicheskogo kompleksa, energo- i resursoberezheniya i zashchity okruzhajushchej prirodnoj sredy (27-28 marta 2013 g., Khar'kov) [Modernization innovative ways of basic industries, energy and resource conservation, environmental protection. The II International Scientific-Practical Conference of young scientists and specialists in the field of mining and metallurgical complex, energy- and resource-saving and environment protection (March 27-28, 2013, Khar'kov)]. Gos. predpriyatie "Ukr. nauch.-tekhn. tsentr matallurg. prom-sti "Jenergostal" [State enterprise "Ukrainian scientific-technological centre of minning industry "Energostal"]. Khar'kov, 2013, pp. 89–94. (in Russian)

4. Ganzha A.N. and Pidkopaj V.N. *Vybor ratsional'nykh parametrov teplonositelya v sisteme teplosnabzheniya i sposobov regulirovaniya teplovoj nagruzki s uchetom fakticheskikh poter' teploty* [The rational parameters choice of the coolant in the heating system and methods for heat load control based on the actual heat loss]. *Munitsypalna energetyka: problemy, rishennia. Piata mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia, 19-20 grudnia 2013 r.* [Municipal energetics: problems, solutions. The fifth International Scientific-Technical Conference, December 19-20, 2013]. Nats. un-t korablebuduvannia im. admirala Makarova [National University of Shipbuilding named after admiral Makarov]. Mykolaiv, 2013, pp. 111–114. (in Russian)
5. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniiu teplovykh poter' v vodyanykh i parovykh teplovykh setyakh: MU 34-70-080-84* [Methodical instructions about the definition of thermal losses in water and steam thermal nets: MU 34-70-080-84]. Gl. tekhn. upr. po ekspluatatsii energosistem Minenergo SSSR, Proizv. ob-nie po naladke, sovershenstvovaniyu tekhnologii i ekspluatatsii elektrostantsii i setej «Soyuztekhenergo», Vsesoyuz. nauch.-issled. teplotekhn. in-t im. F.E. Dzerzhinskogo [The main technical administration on the power supply operation of the USSR Ministry of Energy, the industry equipment for arrangement, technology improvement and power plants operation and "Soyuztekhenergo" nets, All-Union Scientific-Research Institute of Heat Engineering named after F. E. Dzerzhinskiy]. Moskva, 1985, 71 p. (in Russian)
6. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti* [Central heating and heating networks]. Moskva: Energoizdat, 1982, 360 p. (in Russian)
7. Stoyanov F.A., Andreev S.Yu. and Shevchenko L.P. *Metody sistemnogo analiza v zadachakh optimal'nogo proektirovaniya tsentralizovannykh sistem teplosnabzheniya* [The system analysis methods in the tasks of optimum design of the centralized heat supply systems]. Khar'kov: Zolotyie stranitsy, 2005, 140 p. (in Russian)
8. Khasilev V.Ya., Merenkov A.P., Kaganovich B.M., Svetlov K.S. and Takajshvili M.K. *Metody i algoritmy rascheta teplovykh setej* [Methods and algorithms of heating networks calculation]. Moskva: Energiya, 1978, 176 p. (in Russian)
9. Benker H. *Mathematik-Problemlösungen mit MATHCAD und MATHCAD PRIME*. Berlin: Springer-Verlag, 2013, 303 p.

Рецензент: д-р т. н., проф. Поліщук С. З.

Надійшла до редколегії: 27.05.2016 р.

Прийнята до друку: 24.06.2016 р.

УДК 628.87

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ І КОНДИЦІОНУВАННЯМ БУДІВЕЛЬ

ПЕТРЕНКО А. О.^{1*}, к. т. н., доц.,ПЕТРЕНКО В. О.², к. т. н., доц.,ЦУКАНОВ О. А.³, зав. лабораторії.

^{1*} Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: PetrenkoAO@ua.fm, ORCID ID: 0000-0002-0406-9852

² Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-59-77, e-mail: petrenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4331-6844

³ Кафедра фізики, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна

Анотація. *Постановка проблеми.* Здоров'я і працездатність людини значною мірою визначаються умовами мікроклімату і повітряного середовища в приміщеннях житлових, адміністративно-побутових і громадських будівель. На які, в свою чергу, впливають: і мікроклімат зовнішнього середовища, і геометричні розміри приміщення, і теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, і розташування приміщень (відносно сторін світу) та багато інших факторів.

В результаті виникає утворення складних систем, управління якими пов'язане з прийняттям рішень в умовах багатофакторності [1].

У гігієнічних цілях треба прагнути до створення в приміщенні оптимальних мікрокліматичних умов, незалежно від зміни факторів, які впливають на мікроклімат в приміщеннях житлових, адміністративно-побутових і громадських будівель.

Розроблення систем забезпечення необхідних параметрів мікроклімату – це досить складне і відповідальне завдання, від якого повністю будуть залежати комфортні і затишні умови для людини. Проблемою сьогодення неухильне зростання енергоспоживання цими системами у зв'язку з подорожчанням непоновлюваних джерел енергії. Наше завдання – змодельовати роботу систем забезпечення необхідних параметрів мікроклімату з урахуванням зміни факторів, які на нього впливають, та мінімізувати використання непоновлюваних джерел енергії. *Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Вітчизняними і зарубіжними гігієністами [2, 3, 4] встановлений зв'язок між мікрокліматом в житлі і на робочому місці та станом здоров'я людини. Формування мікроклімату приміщень житлових, адміністративно-побутових і громадських будівель відбувається під впливом великої кількості факторів, що відзначалося вже раніше [5, 6]. Вивчення процесів впливу різних факторів на самопочуття людини має велику складність. Якщо розглядати кожен процес окремо, то і в цьому випадку в даний час вони не піддаються чіткому теоретичному опису.

Для моделювання впливу вищеперерахованих факторів були проведені дослідження, які показали що, з достатньою точністю вдається експериментально дослідити електричне поле в рідкому провідному середовищі як аналог теплового поля [7, 8]. *Виділення раніше не вирішених задач.* Відомі методи моделювання є наближеними і мають недоліки, які призводять до зниження точності і обмежують сферу застосування. Тому одним із шляхів отримання ефективних теплових рішень є моделювання теплових процесів з подальшим аналізом отриманих результатів.

Було запропоновано, теплове поле в приміщенні моделювати електричним полем в електролітичній ванні, а аналогом щільності теплового потоку між будь-якими поверхнями простору приміщення вважати щільність струму між відповідними поверхнями моделі. При цьому чим меншу відстань вибрано між точками вимірювання, тим точніше буде відтворюватися дійсна картина електричного поля в моделі і, отже, теплового поля в приміщенні [7, 8].

Але і цей метод не дає змогу врахувати всі можливі варіанти, які впливають на формування мікроклімату в приміщенні. Робота з моделями, що використовують електричне поле для моделювання променевої передачі тепла, показала значну трудоемкість вводу в модель початкової інформації та зняття результатів моделювання.

Цілі. Описати поведінку системи (вплив мікроклімату зовнішнього середовища, і геометричні розміри приміщення, і теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, і розташування приміщень (відносно сторін світу) та багато інших факторів на мікроклімат всередині приміщень будівель), побудувати теорії та гіпотези, які можуть пояснити поведінку, що буде спостерігатись, використати ці теорії для передбачення майбутньої поведінки системи, тобто тих факторів, які можуть бути викликані зміною в системі або зміни способів її функціонування. **Висновки:** У статті запропоновано підхід до вирішення порушених питань, який дозволить виявити точки взаємодій між різними елементами та факторами, що впливають на мікроклімат у приміщеннях будівель різного призначення. В подальшому використати метод імітаційного моделювання для дослідження зміни параметрів мікроклімату в приміщеннях будівель різного призначення при зміні факторів які впливають на нього. Це дозволить створити систему автоматичного управління

технологічними процесами опалення та кондиціонування приміщень, яка буде підлаштовуватись під зміну факторів які впливають на мікроклімат в приміщеннях будівель різного призначення.

Ключові слова: імітаційне моделювання; мікроклімат; опалення; кондиціонування; параметри мікроклімату; людина; самопочуття

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ЗДАНИЙ

ПЕТРЕНКО А. О.^{1*}, к. т. н., доц.,

ПЕТРЕНКО В. О.², к. т. н., доц.,

ЦУКАНОВ А. А.³, зав. лабораторией.

^{1*} Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: PetrenkoAO@ua.fm, ORCID ID: 0000-0002-0406-9852

² Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-59-77, e-mail: petrenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4331-6844

³ Кафедра физики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина

Аннотация. Постановка проблемы. Здоровье и работоспособность человека в значительной степени определяются условиями микроклимата и воздушной среды в помещениях жилых, административно-бытовых и общественных зданий. На которые, в свою очередь, влияют: и микроклимат внешней среды, и геометрические размеры помещения, и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, и расположения помещений (относительно сторон света) и много других факторов.

В результате возникает образование сложных систем, управления которыми связано с принятием решений в условиях многофакторности [1].

В гигиенических целях надо стремиться к созданию в помещении оптимальных микроклиматических условий, независимо от изменения факторов, которые влияют на микроклимат в помещениях жилых, административно-бытовых и общественных зданий.

Разработка систем обеспечения необходимых параметров микроклимата – это достаточно сложное и ответственное задание, от которого полностью будут зависеть комфортные и уютные условия для человека. Проблемой нынешнего времени, является неуклонный рост энергопотребления этими системами в связи с подорожанием невозобновляемых источников энергии. Наше задание – смоделировать работу систем обеспечения необходимых параметров микроклимата с учетом изменения факторов, которые на него влияют, и минимизировать использование невозобновляемых источников энергии. **Анализ последних исследований и публикаций.** Отечественными и зарубежными гигиенистами [2, 3, 4] установлена связь между микроклиматом в помещении и на рабочем месте и состоянием здоровья человека. Формирование микроклимата помещений жилых, административно-бытовых и общественных зданий происходит под воздействием большого количества факторов, что отмечалось уже раньше [5, 6]. Изучение процессов влияния разных факторов на самочувствие человека имеет большую сложность. Если рассматривать каждый процесс отдельно, то и в этом случае в настоящее время они не поддаются четкому теоретическому описанию.

Для моделирования влияния вышеперечисленных факторов были проведены исследования, которые показали что, с достаточной точностью удастся экспериментально исследовать электрическое поле в жидкой проводящей среде как аналог теплового поля [7, 8]. **Выделение ранее не решенных задач.** Известные методы моделирования являются приближенными и имеют недостатки, которые приводят к снижению точности и ограничивают область применения. Поэтому одним из путей получения эффективных тепловых решений есть моделирование тепловых процессов с дальнейшим анализом полученных результатов.

Было предложено, тепловое поле в помещении моделировать электрическим полем в электролитической ванне, а аналогом плотности теплового потока между любыми поверхностями пространства помещения считать плотность тока между соответствующими поверхностями модели. При этом чем меньше расстояние выбрано между точками измерения, тем точнее будет воссоздаваться действительная картина электрического поля в модели и, следовательно, теплового поля в помещении [7, 8].

Но и этот метод не дает возможность учесть все возможные варианты, которые влияют на формирование микроклимата в помещении. Работа с моделями, которые используют электрическое поле для моделирования передачи тепла излучением, показала значительную трудоемкость ввода в модель начальной информации и снятия результатов моделирования. **Цели.** Описать поведение системы (влияние микроклимата внешней среды, и геометрические размеры помещения, и теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, и расположения помещений (относительно сторон света) и много других факторов на микроклимат внутри помещений зданий), построить теории и гипотезы, которые могут объяснить поведение, которое будет наблюдаться, использовать эти теории для предвидения будущего поведения системы, то есть тех факторов,

которые могут быть вызваны изменением в системе или изменения способов ее функционирования. **Выводы:** В статье предложен подход к решению затронутых вопросов, который позволит обнаружить точки взаимодействий между разными элементами и факторами, которые влияют на микроклимат в помещениях зданий разного назначения. В дальнейшем использовать метод имитационного моделирования для исследования изменения параметров микроклимата в помещениях зданий разного назначения при изменении факторов, которые влияют на него. Это позволит создать систему автоматического управления технологическими процессами отопления и кондиционирования помещений, которая будет подстраиваться под изменение факторов, которые влияют на микроклимат в помещениях зданий разного назначения.

Ключевые слова: имитационное моделирование; микроклимат; отопление; кондиционирование; параметры микроклимата; человек; самочувствие

AUTOMATED SYSTEM OF OPERATIONAL CONTROL HEATING AND AIR CONDITIONING OF BUILDINGS

PETRENKO A.O.^{1*}, *Ph. D, Ass. Prof.*,

PETRENKO V.O.², *Ph. D, Ass. Prof.*,

TSUKANOV A.A.³, *head of laboratory*

^{1*} Department of Heating, Ventilation and Air Quality, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Construction and Architecture», st. Chernyshevskogo 24th, 49600, Dnipro, Ukraine Tel. +38 (056) 756-34-86, e-mail: PetrenkoAO@ua.fm, ORCID ID: 0000-0002-0406-9852

² Department of Heating, Ventilation and Air Quality, State Higher Educational Institution «Prydniprov'ska State Academy of Construction and Architecture», st. Chernyshevskogo 24th, 49600, Dnipro, Ukraine Tel. +38 (0562) 47-59-77, e-mail: petrenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4331-6844

³ Department of Physics, State Higher Educational Institution «Prydniprov'ska State Academy of Construction and Architecture», st. Chernyshevskogo 24th, 49600, Dnipro, Ukraine

Summary. Statement of the problem. Health and human performance largely determined by the conditions of climate and air quality in residential, administrative and residential and public buildings. At that, in turn, is influenced by the external environment and the climate, and the geometric dimensions of the room, and thermal performance building envelopes, and the location of the premises (Orientation), and many other factors.

The result is the formation of complex systems, which control decision-making in conditions of multifactor [1].

In hygienic purposes it is necessary to strive to create the best indoor microclimate conditions, regardless of changes in the factors that affect the climate in residential, administrative and residential and public buildings.

Develop systems to ensure the necessary microclimate parameters – it is a complex and important task, which will depend entirely comfortable and cozy environment for the person. The problem of the present time, there is a steady increase in the energy consumption of these systems, due to the rise in price of non-renewable energy sources, and our job is, to simulate the work of software systems necessary microclimate for the changes in the factors that affect it and to minimize the use of non-renewable energy sources. **Analysis of recent research and publications.** Domestic and foreign hygienists [2, 3, 4] to establish a connection between the climate in the room and in the workplace and the state of human health. Formation of the indoor climate of residential, administrative and residential and public buildings is influenced by many factors that have already noted earlier [5, 6]. Study of the processes of influence of various factors on human health is of great complexity. If we consider each process separately, and in this case they are not currently amenable to theoretical description clearer.

To simulate the effect of these factors studies were conducted, which showed that, with sufficient accuracy manage experimentally investigate the electrical field in the liquid conducting medium as an analog of the thermal field [7, 8]. **Isolation of previously solved problems.** Known methods for modeling are approximate and have drawbacks that reduce the accuracy and limited scope. Therefore, one way to obtain effective thermal solutions is a simulation of thermal processes with further analysis of the results.

It was suggested that the thermal field in the room to simulate electric field in the plating bath, and the analog heat flux between surfaces of any room space assumed current density between the surfaces of the model. The smaller the distance between the selected measurement points, the more accurate will be recreated actual picture patterns in the electric field and hence the thermal field in the room [7, 8].

But this method does not enable to take into account all the possible variations that affect the formation of indoor climate. Working with models that use an electric field to the heat radiation transfer simulations showed a significant labor input in the input model of the initial information and the removal of the simulation results. **Objectives.** Describe the behavior of the system (the influence of the microclimate of the environment and the geometric dimensions of the room, and thermal performance building envelopes, and the location of the premises (Orientation), and many other factors in the indoor climate of buildings), to build theories and hypotheses that could explain the behavior, which It will be observed to use the theory for predicting the future behavior of the system, that is, those factors that can be caused by a change in the system or change the way of its functioning. **Conclusions.** The proposed approach to

addressing the issues raised will reveal the point of interaction between the different elements and factors that affect the indoor climate of buildings for different purposes. In the future, use the simulation method to study changes in microclimate in the buildings of different functions when you change the factors that affect it. This will create a system of automatic control of technological space heating and cooling processes, which will adapt to the changes in the factors that affect the indoor climate of buildings for different purposes.

Keywords: *simulation; microclimate; heating; conditioning; microclimate parameters; human; health*

Постановка проблеми. Здоров'я і працездатність людини значною мірою визначаються умовами мікроклімату і повітряного середовища в приміщеннях житлових, адміністративно-побутових і громадських будівель, на які, у свою чергу, впливають: мікроклімат зовнішнього середовища, геометричні розміри приміщення, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, розташування приміщень (відносно сторін світу) та багато інших факторів.

У результаті виникає утворення складних систем, управління якими пов'язане з прийняттям рішень в умовах багатфакторності [1].

З гігієнічною метою треба прагнути до створення в приміщенні оптимальних мікрокліматичних умов, незалежно від зміни факторів, які впливають на мікроклімат у приміщеннях житлових, адміністративно-побутових і громадських будівель.

Розроблення систем забезпечення необхідних параметрів мікроклімату - досить складне і відповідальне завдання, від якого повністю будуть залежати комфортні і затишні умови для людини. Проблемою сьогодення є неухильне зростання енергоспоживання цими системами у зв'язку з подорожчанням непоновлюваних джерел енергії, і наше завдання - змодельовати роботу систем забезпечення необхідних параметрів мікроклімату з урахуванням зміни факторів, які на нього впливають, та мінімізувати використання непоновлюваних джерел енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняні і зарубіжні гігієністи [2-4] встановили зв'язок між мікрокліматом у житлі і на робочому місці та станом здоров'я людини. Формування мікроклімату приміщень житлових, адміністративно-побутових і громадських будівель

відбувається за впливу великої кількості факторів, що зазначалося раніше [5; 6]. Вивчення процесів впливу різних факторів на самопочуття людини має велику складність. Якщо розглядати кожен процес окремо, то і наразі вони не піддаються чіткому теоретичному опису.

Для моделювання впливу згаданих факторів були проведені дослідження, які показали, що з достатньою точністю вдається експериментально дослідити електричне поле в рідкому провідному середовищі як аналог теплового поля [7; 8].

Виділення раніше не вирішених завдань. Відомі методи моделювання є наближеними і мають недоліки, які спричиняють зниження точності і обмежують сферу застосування. Тому одним із шляхів отримання ефективних теплових рішень стало моделювання теплових процесів із подальшим аналізом отриманих результатів.

Запропоновано теплове поле в приміщенні моделювати електричним полем в електролітичній ванні, а аналогом щільності теплового потоку між будь-якими поверхнями простору приміщення вважати щільність струму між відповідними поверхнями моделі. При цьому чим меншу відстань вибрано між точками вимірювання, тим точніше буде відтворюватися справжня картина електричного поля в моделі і, отже, теплового поля в приміщенні [7; 8].

Але і цей метод не дає змоги врахувати всі можливі варіанти, які впливають на формування мікроклімату в приміщенні. Робота з моделями, що використовують електричне поле для моделювання променевої передачі тепла, показала значну трудоемкість уведення в модель початкової інформації та зняття результатів моделювання.

Мета статті - описати поведінку системи (вплив мікроклімату зовнішнього

середовища, геометричні розміри приміщення, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, розташування приміщень (відносно сторін світу) та багато інших факторів впливу на мікроклімат усередині приміщень будівель), побудувати теорії та гіпотези, які можуть пояснити поведінку, що буде спостерігатись, застосувати ці теорії для передбачення майбутньої поведінки системи, тобто тих факторів, які можуть бути викликані зміною в системі або зміною способів її функціонування.

Виклад основного матеріалу. Для зменшення похибки в моделюванні теплового поля у приміщенні в електролітичній ванні електролітичним методом запропоновано проводити вимірювання такими способами [7; 8]:

- застосовувати для вимірювання компенсаційний метод;
- використовувати вольтметр із потенціальним входом.

За першого способу від стороннього джерела створюється різниця потенціалів, рівна вимірюваній, і струм вольтметра не спотворює модифіковане поле, що фіксується чутливим мікроамперметром, і в цей момент вимірюється величина різниці потенціалів, яка компенсує вимірювану напругу. Картина електричного поля зондом, за малих його розмірів, практично не змінюється і похибки вимірювання дуже малі.

За другого способу використовується вольтметр, що має на вході вимірювальний елемент, керування яким відбувається не струмом, а різницею потенціалів. Вхідний опір такого вольтметра зазвичай дуже великий, а споживаний струм нікчемно малий, тому що його величина в основному визначається опором ізоляції між вхідними клемми і між сполучними провідниками.

У результаті проведених експериментів встановлено, що запропонована аналогова модель дозволяє проводити дослідження променевого теплообміну в чистому вигляді, без урахування впливу конвективного теплообміну і теплопередачі, що дає можливість якісно оцінити процеси

променевого теплообміну тіла людини з внутрішнім середовищем приміщення.

Але в результаті експерименту було виявлено обмеженість даного методу:

- громіздкість об'ємної електричної моделі;
- для проведення експерименту та обробки отриманих результатів витрачається багато часу, що ускладнює отримання результатів у випадку зміни вхідних даних.

Постало питання необхідності отримання результатів у реальному часі, незважаючи на складність та кількість змін вхідних даних.

Розроблення органів управління системами забезпечення мікроклімату приміщень стає все складнішою справою, оскільки організаційна структура таких систем усе більше ускладнюється. Це пояснюється характером взаємодій між різними елементами та факторами, які впливають на мікроклімат у приміщенні. Вона існувала давно, але ми тільки зараз починаємо розуміти її значення. Ми усвідомлюємо, що зміна однієї з характеристик системи може легко викликати зміни або створити необхідність змін в інших частинах системи. У зв'язку з цим отримала розвиток методологія системного аналізу, покликана допомогти інженерам вивчати та осмислювати наслідки таких змін. Із появою електронних обчислювальних машин високої продуктивності і фактично безмежної оперативної пам'яті, одним із найважливіших знарядь аналізу структури складних процесів і систем стало **імітаційне моделювання**.

У монографії [1] автор дав таке його визначення: «Імітаційне моделювання є процес конструювання моделі реальної системи і постановки експериментів на цій моделі з метою або зрозуміти поведінку системи, або оцінити (в рамках обмежень, які накладаються деяким критерієм або сукупністю критеріїв) різні стратегії, що забезпечують функціонування даної системи. Таким чином, процес імітаційного моделювання ми розуміємо як процес, який

включає і конструювання моделі, і аналітичне застосування моделі для вивчення деякої проблеми.

Під моделлю реальної системи розуміється представлення групи об'єктів або ідей в деякій формі, відмінній від її реального втілення. Звідси термін «реальна» використовується в сенсі «тієї, що існує, або здатної прийняти одну з форм існування».

Отже, системи, які перебувають на стадії розроблення або проектування.

Для планування житлових, адміністративно-побутових та інших будинків проєктант використовує досвід суспільства в проєктуванні, будівництві і експлуатації названих будівель, який накопичується в спеціальних програмах для ЕОМ, довідниках та інших літературних джерелах. Кваліфікований проєктант формує і тримає в своїй пам'яті образ будівлі, яку проєктує і доповнює розрахунками, використовуючи спеціальні програми, методичні та нормативні матеріали, які забезпечують необхідні умови в приміщеннях будинку та за будь-яких кліматичних та погодних умов ззовні будинку. Остаточний образ будівлі разом з алгоритмами програм і розрахунками фіксується в проєкті та пояснювальній записці і є первинною імітаційною моделлю, яка буде застосовуватись і доповнюватись у процесі будівництва і далі під час експлуатації будівлі.

Проєктом повинна бути передбачена інформаційна система, яка повинна збирати й обробляти інформацію та порівнювати в реальному часі фактичні параметри з відповідними параметрами процесів, які моделюються, і у випадку виявлення відхилень, більших за допустимі, формувати за допомогою імітаційної моделі рекомендації оператору щодо управління процесами.

Названа імітаційна модель (доповнена регулярно поновлюваними регіональними короткотерміновими прогнозами погоди, програмами самонавчання та спеціальними програмами) і буде первинною (початковою) імітаційною моделлю, яка в

процесі самонавчання під час експлуатації будівлі буде замінюватись і поліпшуватись.

Уся інформація, яка буде видаватись імітаційною моделлю в систему управління, і вся зворотна фактична інформація, що характеризує стан внутрішнього і зовнішнього середовища, після обробки програмами аналізу і самонавчання повинна систематизуватись і накопичуватись постійно, а також подаватись оператору разом із рекомендаціями щодо управління процесами в реальному часі.

Оператор, аналізуючи рекомендації, за необхідності вносить у них корективи і реалізує. Програма самонавчання, аналізуючи корективи оператора, вносить в імітаційну модель відповідні зміни, які її вдосконалюють. Коли практично всі рекомендації без коректив оператора будуть ним реалізовуватись, така імітаційна модель може бути включена до складу автоматизованої системи управління технологічними процесами систем опалення та кондиціонування приміщень будівлі. Крім того, вона може застосовуватись для проєктування подібних будівель.

Наведемо вислів академіка Микити Миколайовича Моїсеєва: «І перше, що виявляється необхідним для реалізації подібних ідей, - це вміння організувати серію варіантних розрахунків: експерту важливо уявити собі характер процесу, який вивчається, ступінь його «жерованості», характер граничних можливостей (множин досяжності), тобто організувати багатократно повторюваний машинний експеримент із моделлю.

Для цієї мети і повинні бути створені моделі, які імітують реальність, імітують процес, який вивчається» [цитуюмо за 9].

Для виконання цих завдань необхідно:

– описати поведінку системи (вплив мікроклімату зовнішнього середовища, геометричні розміри приміщення, тепло-технічні характеристики огорожувальних конструкцій, розташування приміщень (відносно сторін світу) та багато інших факторів, від яких залежить мікроклімат усередині приміщень будівель);

– побудувати теорії та гіпотези, які можуть пояснити поведінку, що буде спостерігатись;

– застосувати ці теорії для передбачення майбутньої поведінки системи, тобто тих факторів, які можуть бути викликані зміною в системі або зміною способів її функціонування та для автоматизації управління системою.

Висновки. Запропонований підхід до вирішення порушених питань дозволить виявити точки взаємодій між різними елементами та факторами, які впливають на

мікроклімат у приміщеннях будівель різного призначення. В подальшому застосувати метод імітаційного моделювання для дослідження зміни параметрів мікроклімату в приміщеннях будівель різного призначення за зміни факторів, які впливають на нього. Це дозволить створити систему автоматичного керування технологічними процесами опалення та кондиціонування приміщень, яка буде підлаштовуватись під зміну факторів, що впливають на мікроклімат у приміщеннях будівель різного призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шеннон Р. Ю. Имитационное моделирование систем – искусство и наука : пер. с англ. / Р. Ю. Шеннон ; под ред. Е. К. Масловского. – Москва : Мир, 1978. – 418 с.
2. Губернский Ю. Д. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий / Губернский Ю. Д., Корневская Е. И. – Москва : Медицина, 1978. – 192 с.
3. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди ; пер. с венг. В. М. Беляева ; под. ред. В. И. Прохорова, А. Л. Наумова. – Москва : Стройиздат, 1981. – 248 с.
4. Чесанов Л. Г. Состояние микроклимата в помещениях при различных технологиях отопления / Л. Г. Чесанов, В. О. Петренко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2001. – Вып. 13. – С. 22–25.
5. Стронг Д. Техника физического эксперимента / Д. Стронг ; пер. с англ. под. ред. Б. А. Остроумова. – Ленинград : Лениздат, 1948. – 662 с.
6. Бабов Д. М. Руководство к практическим занятиям по гигиене с техникой санитарно-гигиенических исследований / Бабов Д. М., Надворный Н. И. – Москва : Медицина, 1976. – 288 с.
7. Экспериментальное исследование теплообмена человека с внутренней средой помещения / А. С. Беликов, В. О. Петренко, А. А. Цуканов, А. О. Петренко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 52 : Безопасность жизнедеятельности. – С. 231 - 237.
8. Моделивання та дослідження мікроклімату в приміщенні / А. С. Бєліков, В. О. Петренко, А. О. Петренко, А. М. Кравчук // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2010. – № 8. – С. 55–60.
9. Строгалева В. П. Имитационное моделирование / В. П. Строгалева, И. О. Толкачева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 295 с.
10. Моделирование и оптимизация микроклиматических условий и параметров систем жизнеобеспечения помещений / А. С. Беликов, С. З. Полищук, А. О. Петренко, В. О. Петренко, Е. Г. Кушнир, А. С. Полищук. – Днепропетровск : Экономика, 2013. – 176 с.

REFERENCES

1. Shannon R. Yu. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem – iskusstvo i nauka* [Simulation systems - the art and science]. Moskva: Mir, 1978, 418 p. (in Russian)
2. Gubernskij Yu. D. and Korenevskaya E. I. *Gigienicheskie osnovy konditsionirovania mikroklimata zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Hygienic bases microclimate conditioning of residential and public buildings]. Moskva: Meditsina, 1978, 192 p. (in Russian)
3. Bankhidi L. *Teplovoj mikroklimat pomeshchenij* [Thermal indoor climate]. Moskva: Strojizdat, 1981, 248 p. (in Russian)
4. Chesanov L. G. and Petrenko V. O. *Sostoyanie mikroklimata v pomeshcheniyakh pri razlichnykh tekhnolohiyakh otopleniya* [Status indoor climate at various heating technologies]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arkhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2001, iss. 13, pp. 22-25. (in Russian)
5. Strong D. *Tekhnika fizicheskogo eksperimenta* [Technique of physical experiment]. Leningrad: Lenizdat, 1948, 220 p. (in Russian)

6. Babov D.M. and Nadvornyj N.I. *Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po gigiene s tekhnikoj sanitarno-gigienicheskikh issledovanij* [Guide to practical training on hygiene with the technique of sanitary research]. Moskva: Meditsina, 1976, 288 p. (in Russian)
7. Petrenko A.O., Belikov A.S., Petrenko V.O. and Tsukanov A.A. *Eksperimentalnoe issledovanie teploobmena cheloveka s vnutrennej sredoj pomeshcheniya* [Experimental study of human heat exchange with the indoor environment]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. *Pridnepr. gos. akad. str-va i arkhitektury* [Prydniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2010, iss. 52, pp. 231-236. (in Russian)
8. Petrenko A.O., Belikov A.S., Petrenko V.O. and Kravchuk A.N. *Modeliuvannia ta doslidzhennia mikroklimatu v prymishchenni* [Modeling and research indoor climate]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytsva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2010, no. 8, pp. 55-59. (in Ukrainian).
9. Strogalev V.P. and Tolkacheva I.O. *Imitatsionnoemodelirovanie* [Simulation modeling]. Moskva: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2008, 295 p. (in Russian)
10. Belikov A.S., Polishchuk S.Z., Petrenko A.O., Petrenko V.O., Kushnir Ye.G. and Polishchuk A.C. *Modelirovanie i optimizatsiya mikroklimaticheskikh uslovij i parametrov sistem zhizneobespecheniya pomeshchenij* [Modelling and optimization of micro-climatic conditions and parameters of the life support systems of buildings]. Dnepropetrovsk: Ekonomika, 2013, 176 p. (in Russian)

Рецензент: д-р т. н., проф. Поліщук С. З.

Надійшла до редколегії: 21.06.2016 р.

Прийнята до друку: 01.07.2016 р.

УДК 004.92[621:744]

ВИКОРИСТАННЯ ГРАФІЧНОГО РЕДАКТОРА В ІНЖЕНЕРНІЙ ГРАФІЦІ І КУРСОВОМУ ПРОЕКТУВАННІ

КАРПЮК Л. В.^{1*}, *ст. викл.*,

ЛЮБИМОВА-ЗИНЧЕНКО О. В.^{2*}, *к. т. н., доц.*

^{1*} Кафедра машинознавства та обладнання промислових підприємств, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Донецька, 43, 93400, Северодонецьк, Луганська обл., Україна, тел. +38 (064) 54802, 050-270-45-13, e-mail: oxp_kaf@sti.lg.ua

^{2*} Кафедра загальної та фізичної хімії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, вул. Донецька, 43, 93400, Северодонецьк, Луганська обл., Україна, тел. 06452-2-89-95, 050-949-49-77, e-mail: aspirant-snu@i.ua

Анотація. Розглядаються проблеми навчання студентів інженерної і комп'ютерної графіки в рамках єдиного курсу на базі системи автоматизованого проектування (САПР). Наводяться приклади тренувальних завдань для отримання знань, умінь і навичок роботи в середовищі креслярсько-графічного редактора системи AutoCAD, необхідних для виконання креслень з інженерної графіки, а також графічної частини курсових проектів для студентів механічних спеціальностей.

Ключові слова: *інженерна та комп'ютерна графіка, графічний редактор AutoCAD, конструкторська документація*

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА В ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ И КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

КАРПЮК Л. В.^{1*}, *ст. препод.*,

ЛЮБИМОВА-ЗИНЧЕНКО О. В.^{2*}, *к. т. н., доц.*

^{1*} Кафедра машиноведения и оборудования промышленных предприятий, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, ул. Донецкая, 43, 93400, Северодонецк, Луганская обл., Украина, тел. +38 (064) 54802, 050-270-45-13, e-mail: oxp_kaf@sti.lg.ua

^{2*} Кафедра общей и физической химии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, ул. Донецкая, 43, 93400, Северодонецк, Луганская обл., Украина, тел. 06452-2-89-95, 050-949-49-77, e-mail: aspirant-snu@i.ua

Аннотация. Рассматриваются проблемы обучения студентов инженерной и компьютерной графике в рамках единого курса на базе системы автоматизированного проектирования (САПР). Приводятся примеры тренировочных заданий для приобретения знаний, умений и навыков работы в среде чертежно-графического редактора системы AutoCAD, необходимых для выполнения чертежей по инженерной графике, а также графической части курсовых проектов для студентов механических специальностей.

Ключевые слова: *инженерная и компьютерная графика, графический редактор AutoCAD, конструкторская документация*

THE USING OF GRAPHICAL EDITOR IN THE ENGINEERING GRAPHICS AND THE COURSE DESIGNING

KARPYUK L. V.^{1*}, *senior lecturer*,

LJUBIMOVA-ZINCHENKO O. V.², *PhD, Ass. Prof.*

^{1*} Department of Mechanical Engineering and of Industrial Enterprises Equipment, East Ukrainian National University n.a. V. Dal, Donetskaya Street 43, educational Building, 93400, Severodonetsk, Lugansk region, Ukraine, Contact tel.: +38 (064) 54802, e-mail: oxp_kaf@sti.lg.ua

^{2*} Department of General and Physical Chemistry, East Ukrainian National University n.a. V. Dal, Donetskaya Street 43, laboratory building, educational Building, 93400, Severodonetsk, Lugansk region, Ukraine, Contact tel.: 06452-2-89-95, 050-949-49-77, e-mail: aspirant-snu@i.ua

Abstract. The problems of learning students of the engineering and computer graphics of the course on the base of computer-aided design (CAD) were described in the article. The examples of training tasks for acquiring knowledge of work in the environment of graphical editor of AutoCAD were shown. These examples are needed to perform drawings on The Engineering Graphics, and also for a graphic part of Course Projects for students of mechanical specialties.

Keywords: *engineering and computer graphics, graphic editor AutoCAD, design documentation*

Вступ. Розвиток засобів автоматизованого проектування, поступовий перехід від паперового документування до електронного зумовлює необхідність модифікації вивчення дисциплін інженерно-

графічного циклу. Відповідно до навчальних планів підготовки бакалаврів за такими напрямами як 6.050503 «Машинобудування», 6.051301 «Хімічна технологія», вивчення комп'ютерних технологій

створення конструкторської документації починається вже з першого року навчання студентів у рамках курсу інженерної графіки. У зв'язку з цим, до робочих навчальних програм дисциплін «Інженерна графіка» та «Інженерна та комп'ютерна графіка» включено розділи з вивчення та засвоєння правил розроблення конструкторських документів у середовищі автоматизованої системи проектування AutoCAD.

Виклад основного матеріалу.

Комплексна програма навчання розширює можливості викладачів у подачі матеріалу, підвищує інтерес студентів до графічних дисциплін, тому дозволяє досягти кращих результатів у їх засвоєнні. Однак за такого підходу виникає низка проблем. Різний рівень базових знань студентів у галузі комп'ютерних технологій вимагає більшої індивідуалізації в організації навчального процесу. Додатковим навантаженням для викладача є перевірка креслень в електронному вигляді і здійснення контролю самостійності роботи студентів під час виконання графічних робіт із використанням САПР. Об'єднання інженерної та комп'ютерної графіки вимагає більш інтенсивної роботи від студентів.

Із цією метою на кафедрі машинобудування та обладнання промислових підприємств (МОПП) Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля створено два класи графіки, оснащені комп'ютерами, інтерактивною дошкою, плотером.

Інтерактивна дошка дозволяє викласти матеріал наочно, доступно й у більш повному обсязі. Студенти сприймають пропонований матеріал легше та з цікавістю. Як показує досвід, упровадження в навчальний процес роботи з інтерактивною дошкою забезпечує позитивні результати в процесі вивчення таких графічних редакторів як AutoCAD, COMPAS та інших програм.

Автоматизовані способи роботи з кресленням та іншими документами не виключають необхідності знання й розуміння теоретичних основ і положень курсу.

Так, у першому семестрі студенти вивчають нарисну геометрію як основу побудови креслення, елементи його оформлення [1]. У другому семестрі програмою дисципліни передбачене виконання ескізів і креслень деталей, вивчення правил нанесення розмірів, шорсткості поверхонь, позначення різі, зображення рознімних з'єднань, зварених з'єднань, оформлення складальних креслень і специфікацій [2; 3].

Комп'ютерні технології розроблення конструкторської документації студенти застосовують під час виконання низки індивідуальних графічних завдань і графічної частини курсових проектів із дисциплін «Деталі машин» і «Теорія механізмів і машин». Таким чином, здобуваються навички виконання креслярсько-графічних робіт традиційним і сучасним, комп'ютерним способом.

Далі в курсовому проектуванні студенти розробляють комплект конструкторської документації на складальну одиницю повністю в автоматизованому середовищі.

В умовах комплексної програми навчання практичні аудиторні заняття спрямовані на виконання одночасно двох завдань: вивчення правил оформлення і розроблення конструкторської документації, а також основних принципів виконання електронного креслення в AutoCAD, креслярсько-графічному редакторі системи. Застосовуються різні способи подачі навчального матеріалу: це і лекції, підготовлені на базі демонстраційних комп'ютерних систем, плакати та натурні зразки, а також вправи з вивчення системи AutoCAD, які студенти виконують одночасно з викладачем у режимі майстер-класу. Дуже допомагає в цьому використання інтерактивної дошки.

Для самостійного опрацювання всіх розділів дисципліни студентам надаються різні довідкові матеріали і посібники [3-5], як у друкованому варіанті, так і в електронному.

Крім інтенсивної аудиторної роботи, вирішення проблеми засвоєння планованого обсягу інформації полягає в активному і грамотному використанні під час виконання індивідуальних графічних робіт можливостей комплексу AutoCAD,

налаштування якого і численні додатки засновані на стандартах Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) [5]. Застосування системи як інструмента для одержання якісної графічної документації дозволяє скоротити працевитрати і, в цілому, значно поліпшити конструкторську підготовку студентів.

Для більш глибокого вивчення структури креслярсько-графічного модуля системи і набуття навичок роботи з його інструментами студентам пропонується виконати низку вправ самостійно. Із цією метою викладачі кафедри МОПШ Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля розробили методичні вказівки і навчальні посібники, у яких поряд із коротким описом можливостей програми та рекомендаціями з їх практичного застосування включено вправи, що являють собою покрокові інструкції з виконання тренувальних завдань, які містять типові елементи графічних і текстових конструкторських документів (уся документація розміщена в системі MOODLE <http://cenm.snu.edu.ua> і на сайті кафедри <http://ohpkaf.at.ua/>) [3; 4].

Тема з вивчення системи «Основні поняття графічного редактора AutoCAD. Побудова примітивів» містить у собі вправи, спрямовані на знайомство з інтерфейсом системи, панелями інструментів, різними налаштуваннями системи, для освоєння основних команд системи та методів створення креслень деталей, збереження і друку документів. Вивчаються способи введення команд для побудови примітивів. Розглядається низка принципів відмінностей алгоритму створення креслення на комп'ютері від традиційного креслення на кульмані [3; 4; 6].

На рисунках 1, 2 наведено фрагменти вправ із цієї теми.

Вправа. Побудувати прямокутник, задаючи точки в абсолютних координатах.

Command (Команда): **Line** (Лінія)
from point: **30,70** *із точки 1*
to point: **30,90** *в точку 2*
to point: **80,90** *в точку 3*
to point: **80,70** *в точку 4*
to point: **C** *замкнути*

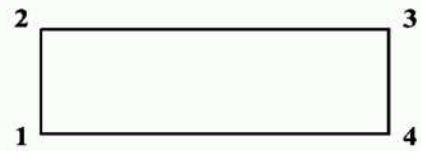


Рис. 1. Побудова прямокутника
 Fig. 1. Construction of a rectangle

Вправа. Виконати побудову кулачка за заданими розмірами. Обвести контур полілінією.

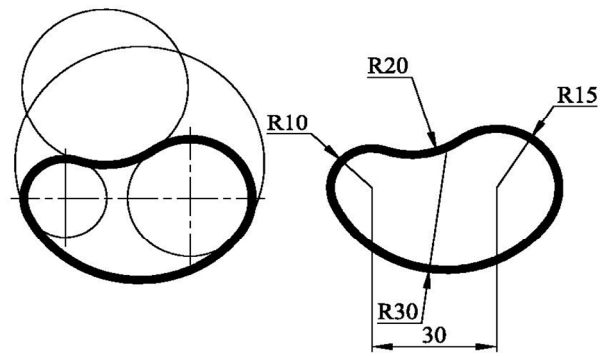


Рис. 2. Побудова кулачка
 Fig. 2. Construction of a cam

Тема «Редагування графічних елементів креслення» містить у собі вправи, що дозволяють вивчити команди редагування примітивів і створених креслень, розглядає методи редагування, застосування об'єктної прив'язки, створення та зміни тексту [3; 4; 6]. Виконуючи ці вправи, студенти відпрацьовують різні прийоми одержання зображень, знайомляться з командами системи AutoCAD і принципами роботи з ними. Нижче наведено фрагменти вправ (рис. 3, 4). Форма вправ дозволяє самостійно крок за кроком вивчати структуру системи і набувати навичок роботи в її середовищі.

Вправа. Побудувати дві дуги, прив'язавши їх кінцеві точки.

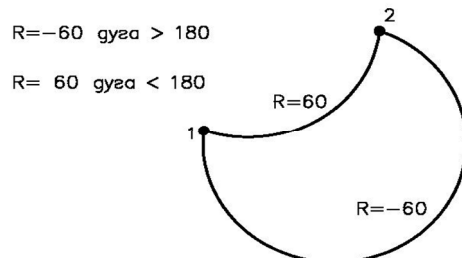


Рис. 3. Побудова дуг
 Fig. 3. Construction of arcs

Вправа. Накреслити еквідистанту (подібні примітиви на відстані 5 мм).

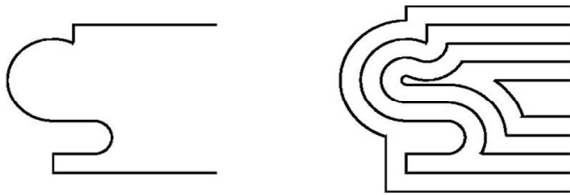


Рис. 4. Побудова еквідистанти
Fig. 4. Construction of an equidistant line



Рис. 5. Нанесення штрихування
Fig. 5. Applying hatch patterns

Наступна тема з вивчення графічного редактора AutoCAD «Команди оформлення креслень, рисунків» дозволяє вивчити налаштування розмірних стилів, текстових стилів, зміни масштабу зображення, вікна для нанесення штрихування, засвоїти роботу з утилітами (керуючими перемінними), нанесенням допусків, відхилень, шорсткості поверхні деталі, позначення матеріалу [3; 4; 6]. Нижче наведено фрагменти із вправ (рис. 5, 6).

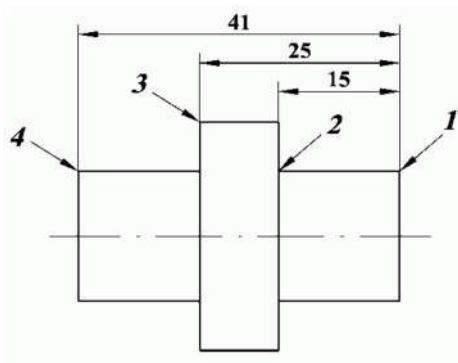


Рис. 6. Нанесення базового розміру
Fig. 6. Drawing of the basic size

Тема «Властивості примітивів. Створення блоків» містить інструкції з використання таких сервісних можливостей системи як пошарове конструювання виробу, застосування фрагментів у формуванні креслення, знайомить із прийомами створення параметричних об'єктів і особливостями роботи з ними, дозволяє зрозуміти суть бібліотечних елементів системи і, надалі, формування

моделей для власної бібліотеки. За допомогою блоків можна створити свою базу даних, яка може бути використана для створення креслень. Нижче наведено фрагмент вправи (рис. 7).

Виконавши ці вправи, студенти навчаються розробляти складальні креслення, використовуючи можливості конструкторської бібліотеки системи AutoCAD для зображення стандартних кріпильних елементів. У процесі виконання таких вправ студенти не тільки знайомляться зі структурою і змістом бібліотеки, а й отримують початкові навички конструювання, «збираючи» стандартні з'єднання з їх компонентів у певній послідовності [3; 4; 6].

Вправа. Виконати креслення за заданими розмірами, використовуючи розподіл його за шарами.

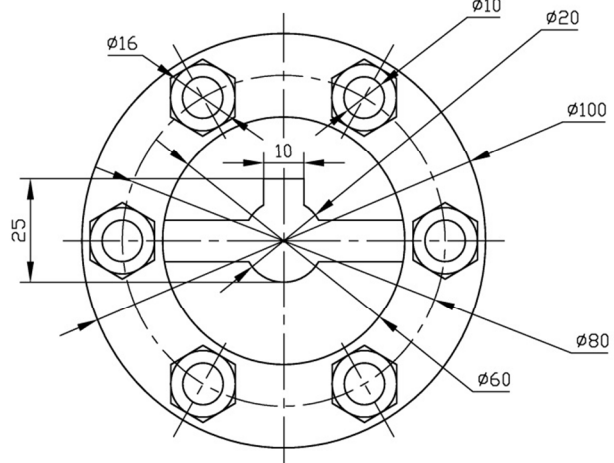


Рис. 7. Креслення з використанням розподілу за шарами
Fig. 7. Drawing with the use of layers

Наступний етап у вивченні графічного редактора AutoCAD - це розгляд теми «Виконання креслення деталі відповідно до вимог ЄСКД». Використовуючи раніше набуті знання, студент повинен створити креслення деталі в тій послідовності, яка пропонується в цій темі, оформити креслення згідно з вимогами ЄСКД[5]. На рисунку 8 наведено приклад однієї з вправ із цієї теми.

З наступної теми «Специфікації» наводяться вправи, призначені для отримання навичок складання специфікацій, як у ручному, так і в автоматизованому режимі [3; 4]. Ці навички використовуються для розроблення складальних креслень і

безпосередньо під час виконання курсового проекту з дисципліни «Деталі машин».

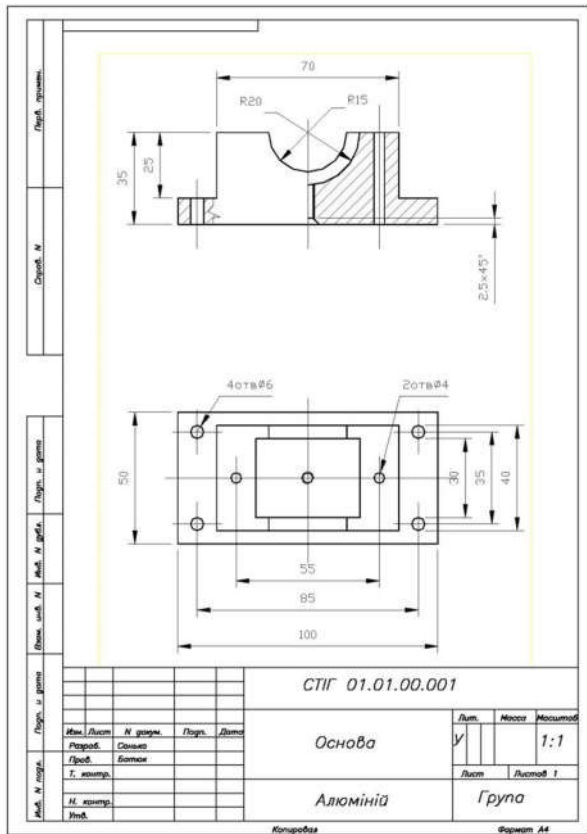


Рис. 8. Креслення деталі відповідно до вимог ЄСКД
 Fig. 8. Drawing a part according to the requirements of the Unified system for design documentation

Передбачено проміжний контроль засвоєння студентами розглянутих у вправах функціональних можливостей системи. Для успішного виконання завдань, які наводяться в тестах, необхідні знання не тільки системи AutoCAD і володіння навичками роботи в ній (методиками побудови контуру деталі, налаштування елементів системи, можливостей керування масштабом зображення і масштабування креслення, використання текстових шаблонів), а й основ нарисної геометрії. У такий спосіб підтримується взаємозв'язок розділів курсу інженерної графіки.

Висновки. Виконання запропонованого комплексу завдань – лише перший етап навчання студентів комп'ютерних технологій створення конструкторської документації. Набуті знання, уміння й навички роботи в середовищі системи AutoCAD знадобляться під час вивчення сучасних засобів тривимірного моделювання.

Виконання креслень із використанням комп'ютерних засобів, безсумнівно, більш привабливе для студентів, порівняно із традиційним кресленням. Захоплені студенти самостійно засвоюють функції системи, не передбачені для вивчення програмою курсу, й із задоволенням беруть участь в олімпіадах з інженерної і комп'ютерної графіки, які проводяться щорічно на кафедрі МОПП Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Отриманий досвід дозволить студентам швидко засвоїти й більш складні графічні програмні продукти, що використовуються на підприємствах різних галузей промисловості, у науково-дослідних і проектно-конструкторських організаціях.

Потрібно зазначити, що особливістю навчального процесу з дисципліни «Інженерна графіка» завжди був високий ступінь індивідуалізації навчання, зумовлений персональним характером графічних завдань, а також значна трудомісткість виконання і перевірки цих завдань.

За комплексного підходу навчання студентів інженерної і комп'ютерної графіки проблема трудомісткості перевірки графічних робіт і контролю знань стає ще більш актуальною. Перевірка електронного креслення помітно підвищує навантаження на зір. Найчастіше неможливість побачити все креслення на екрані монітора в масштабі, зручному для роботи, збільшує час перевірки креслення. Нарешті, труднощі, що виникають під час фіксування зауважень викладача в електронному документі і, як наслідок, несвоєчасне виправлення помилок збільшують у кілька разів число звертань студентів за консультацією.

Частково ця проблема вирішується попереднім виконанням креслення в ескізному варіанті і проміжними роздруковками його електронної версії. У курсовому проектуванні виконання ескізного варіанта компоновання складального креслення є обов'язковим етапом роботи над проектом. Це дозволяє викладачеві оцінити самостійність роботи студента вже на першому етапі проектування і знизити ймовірність тиражування готових варіантів завдань.

Аналіз проблем, що виникають у розрахунків навчального навантаження навчальному процесі під час вивчення обмежити кількість студентів у групі на дисципліни «Інженерна і комп'ютерна графіка», дозволяє рекомендувати в нормах одного викладача та збільшити кількість годин, призначених для консультацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко В. П. Нарисна геометрія / В. П. Ткаченко, Ю. А. Тищенко, В. К. Суховерхов ; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2004. – 191 с.
2. Михайленко В. Е. Инженерная графика / В. Е. Михайленко, А. М. Пономарев – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев : Вища школа, 1990. – 303 с.
3. Карпюк Л. В. Комп'ютерна графіка в машинобудівельних кресленнях / Л. В. Карпюк, М. І. Гуліда, С. А. Ревенко. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2007. – 132 с.
4. Комп'ютерна графіка в хімічному апаратобудуванні / С. А. Ревенко, Л. В. Карпюк, М. І. Гуліда, О. Г. Архипов. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2012. – 400 с.
5. Единая система конструкторской документации. ГОСТ 2.301-68–ГОСТ 2.303-68, ГОСТ 2.304-81, ГОСТ 2.305-68–ГОСТ 2.307-68, ГОСТ 2.308-79, ГОСТ 2.309-73, ГОСТ 2.310-68, ГОСТ 2.311-68, ГОСТ 2.312-72, ГОСТ 2.313-82, ГОСТ 2.314-68–ГОСТ 2.316-68, ГОСТ 2.317-69, ГОСТ 2.318-81, ГОСТ 2.320-82, ГОСТ 2.321-84 : изд. офиц. – Москва : Изд-во стандартов, 2001. – (Межгосударственные стандарты). – Электрон. текстовые дан.
6. Соколова Т. Ю. AutoCAD 2012 на 100%. / Соколова Т. Ю. – Санкт-Петербург : Питер, 2012. – 576 с.

REFERENCES

1. Tkachenko V. P., Tishchenko Yu. A. and Sukhoverkhov V.K. *Narysna geometriia* [Descriptive geometry]. Skhidnoukr. nats. un-t im. Volodymyra Dalia. [East National University n. a. Dal V.]. Lugansk : SNU im. V. Dalia, 2004, 192 p. (in Ukrainian)
2. Mykhajlenko V. E. and Ponomarev A. M. *Inzhenernaya grafika* [Engineering graphics]. Kyiv : Vyscha shkola, 1990, 303 p. (in Russian)
3. Karpiuk L. V., Gulida M. I. and Revenko S. A. *Kompiuterna grafika v mashynobudivnykh kreslenniakh* [Computer graphics in engineering drawings]. Lugansk: SNU im. V. Dalia, 2007, 132 p. (in Russian)
4. Revenko S. A., Karpiuk L. V., Hulida M. I. and Arkhipov O. H. *Kompiuterna grafika v khimichnomu aparatobuduvanni* [Computer graphics in chemical equipment building]. Lugansk: SNU im. V. Dalia, 2012, 400 p. (in Russian)
5. Mezghosudarstvennyye standarty. *Edinaya sistema konstruktorskoj dokumentatsii. GOST 2.301-68–GOST 2.303-68, GOST 2.304-81, GOST 2.305-68–GOST 2.307-68, GOST 2.308-79, GOST 2.309-73, GOST 2.310-68, GOST 2.311-68, GOST 2.312-72, GOST 2.313-82, GOST 2.314-68–GOST 2.316-68, GOST 2.317-69, GOST 2.318-81, GOST 2.320-82, GOST 2.321-84* [The design documentation unified system. National State Standard 2.301-68–2.303-68, National State Standard 2.304-81, National State Standard 2.305-68–2.307-68, National State Standard 2.308-79, National State Standard 2.309-73, National State Standard 2.310-68, National State Standard 2.311-68, National State Standard 2.312-72, National State Standard 2.313-82, National State Standard 2.314-68–2.316-68, National State Standard 2.317-69, National State Standard 2.318-81, National State Standard 2.320-82, National State Standard 2.321-84]. Moskva: Izdatel'stvo standartov, 2001. (in Russian)
6. Sokolova T. Yu. *AutoCAD 2012 na 100%* [AutoCAD 2012 on 100%]. Sankt-Peterburg: Piter, 2012, 576 p. (in Russian)

Рецензент: к. т. н., проф. Ткач Д. І.

Надійшла до редколегії: 16.05.2016 р.

Прийнята до друку: 10.07.2016 р.

УДК 504.3.054+504.064.2

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

ПОЛИЩУК С. З.^{1*}, д. т. н, проф.,

КАСПИЙЦЕВА В. Ю.^{2*}, соиск.

^{1*} Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X.

^{2*} Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5977-106X.

Аннотация. Постановка проблемы. Проблема качества атмосферного воздуха занимает особое место среди проблем охраны окружающей природной среды. Это обусловлено прежде всего жизненной необходимостью атмосферного воздуха для всего живого на Земле, влиянием состояния атмосферы на глобальные климатические процессы и биосферу в целом за счет огромной подвижности воздушных масс, с которыми могут переноситься вредные примеси. Особенно актуальны эти вопросы для старопромышленных регионов, где уровень антропогенного воздействия достиг критической величины. К таким регионам относится и Днепропетровская область. При разработке эколого-экономических сценариев развития таких регионов и их территориальных составляющих возникает необходимость в определении возможных последствий антропогенных процессов, которые происходят (или могут происходить) в атмосферном воздухе. Это требует усиления прогнозных функций экологического мониторинга, в частности, по атмосферному воздуху, при планировании и застройке территорий, при выборе оптимального сценария градостроительства. **Цель работы** - усовершенствовать подсистему оценки и прогноза состояния атмосферного воздуха на примере СЭМ «Приднепровье» Днепропетровской области посредством введения комплекса математических моделей, ориентированных на крупный промышленный регион, который позволит при наличии критериев и показателей получить как статистическую (для краткосрочного прогноза в период устойчивых атмосферных процессов), так и динамическую оценку состояния атмосферного воздуха, прогноз изменений параметров атмосферного воздуха и распространения загрязняющих веществ, а также их влияния на окружающую среду и человека. **Вывод.** Предложенный подход позволяет учесть комплексные показатели устойчивого развития, территориальный, отраслевой, социальный, экономический и экологический, временной аспекты, возможности атмосферного воздуха как полиресурса, обеспечивает прогноз и оценку состояния атмосферного воздуха в системе регионального экологического мониторинга при выборе и реализации стратегии устойчивого эколого-экономического развития территории.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение воздушного бассейна, ресурсный потенциал, оценка качества, прогноз состояния, мониторинг

ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

ПОЛИЩУК С. З.^{1*}, д. т. н, проф.,

КАСПИЙЦЕВА В. Ю.^{2*}, здобувач.

^{1*} Кафедра опалювання, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X.

^{2*} Кафедра опалювання, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5977-106X.

Анотація. Постановка проблеми. Проблема якості атмосферного повітря посідає особливе місце серед проблем охорони навколишнього природного середовища. Це зумовлено перш за все життєвою необхідністю атмосферного повітря для всього живого на Землі, впливом стану атмосфери на глобальні кліматичні процеси і біосферу в цілому за рахунок величезної рухливості повітряних мас, з якими можуть переноситися шкідливі домішки. Особливо актуальні ці питання для старопромилових регіонів, де рівень антропогенної дії досяг критичної величини. До таких регіонів належить і Дніпропетровська область. Під час розроблення еколого-економічних сценаріїв розвитку таких регіонів та їх територіальних складових виникає необхідність у визначенні можливих наслідків антропогенних процесів, які відбуваються (або можуть відбуватися) в атмосферному повітрі. Це вимагає посилення прогнозних функцій екологічного моніторингу, зокрема, щодо атмосферного повітря, під час планування і забудови територій, для вибору оптимального сценарію містобудування. **Мета роботи** - вдосконалити підсистему оцінки і прогнозу стану атмосферного повітря на

прикладі СЕМ «Придніпров'я» Дніпропетровської області за допомогою введення комплексу математичних моделей, орієнтованих на великий промисловий регіон, який дозволить за наявності критеріїв і показників отримати як статистичну (для короткострокового прогнозу в період стійких атмосферних процесів), так і динамічну оцінку стану атмосферного повітря, прогноз змін параметрів атмосферного повітря і розповсюдження забруднювальних речовин, а також їх впливу на навколишнє середовище і людину. **Висновок.** Запропонований підхід дозволяє врахувати комплексні показники сталого розвитку, територіальний, галузевий, соціальний, економічний і екологічний, часовий аспекти, ресурсні можливості атмосферного повітря, забезпечує прогноз і оцінку стану атмосферного повітря в системі регіонального екологічного моніторингу під час вибору та реалізації стратегії сталого еколого-економічного розвитку території.

Ключові слова: *атмосферне повітря, забруднення повітряного басейну, ресурсний потенціал, оцінка якості, прогноз стану, моніторинг*

ESTIMATION AND PROGNOSIS OF QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR AT REGIONAL LEVEL

POLISCHUKS. Z.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KASPIJCTEVA V. YU.^{2*}, *competitor*

^{1*} Department of Heating, Ventilation and Quality of Air Environment, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-6473-253X.

^{2*} Department of Heating, Ventilation and Quality of Air Environment, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-92, e-mail: ov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5977-106X.

Summary. Raising of problem. The problem of quality of atmospheric air takes a special place among problems of protection of a surrounding environment. It is caused first of all by vital necessity of atmospheric air for all alive on the Earth, influence of a condition of an atmosphere on global climatic processes and biosphere as a whole due to huge mobility of air weights with which harmful impurity can be transferred. These questions for industrial regions where the level of anthropogenous influence has reached critical size are especially actual. The Dnepropetrovsk area concerns to such regions also. By development of scripts of development of such regions and their territorial components there is a necessity for definition of possible consequences of anthropogenous processes, which occur (or can occur) in atmospheric air. It demands strengthening prognostic functions of ecological monitoring, in particular on atmospheric air, at planning and building of territories, at a choice of the optimum script of town-planning. **Purpose.** To improve a subsystem of an estimation and the forecast of a condition of atmospheric air on an example of system of ecological monitoring «Pridneprov'e» the Dnepropetrovsk area by means of introduction of a complex of the mathematical models focused on large industrial region which will allow at presence of criteria and parameters to receive as statistical (for the short-term forecast during steady atmospheric processes), and dynamic estimations of a condition of atmospheric air, the forecast of changes of parameters of atmospheric air and distribution of polluting substances, and also their influence on an environment and the person. **Conclusion.** The offered approach allows to consider complex parameters of steady development, territorial, branch, social, economic and ecological, time aspects, opportunities of atmospheric air as a polyresource, provides the forecast and an estimation of a condition of atmospheric air in system of regional ecological monitoring at a choice and realization of strategy of steady ecological and economic development of territory.

Keywords: *atmospheric air, pollution of air pool, resource potential, an estimation of quality, the forecast of a condition, monitoring*

Постановка проблеми. Проблема качества атмосферного воздуха занимает особое место среди проблем охраны окружающей природной среды. Это обусловлено прежде всего жизненной необходимостью атмосферного воздуха для всего живого на Земле, влиянием состояния атмосферы на глобальные климатические процессы и биосферу в целом за счет огромной подвижности воздушных масс, с которыми могут переноситься вредные примеси.

Особенно актуальны эти вопросы для старопромышленных регионов, где уровень антропогенного воздействия достиг критической величины. К таким регионам относится и Днепропетровская область. На ее территории добывается около 80 % железной и 100 % марганцевых руд общегосударственных запасов. Здесь сосредоточено до 40 % мощностей черной металлургии Украины, 11 % электроэнергетики, около 5 % машиностроения.

При разработке эколого-экономических сценариев развития таких

регионов и их территориальных составляющих возникает необходимость в определении возможных последствий антропогенных процессов, которые происходят (или могут происходить) в атмосферном воздухе. Это требует усиления прогнозных функций экологического мониторинга, в частности, по атмосферному воздуху, при планировании и застройке территорий, при выборе оптимального сценария градостроительства [1]. При этом в соответствии с законодательством об охране окружающей природной среды [2] становятся приоритетными направления экологической безопасности.

На основе современных представлений о качестве атмосферного воздуха и трансформации загрязняющих веществ возникает необходимость в создании такой математической модели для блока оценки и прогноза состояния атмосферного воздуха, которая бы учитывала территориальную и отраслевую специфику рассматриваемого региона, а также медицинский, социальный, экологический и рыночный аспекты при решении задач по оценке загрязненности атмосферного воздуха, а полученные с ее помощью результаты позволили бы определиться с выработкой эффективной программы регионального развития и проанализировать перспективы развития региона.

Проведенный анализ существующих математических моделей распространения примесей в атмосферном воздухе свидетельствует о недостаточности предлагаемых решений для использования их при описании региона как единой социо-эколого-экономической системы. Кроме того, создать единую модель атмосферных процессов, пригодную для любого региона с его специфическими промышленными и природными характеристиками достаточно сложно. Наиболее предпочтительной здесь является составная прогностическая модель, основанная на наборе определенных модулей, которые могут быть использованы как отдельно, так и в совокупности в зависимости от детальности и длительности прогноза, а также сложности атмосферных процессов.

Цель статьи. В связи с этим предлагается усовершенствовать подсистему оценки и прогноза состояния атмосферного воздуха на примере системы экологического мониторинга (СЭМ) «Приднепровье» Днепропетровской области посредством введения комплекса математических моделей, ориентированных на крупный промышленный регион, который позволит при наличии критериев и показателей получить как статистическую (для краткосрочного прогноза в период устойчивых атмосферных процессов), так и динамическую оценку состояния атмосферного воздуха, прогноз изменений параметров атмосферного воздуха и распространения загрязняющих веществ, а также их влияния на окружающую среду и человека.

Материал и методы исследований. Подсистема «Математические прогнозные модели» в составе СЭМ «Приднепровье» 1-й очереди представлена стандартной методикой ОНД-86 [3], и одной моделью оценки и прогноза распространения загрязняющих веществ в атмосфере от мощных точечных источников выбросов вредных элементов [4]. Решение по этим моделям позволяет построить поля загрязнений с учетом метеоусловий.

Предлагаемый новый структурный ряд, позволяющий обеспечить прогнозный блок, приведен на рисунке.

Верхний уровень в предлагаемой структуре - это определение интегральных показателей состояния ресурсного потенциала и качества атмосферного воздуха.

Структура обобщенных интегральных показателей состояния ресурсного потенциала и качества атмосферного воздуха представлена тремя основными уровнями агрегирования: обобщенная интегральная оценка, макропоказатели, базовые показатели. При определении макропоказателей и базовых показателей используется метод экспертной оценки.

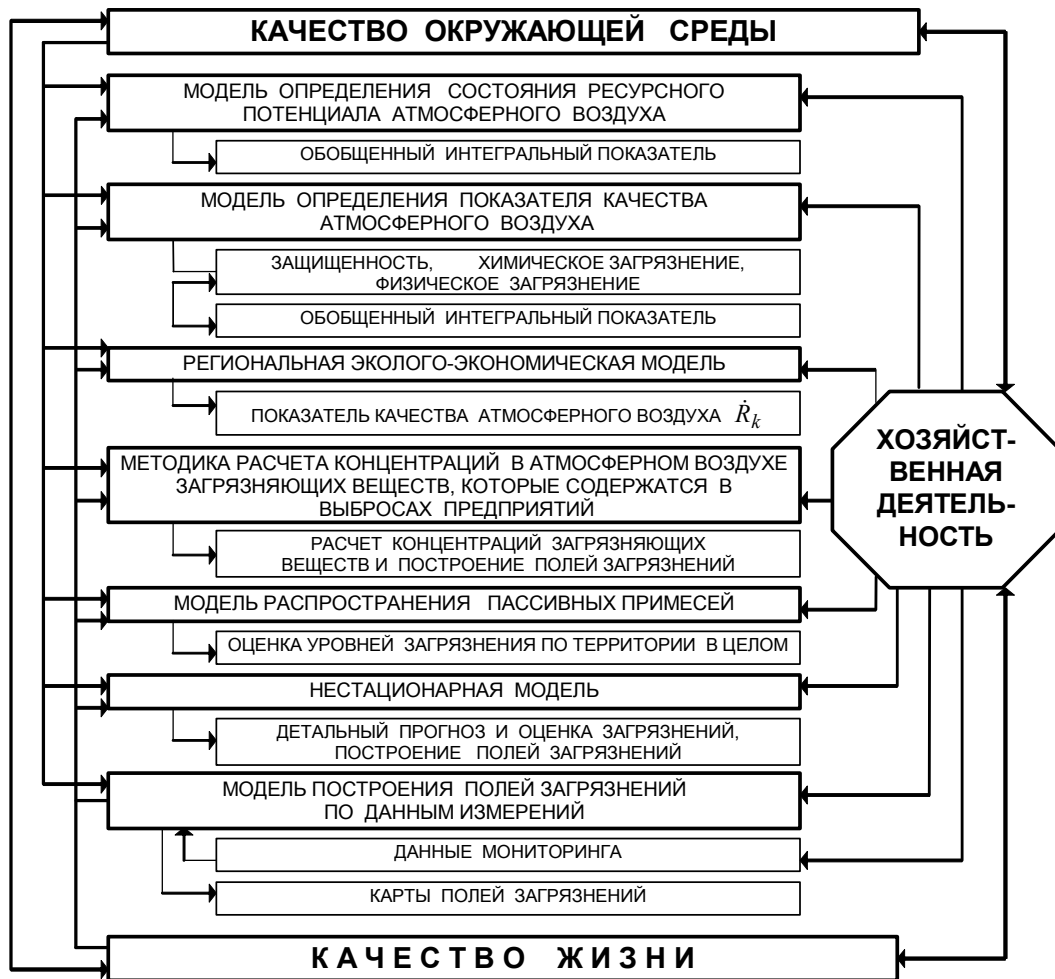


Рис. Структурная схема программного обеспечения подсистемы прогноза и оценки загрязнения атмосферного воздуха

Показатель состояния ресурсного потенциала представлен следующим составом макропоказателей: ресурс жизни, макроэнергетический ресурс, ресурс транспортной среды, ресурс полезных химических веществ. Состав макропоказателей в обобщенном интегральном показателе качества имеет вид: защищенность атмосферного воздуха территории, показатель химического загрязнения воздуха, показатель физического загрязнения.

Методические подходы к определению показателей и основные зависимости изложены в [5]. Каждая составляющая обобщенных интегральных показателей характеризуется одним приведенным безразмерным показателем, который изменяется в интервале от 0 до 1. Величины показателей характеризуются в соответствии с единой унифицированной шкалой.

Предложенные выше модели отражают основные связи и зависимости реального объекта и позволяют в целом определиться с направлением развития региона без подробной детализации составляющих социально-природно-техногенного комплекса, в том числе и территориальной.

Методически зависимость между показателями устойчивого развития и качеством окружающей среды, в том числе и атмосферного воздуха, может быть описана с помощью методики, разработанной в ИППЭ НАН Украины [6].

Экологический блок модели с математической точки зрения представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих изменение значений показателей состояния природной среды R_k , в данном случае

атмосферного воздуха, с течением времени:

$$\frac{dR_k}{dt} = G_{k,1} + G_{k,2} + G_{k,3} + r_k^u + r_k^э,$$

где: $G_{k,1}$ - естественные превращения величины R_k под действием компонент окружающей среды;

$G_{k,2}$ - убыль R_k за счет поглощающих факторов внутри региона;

$G_{k,3}$ - образование R_k за счет внутренних источников;

r_k^u - приток R_k из-за пределов района;

$r_k^э$ - отток R_k за пределы района.

В качестве слагаемых $G_{k,1}$, $G_{k,2}$, $G_{k,3}$ принимались: изменение показателей в результате взаимного влияния природных компонент друг на друга, изменение показателей за счет работы природоохранных отраслей, изменение показателей под действием работы промышленности, изменение показателей, обусловленных жизнедеятельностью населения. Сценарии развития региона, входящие в экологический блок комплексной модели, определяют величины $G_{k,1}$, $G_{k,2}$, $G_{k,3}$ и таким образом влияют на решение исходного уравнения.

Математическая модель распространения пассивных примесей [7] позволяет получить более детальную характеристику загрязненности территории региона, оценить ее в целом. Модель основана на использовании уравнения турбулентной диффузии, в предположении о квазистационарности изменений концентраций загрязняющих веществ.

Для получения детальной характеристики уровней загрязненности атмосферного воздуха для экологически опасных объектов предназначена модель, которая уже присутствует в прогнозном блоке (1-я очередь) [4]. Она основана на раздельном решении динамической (определение компонент вектора скорости во времени и пространстве) и диффузионной (задача переноса вредных примесей) задач.

Для обеспечения возможности оперативного контроля спрогнозированного загрязнения и оценки состояния воздушного бассейна при решении задач техногенной

безопасности предназначена модель визуализации и прогноза полей загрязнений атмосферного воздуха [8]. Схема реализации модели основана на использовании метода интерполирования и разложения по естественным ортогональным функциям информации о загрязнении окружающей среды, поступающей с постов наблюдения, который нашел применение при решении подобных задач.

Численные исследования по оценке состояния ресурсного потенциала и показателей качества атмосферного воздуха проведены для условий Днепропетровской области. Выполнен количественный прогноз их изменений при различных сценариях развития региона.

В результате установлено, что в целом значение обобщенного интегрального показателя ресурсного потенциала соответствует благополучному состоянию и составляет около 0,8. Значение обобщенного интегрального показателя качества атмосферного воздуха Днепропетровской области составляет 0,49, что отвечает удовлетворительному состоянию.

С использованием модели распространения пассивных примесей выполнена оценка защищенности территории Днепропетровска от атмосферных загрязнений и предоставлены рекомендации по сохранению и возобновлению естественного состояния атмосферного воздуха, созданию благоприятных условий для жизнедеятельности жителей. Рассчитан ассимиляционный потенциал территории города и определен размер ассимиляционного резерва при расчете компенсирующей стоимости зеленых насаждений, которые нейтрализуют вредные выбросы в атмосферный воздух.

Ассимиляционный резерв подстилающей поверхности города по газообразным примесям составляет 0,22–0,43. Это свидетельствует о том, что подстилающая поверхность города не в состоянии нейтрализовать вредные

примеси, поступающие из атмосферы. Город нуждается в увеличении площади зеленых насаждений - компенсирующего озеленения. Поэтому актуальной становится проблема поддержки 30-километровой защитной зеленой полосы вокруг города, что позволит увеличить ассимиляционный резерв территории.

При решении задач экологической безопасности с использованием модели распространения примесей от мощных точечных источников выполнен прогноз возможных последствий крупных аварийных ситуаций для Вольногорского горно-металлургического комбината. На основе полученных результатов предоставлены рекомендации по эффективной и экологически безопасной эксплуатации складов сильнодействующих ядовитых веществ.

При разработке Программы по снижению загрязнения атмосферного воздуха основными предприятиями-загрязнителями г. Днепропетровска на 2008-2015 годы выполнен анализ качества атмосферного воздуха города и предоставлены рекомендации по сохранению и восстановлению естественного состояния атмосферного воздуха, созданию

благоприятных условий для жизнедеятельности, обеспечения экологической безопасности и предотвращения влияния вредных примесей на здоровье жителей города и окружающую природную среду. Предложен показатель обеспечения надежности выполнения санитарно-гигиенических нормативов для расчета показателя риска от загрязнения атмосферного воздуха. С приведенной экспериментальной оценкой хорошо согласовываются и результаты оценки качества атмосферного воздуха Днепра и области по методике верхнего уровня.

Вывод. Исходя из вышеизложенного можно заключить, что предложенный в статье подход, позволяющий учесть комплексные показатели устойчивого развития, территориальный, отраслевой, социальный, экономический и экологический, временной аспекты, возможности атмосферного воздуха как полиресурса, обеспечивает прогноз и оценку состояния атмосферного воздуха в системе регионального экологического мониторинга при выборе и реализации стратегии устойчивого эколого-экономического развития территории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17 лютого 2011 р. № 3038-VI / Верховна Рада України // Верховна Рада України. Офіційний веб-портал. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>.
2. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16 жовтня 1992 р. № 2707-XII / Верховна Рада України // Верховна Рада України. Офіційний веб-портал. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86: Утв. Председателем Госкомитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды 4 августа 1986 г. № 192. – Введ. 1987 - 01 - 01; взамен СН 369-74 // ДНАОП. Законодавча база. – Ленинград : Гидрометеоиздат. – 76 с. – Режим доступа: <http://dnaop.com/html/31047/doc--%D0%9E%D0%9D%D0%A2%D0%9F-86/>.
4. Прогноз распространения химических загрязнителей в атмосферном воздухе / С. З. Полищук, И. Л. Ветвицкий, А. И. Кораблева, В. О. Петренко, Н. Н. Переметчик, В. Ю. Каспийцева // Качество воздушной среды помещений: изучение, формирование, контроль и прогноз. – Днепропетровск : ЧМП «Экономика», 2009. – Глава 6. – С. 199–211.
5. Каспийцева В. Ю. Оценка защищенности территорий от атмосферных загрязнений при планировании и застройке / В. Ю. Каспийцева // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 76 : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. – С. 143–147.
6. Методические подходы к выбору стратегии устойчивого развития территории : в 2 - х томах. Т. 2 / под научн. ред. проф., д.т.н. А. Г. Шапаря / ИППЭ НАН Украины. – Днепропетровск, 1996. – 170 с.
7. Каспийцева В. Ю. Оценка рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосфере промышленного региона / В. Ю. Каспийцева // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр.

акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 62 : Безопасность жизнедеятельности. – С. 189–194.

8. Каспийцева В. Ю. Прогноз и визуализация полей показателей экологического состояния атмосферного воздуха по данным измерений / В. Ю. Каспийцева // Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горном деле : докл. II Междунар. науч.-практ. конф. 15 - 17 мая 2000 г. / Мин-во образования и науки Украины. – Днепропетровск, 2000. – С. 232–235.

REFERENCES

1. Verkhovna Rada Ukrainy. *Pro rehulivannia mistobudivnoi diialnosti: Zakon Ukrainy vid 17 liutoho 2011 r. № 3038-VI* [About adjusting of town-planning activity: Law of Ukraine from February, 17 in 2011 no. 3038-VI]. Verkhovna Rada Ukrainy. Ofitsiyni veb-portal [Verkhovna Rada of Ukraine. Official web-portal]. Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>. (in Ukrainian).
2. Verkhovna Rada Ukrainy. *Pro okhoronu atmosferneho povitria: Zakon Ukrainy vid 16 zhovtnia 1992 r. № 2707-XII* [About the atmospheric air safety: Law of Ukraine from October, 16 in 1992 no. 2707-XII]. Verkhovna Rada Ukrainy. Ofitsiyni veb-portal [Verkhovna Rada of Ukraine. Official web-portal]. Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>. (in Ukrainian).
3. DNAOP. Zakonodavcha baza. *Metodika rascheta kontsentratsii v atmosfernom vozdukh vrednykh veshchestv, sodержashchihsva v vybrosakh predpriatii: OND-86: Utv. Predsedatelem Goskomiteta SSSR po gidrometeorologii i kontrolyu prirodnoy sredy 4 avgusta 1986 g. № 192* [The calculation method of concentrations in the atmospheric air of harmful matters contained in the enterprises waste: OND-86: Ratified by the state Committee chairman of the USSR on hydrometeorology and control of natural environment of Augusts, 4, 1986 no. 192]. *Vved. 1987 - 01 - 01; vzamen SN 369–74* [Entered 1987 - 01 - 01; in exchange of the Construction Standards 369–74]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 76 p. Available at: <http://dnaop.com/html/31047/doc--%D0%9E%D0%9D%D0%A2%D0%9F-86/>. (in Russian).
4. Polishchuk S.Z., Vetvitskiy I.L., Korableva A.I., Petrenko V.O., Peremetchik N.N. and Kaspiytseva V.Yu. *Prognoz rasprostraneniya khimicheskikh zagryazniteley v atmosfernom vozdukh* [A prognosis of chemical contamination sources distribution in the atmospheric air]. *Kachestvo vozdushnoy sredy pomeshcheniy: izuchenie, formirovanie, kontrol' i prognoz* [The air environment quality of apartments: study, forming, control and prognosis]. Dnepropetrovsk: ChMP «Ekonomika», 2009, chapter 6, pp. 199–211. (in Russian).
5. Kaspiytseva V.Yu. *Otsenka zashchishchennosti territoriy ot atmosfernykh zagryaznenij pri planirovanii i zastroyke* [Estimation of territories safety from atmospheric pollution at planning and building]. *Energetika, ekologiya, kompyuternye tekhnologii v stroitel'stve* [Energetics, ecology, computer technologies in construction]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauch. tr.* [Collection of scientific papers: Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. akad. str-va i arkhitektury [Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2014, iss 76, pp. 143–147 (in Russian).
6. Shapar' A.G. *Metodicheskie podkhody k vyboru strategii ustoychivogo razvitiya territori: v 2-kh tomakh* [Methodical approaches to a strategy choice of steady territory development: in 2 volumes] IPPYe NAN Ukrainy [Institute for Nature Management and Ecology of NAS of Ukraine]. Dnepropetrovsk, 1996, vol. 2, 170 p. (in Russian).
7. Kaspiytseva V.Yu. *Otsenka rasseivaniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshhestv v atmosfere promyshlennogo regiona* [The dispersion estimation of polluting substances emissions in atmosphere of industrial region]. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti* [Life Safety]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauch. tr.* [Collection of scientific papers: Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. Pridnepr. akad. str-va i arkhitektury [Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2011, iss. 62, pp. 189–194 (in Russian).
8. Kaspiytseva V.Yu. *Prognoz i vizualizatsiya poley pokazateley ekologicheskogo sostoyaniya atmosferного vozdukhа po dannym izmereniy* [Fields prediction and visualization of environmental air condition indicators according to measurements]. *Problemy i perspektivy ispol'zovaniya geoinformatsionnykh tekhnologiy v gornom dele: dokl. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 15-17 maya 2000 g.* [Problems and prospects of geoinformation technologies use in mining: report of the second International Scientific-Practical Conference, on May, 15-17th, 2000]. Min-vo obrazovaniya i nauki Ukrainy [Ministry of Education and Science of Ukraine]. Dnepropetrovsk, 2000, pp. 232–235 (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Беліков А. С.

Надійшла до редколегії: 01.06.2016 р.

Прийнята до друку: 14.07.2016 р.

УДК 658.511.4

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

МЕНЕЙЛЮК А. И.^{1*}, д. т. н., проф.,

МЕНЕЙЛЮК И. А.^{2*}, к. т. н.,

НИКИФОРОВ А. Л.^{3*}, асп.

^{1*} Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (048) 7236151, e-mail: pr.mai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1007-309X

^{2*} Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (048) 7236151, ORCID ID: 0000-0001-5671-334X

^{3*} Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 65029, Одесса, Украина, тел. +38 (066) 3309054, e-mail: aleksey-nikiforov@mail.ua, ORCID ID: 0000-0001-7002-7055

Аннотация. *Постановка проблемы.* Проанализированы численные методы оптимизации проектов строительства и реконструкции инженерных сооружений. Рассмотрены возможные способы моделирования организационно-технологических решений в строительстве. На основании проведенного анализа в качестве наиболее эффективного выбран метод оптимизации путём экспериментально-статистического моделирования с применением современных компьютерных программ в области управления проектами и математической статистики. **Вывод.** Разработан алгоритм решения оптимизационных задач с помощью экспериментально-статистического моделирования.

Ключевые слова: обоснование и планирование инвестиционно-строительных проектов, экспериментально-статистическое моделирование, численные методы оптимизации

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЧИСЛОВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ БУДІВНИЦТВА ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

МЕНЕЙЛЮК О. І.^{1*}, д. т. н., проф.,

МЕНЕЙЛЮК І. О.^{2*}, к. т. н.,

НІКІФОРОВ О. Л.^{3*}, асп.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (048) 7236151, e-mail: pr.mai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1007-309X

^{2*} Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (048) 7236151, ORCID ID: 0000-0001-5671-334X

^{3*} Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 65029, Одеса, Україна, тел. +38 (066) 3309054, e-mail: aleksey-nikiforov@mail.ua, ORCID ID: 0000-0001-7002-7055

Анотація. *Постановка проблеми.* Проаналізовано числові методи оптимізації проектів будівництва та реконструкції інженерних споруд. Розглянуто можливі способи моделювання організаційно-технологічних рішень у будівництві. На підставі проведеного аналізу в як найбільш ефективний обрано метод оптимізації шляхом експериментально-статистичного моделювання із застосуванням сучасних комп'ютерних програм у галузі управління проектами та математичної статистики. **Висновок.** Розроблено алгоритм розв'язання оптимізаційних задач за допомогою експериментально-статистичного моделювання.

Ключові слова: обґрунтування та планування інвестиційно-будівельних проектів, експериментально-статистичне моделювання, числові методи оптимізації

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS OF NUMERICAL PROJECT OPTIMIZATION FOR THE CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF ENGINEERING STRUCTURES

MENEJLJUK O. I.^{1*}, Doct. Sc. (Tech.), Ass.-prof.,

MENEJLJUK I. O.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.),

NIKIFOROV O. L.^{3*}, post-grad. stud.

^{1*} Department of Technology of Building Production, Odesa state academy of civil engineering and architecture, Didrikhsona str., 65029, Odesa, Ukraine, phone +38 (048) 7236151, e-mail: pr.mai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1007-309X

^{2*} Department of Technology of Building Production, Odesa state academy of civil engineering and architecture, Didrikhsona str., 65029, Odesa, Ukraine, phone +38 (048) 7236151, ORCID ID: 0000-0001-5671-334X

^{3*} Department of Technology of Building Production, Odesa state academy of civil engineering and architecture, Didrikhsona str., 65029, Odesa, Ukraine, phone +38 (066) 3309054, e-mail: aleksey-nikiforov@mail.ua, ORCID ID: 0000-0001-7002-7055

Summary. Raising of problem. The paper analyzes the numerical optimization methods of construction projects and reconstruction of engineering structures. **Purpose.** Possible ways of modeling organizational and technological solutions in construction are presented. Based on the analysis the most effective method of optimization by experimental and statistical modeling with application of modern computer programs in the field of project management and mathematical statistics is selected. **Conclusion.** An algorithm for solving optimization problems by means of experimental and statistical modeling is developed.

Keywords: *establishment and scheduling of investment and construction projects, experimental statistical modelling, numerical methods of optimization*

Постановка проблеми. Реализация инвестиционно-строительного проекта (ИСП) часто сопряжена со значительными трудностями, особенно на стадии обоснования и планирования. Во многих случаях требуется рассмотреть различные организационные, технологические, финансовые и конструктивные варианты таких проектов и провести оптимизацию по техническим и экономическим критериям. Необходимы средства графического анализа и сравнительной количественной оценки, удовлетворяющие заданной точности, являющиеся относительно нетрудоёмкими и дающие возможность принимать решения в условиях существующих ограничений. В нормативной литературе и изученных информационных источниках отсутствуют рекомендации, удовлетворяющие заявленным требованиям. Поэтому качественное обоснование и планирование ИСП требуют разработки методики моделирования и последующей оптимизации по наиболее важным критериям.

Использование традиционных методов моделирования инвестиционно-строительных процессов не даёт возможности оценить эффективность вариантов различных решений. Моделирование таких вариантов и анализ экспериментально-статистических моделей позволит определить лучшее решение по выбранным критериям эффективности.

Цель исследования, постановка задачи. Целью исследования является разработка алгоритма оптимизации проектов строительства и реконструкции инженерных сооружений с использованием экспериментально-статистического моделирования на основании анализа возможных численных методов оптимизации и способов имитационного моделирования

строительных процессов. Поставлены следующие задачи исследования:

- проанализировать численные методы оптимизации организационных, технологических и финансовых решений в строительстве;
- рассмотреть возможные способы моделирования проектов строительства и реконструкции инженерных сооружений;
- разработать алгоритм решения оптимизационных задач с помощью экспериментально-статистического моделирования.

Преимущества и недостатки существующих численных методов оптимизации инвестиционно-строительных проектов. Среди наиболее распространённых можно выделить следующие методы математического моделирования и оптимизации производственных решений:

- линейное программирование и его варианты [1];
- оптимизация с помощью теории графов [2];
- оптимизация комбинаторным методом [3];
- нелинейное программирование [1];
- динамическое программирование [3];
- экспериментально-статистическое моделирование [8] и др.

Преимущества и недостатки использования представленных методов для оптимизации ИСП показаны в таблице.

Рассмотрим более подробно метод экспериментально-статистического моделирования. Он заключается в построении серии моделей производственных процессов согласно заранее утверждённому плану, а также в последующем нахождении зависимостей между критериями оптимизации (показателями) и исследуемыми факторами

путём анализа построенной серии с помощью аппарата математической статистики. Применение теории сокращённого планирования позволяет оптимизировать план численного эксперимента, что снижает трудоёмкость проведения исследований без потери точности. Применение математической статистики позволяет находить такие зависимости между показателями и факторами, характер которых теоретически установить невозможно или очень трудно. По сравнению с рассмотренными выше методами экспериментально-статистическое моделирование обладает следующими преимуществами:

- позволяет построить модели зависимости критериев оптимизации и рассматри-

ваемых факторов с использованием полинома первой, второй и более степени;

- даёт возможность построить эмпирические зависимости, что позволяет найти сложно формализуемые закономерности;
- позволяет в ходе анализа принять оптимальное управленческое решение по нескольким критериям сразу;
- позволяет ранжировать факторы по степени их влияния на критерий оптимизации;
- даёт широкие возможности применения графического анализа;
- позволяет решать практические задачи путём введения одного или нескольких ограничений, как по уровню исследуемых факторов, так и по значению критериев оптимизации.

Таблица

Преимущества и недостатки численных методов оптимизации ИСП

Наименование численного метода	Преимущества	Недостатки
Оптимизация с помощью теории графов	Высокая степень адаптации к условиям ИСП	Высокая трудоёмкость создания моделей; трудность оптимизации по нескольким критериям сразу; невозможность применения сравнительных средств графического анализа
Оптимизация комбинаторным методом	Точное определение оптимального решения	Чрезвычайно высокая трудоёмкость определения оптимума вследствие прямого перебора вариантов
Линейное программирование	Точное определение оптимального решения	Сложность при составлении корректных математических моделей из-за отсутствия количественных механизмов зависимости критериев оптимизации от исследуемых факторов; использование моделей первой степени не всегда корректно отображает существующие зависимости
Нелинейное программирование	Применение высоких степеней полинома позволяет строить высокоточные математические модели	См. недостатки линейного программирования
Динамическое программирование	Возможность принятия цепочки оптимальных управленческих решений	Узкая область решаемых методом задач; невозможность задания ограничений по критериям оптимизации и пределам варьирования исследуемых факторов
Экспериментально-статистическое моделирование	Относительно низкая трудоёмкость создания математических моделей с заданной точностью; возможность применения графического анализа, введения ограничений	Для решения поставленных задач не выявлены.

Классификация задач, возникающих при оптимизации ИСП. Рассмотрим задачи, решение которых возможно при использовании настоящей методики.

Отметим, что возможны различные типы и виды решения предлагаемых задач. Вид 1 характеризуется рассмотрением исключительно процесса производства строитель-

монтажных работ, в то время как вид 2 рассматривает процесс реализации ИСП полностью, от фазы инициации до периода получения прибыли. Соответственно, вид 1 больше затрагивает решение организационно-технологических задач и ресурсных конфликтов, оптимизацию технических решений, тогда как вид 2 – решение задач оптимизации схем финансирования и распределения денежных потоков.

Различны и форматы оптимизационных решений: для вида 1 это график производства работ, графики потребления трудовых и финансовых ресурсов, потребности в машинах и механизмах, отражающие выбранную модель строительного производства, для вида 2 – таблица денежных потоков по проекту, отражающая выбранную модель при заданных ограничениях и содержащая показатели эффективности ИСП по каждому из периодов и в целом по проекту, а также укрупнённые графики производства работ, содержащие подробную финансово-экономическую информацию по проекту.

Опишем типы задач, постановка которых возможна в настоящей методике:

1. Оценка влияния и выбор оптимальных значений организационно-технологических факторов при заданных финансово-экономических условиях (сравнение, выбор и обоснование стратегии организационно-технологических решений):

- при заданной схеме финансирования, структуре и сроках финансирования, и составе участников;

- при заданном уровне инфляции, ставке налогообложения, ставке амортизационных отчислений;

- при заданных норме дисконта, внутренней норме доходности и других базовых показателях бизнес-плана, принятых оптимальными [9];

- при заданном методе учёта вложений собственных ресурсов [10]:

- метод альтернативных проектов;
- метод альтернативных издержек.

2. Оценка влияния и выбор оптимальных значений финансово-экономических факторов при заданных организационно-

технологических условиях (сравнение, выбор и обоснование стратегии финансово-экономических решений):

- при заданном решении ресурсной/временной задачи;

- при заданном методе расчёта календарного плана [11]:

- метод критического пути;

- метод непрерывного использования ресурсов;

- метод непрерывного освоения фронтов работ.

- при совмещении процессов с минимальными или управляемыми резервами времени.

3. Выбор эффективной стратегии реализации ИСП при существующих ограничениях.

4. Оценка рисков использования выбранной стратегии реализации ИСП (оптимальной или нескольких моделей) при заданных условиях с помощью метода Монте-Карло и изопараметрического анализа [12; 13]. Сравнительная оценка рисков различных стратегий реализации ИСП.

5. Анализ и оценка стратегии для реализованных моделей однотипных ИСП.

Для всех типов и видов задач возможно рассмотрение как единичного, так и групп ИСП.

Алгоритм решения оптимизационных задач с помощью экспериментально-статистического моделирования. Предлагаемая методика экспериментально-статистического моделирования и оптимизации организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений реализуется с помощью общего алгоритма проведения оптимизационных исследований строительного производства с применением экспериментально-статистического моделирования, показанного на рисунке.

Ниже более подробно описаны приведённые на рисунке этапы.

Проведение и анализ результатов технического обследования условий реализации ИСП.

Разработка проектной документации: чертежей стадии П, проекта организации

строительства, локального, сводного сметных расчётов и т. п. (при необходимости).



Рис. Блок-схема методики исследования по оптимизации строительных процессов

Поиск альтернатив базовому проекту, составление номенклатуры, расчёт трудозатрат и расценок на комплексы работ (при необходимости).

Назначение степеней рисков реализации выбранных организационно-технологических и финансово-экономических схем (при необходимости).

Анализ финансово-экономических и организационно-технологических результатов, завершённых ИСП (при необходимости).

Многокритериальный анализ имеющихся технологических, финансово-технологических и др. альтернатив (при необходимости).

Определение наиболее важных показателей и влияющих на них факторов.

Построение и обоснование плана проведения эксперимента, проверка его адекватности реальным условиям по организационно-технологическим и/или финансово-экономическим критериям.

Построение экспериментальных моделей реализации ИСП с помощью специализированного программного обеспечения в соответствии с планом проведения эксперимента.

Определение предельно допустимой погрешности и ошибки эксперимента.

Построение экспериментально-статистических моделей зависимости выбранных показателей от исследуемых факторов с помощью специализированного программного обеспечения для обработки экспериментальных данных.

Предварительный анализ наиболее общих закономерностей исследования путём анализа матрицы результатов эксперимента.

Качественный анализ результатов по полученным аналитическим моделям изменения показателей.

Ранжирование факторов по степени влияния на показатели в зоне максимумов и минимумов, средних значений и синергизму (при необходимости).

Проведение экспериментальных исследований с меньшим количеством факторов или с ограничением области варьирования факторов (при необходимости).

Построение базовых многомерных графиков зависимости показателей от всех исследуемых факторов, их анализ и поиск областей факторного пространства, содержащих точки оптимума.

Изучение некоторых областей факторного пространства путём построения моделей с использованием предположительно опти-

мальных организационно-технологических режимов.

Сравнение нескольких точек оптимума по выбранным критериям: организационным, технологическим, финансовым и др. (при необходимости).

Построение много- и одномерных графиков с введением ограничений по значениям показателей и факторов.

Количественный анализ полученных зависимостей и принятие оптимального решения о выборе модели ИСП.

Приведение найденных оптимальных решений в вид, пригодный для производственного использования:

- календарный график производства строительно-монтажных работ;
- графики потребления трудовых и финансовых ресурсов, потребности в машинах и механизмах, отражающие выбранную модель строительного производства;
- технологические карты на производство строительно-монтажных работ методами, признанными оптимальными по результатам исследования;
- таблица денежных потоков по проекту, отражающая выбранную модель при заданных ограничениях и содержащая показатели эффективности ИСП по каждому из периодов и в целом по проекту;
- укрупнённые графики реализации ИСП, содержащие подробную финансово-экономическую информацию по проекту.

Результаты исследования. Предлагаемая методика может быть широко использована, например, в следующих случаях:

Выявление новых закономерностей изменения показателей ИСП в виде аналитических и графических моделей.

Количественный анализ полученных экспериментально-статистических зависимостей.

Определение оптимальных режимов моделей реализации ИСП при использовании различных сочетаний организационно-технологических и финансово-экономических схем.

Принятие обоснованного управленческого решения о методах реализации ИСП в

условиях имеющихся ограничений и формализация его в виде, удобном для производства.

Контроль за реализацией ИСП и оперативная корректировка полученной модели с учётом изменений.

Анализ и оценка реализованных стратегий для оптимизации аналогичных проектов.

Прогнозирование результата при варьировании организационными режимами строительного производства в условиях изменяющейся финансовой ситуации.

Выбор и обоснование технологической схемы производства работ по сравнению с имеющимися альтернативами.

Выбор рациональной совмещённости работ и других режимов интенсификации строительного производства.

Выбор оптимального варианта реализации ИСП при большом количестве участников (учитывая и максимально удовлетворяя интересы каждого).

Выбор эффективных вариантов совмещения различных технологий, источников финансирования.

Решение ресурсных конфликтов и выбор оптимальной схемы совмещения различных ИСП, выполняемых одной организацией.

Выводы. Анализ численных методов оптимизации показал, что экспериментально-статистическое моделирование обладает рядом преимуществ, которые позволяют рекомендовать его при решении задач оптимизации рассматриваемых проектов.

Наиболее эффективным способом моделирования процессов строительства и реконструкции является применение компьютерных моделей, построенных с использованием программного обеспечения для управления проектами.

Проведённый анализ позволил разработать алгоритм численной оптимизации проектов строительства и реконструкции инженерных сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тынкевич М. А. Экономико-математические методы (исследование операций) / М. А. Тынкевич. – 3-е изд., испр. и доп. – Кемерово : КузГТУ, 2011. – 222 с.
2. Филлипс Д. Т. Методы анализа сетей : пер. с англ. / Д. Т. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – Москва : Мир, 1984. – 496 с.
3. Глухов В. В. Математические методы и модели для менеджмента / В. В. Глухов, М. Д. Медников, С. Б. Коробко. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2005. – 528 с.
4. Вознесенский В. А. Компьютерное материаловедение, экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация композиционных строительных материалов / В. А. Вознесенский // Строительство в России. Прогресс науки и техники / Инж. акад. Рос. Федерации, секция «Строительство». – Москва, 1993. – С. 97–101.
5. Базилевич Л. А. Модели и методы рационализации и проектирования организационных структур управления / Л. А. Базилевич, Д. В. Соколов, Л. К. Франева. – Ленинград : Изд-во ЛФЭИ, 1991. – 81 с.
6. Задгенидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Задгенидзе. – Москва : Наука, 1976. – 390 с.
7. Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – Москва : Наука, 1965. – 340 с. – (Физико-математическая библиотека инженера).
8. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов / Д. Финни ; пер. с англ. И. Л. Романовской и А. П. Хусу ; под ред. Ю. В. Линника. – Москва : Наука, 1970. – 287 с.
9. Игонина Л. Л. Инвестиции / Л. Л. Игонина ; под ред. В. А. Слепова. – Москва : Экономистъ, 2005. – 478 с.
10. Кузнецов Б. Т. Инвестиции / Б. Т. Кузнецов. – Москва : Юнити-Дана, 2006. – 679 с.
11. Болотин С. А. Организация строительного производства / С. А. Болотин, А. Н. Вихров. – Москва : Академия, 2007. – 208 с.
12. Изопараметрический анализ кинетики изменения вероятностных показателей водопоглощения мелкозернистого бетона с полифункциональной добавкой / В. А. Вознесенский, С. В. Коваль, Т. В. Ляшенко, С. В. Рябых, В. А. Феофанов // Работоспособность строительных материалов при воздействии различных эксплуатационных факторов : межвуз. сб. науч. тр. / Казан. инж.-строит. ин-т. – Казань: КИСИ, 1990. – С. 54-60.
13. Использование метода Монте-Карло при анализе взаимосвязи между полями реологических показателей композиций для отделочных работ / Т. В. Ляшенко, В. А. Вознесенский, Т. И. Пищева, Я. Иванов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Одеса, 2001. – Вип. 3. – С. 57-64.

REFERENCES

1. Tynkevich M.A. *Ekonomiko-matematicheskie metody (issledovanie operatsii)* [Economy and mathematical methods (procedure researching)]. Kemerovo: KuzGTU, 2011, 222 p. (in Russian).
2. Fillips D.T. and Garsia-Dias A. *Metody analiza setey* [Analysis methods of webs]. Moskva: Mir, 1984, 496 p. (in Russian).
3. Glukhov V.V., Mednikov M.D. and Korobko S.B. *Matematicheskie metody i modeli dlya menedzhmenta* [Mathematical methods and models for the management]. Sankt-Petersburg: Lan', 2005, 528 p. (in Russian).
4. Voznesenskiy V.A. *Komp'yuternoe materialovedenie, eksperimental'no-statisticheskoe modelirovanie i optimizatsiya kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov* [Computer materials science, experimental and statistical modeling and composite building materials optimization]. *Stroitel'stvo v Rossii. Progress nauki i tekhniki* [Construction in Russia. Science and technical progress]. *Inzh. akad. Ros. Federatsii, sektsiya «Stroitel'stvo»* [Engineering academy of Russian Federation]. Moskva, 1993, p. 97-101. (in Russian).
5. Bazilevich L.A., Sokolov D.V. and Franeva L.K. *Modeli i metody ratsionalizatsii i proektirovaniya organizatsionnykh struktur upravleniya* [Models and methods of rationalization and designing of management organizational structures]. Leningrad: LFEI, 1991, 81 p. (in Russian).
6. Zadgenidze I.G. *Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya mnogokomponentnykh system* [Experimental design for the study of multicomponent systems]. Moskva: Nauka, 1976, 390 p. (in Russian).
7. Nalimov V.V. and Chernova N.A. *Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nykh eksperimentov* [Statistical methods of extreme experiments planning]. Moskva: Nauka, 1965, 34 p. (in Russian).
8. Finni D. *Vvedenie v teoriyu planirovaniya eksperimentov* [Entering to the theory of experimental planning]. Moskva: Nauka, 1970, 287 p. (in Russian).
9. Igonina L.L. *Investitsii* [Investments]. Moskva: Ekonomist', 2005, 478 p. (in Russian).
10. Kuznetsov B.T. *Investitsii* [Investments]. Moskva: Juniti-Dana, 2006, 679 p. (in Russian).
11. Bolotin S.A. and Vikhrov A.N. *Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Organization of building production].

Moskva: Akademiya, 2007, 208 p. (in Russian).

12. Voznesenskiy V.A., Koval' S.V., Lyashenko T.V. Ryabykh S.V. and Feofanov V.A. *Izoparametricheskiy analiz kinetiki izmeneniya veroyatnostnykh pokazateley vodopogloshcheniya melkozernistogo betona s polifunkcional'noy dobavkoy* [An isoparametrical kinetics analysis of the probability indicators changes of water absorption fine concrete with a multifunctional additive]. *Rabotosposobnost' stroitel'nykh materialov pri vozdeystvii razlichnykh ekspluatatsionnykh faktorov* [The building materials efficiency influencing of various operational factors]. Kazan': KISI. 1990, pp. 54-60. (in Russian).
13. Lyashenko T.V., Voznesenskiy V.A., Pishcheva T.I. and Ivanov Ya. *Ispol'zovanie metoda Monte-Karlo pri analize vzaimosvyazi mezhdu polyami reologicheskikh pokazateley kompozitsiy dlya otdelochnykh rabot* [The use of the Monte Carlo method in the analysis of the relation between the compositions rheology factors fields for finishing works]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Odesa, 2001, vol. 3, pp. 57-64. (in Russian).

Рецензент: д-р т. н., проф. Кравчуновська Т. С.

Надійшла до редколегії: 24.05.2016 р.

Прийнята до друку: 23.06.2016 р.

Відповідальність за достовірність інформації, що міститься в друкованих матеріалах,
несуть автори.

Редколегія не завжди поділяє авторську точку зору.

Комп'ютерну верстку та друк виконано в редакційно-видавничому відділі ПДАБА.

Адреса редакції:

✉ Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24^а,
кімната 607-В (відповідальний секретар), кімната 203а (редакційно-видавничий відділ).
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88
e-mail: visnik_psacea@ukr.net

Підписано до друку 19.08.2016 р. Формат 60×84 1/8.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 3,95. Умовн. фарб.-відб. арк. 3,95.
Обл.-видавн. арк. 6,89. Тираж 300 прим. Зам. 136

Ответственность за достоверность информации, представленной в печатных материалах,
несут авторы.

Редколлегия не всегда разделяет авторскую точку зрения.

Компьютерная верстка и печать выполнены в редакционно-издательском отделе ПГАСА.

Адрес редакции:

✉ Украина, 49600, г. Днепр, ул. Чернышевского, 24^а,
комната 607-В (ответственный секретарь), комната 203а (редакционно-издательский отдел).
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88
e-mail: visnik_psacea@ukr.net

Подписано к печати 19.08.2016 г. Формат 60×84 1/8.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,95. Усл. кр.-отт. л. 3,95.
Уч.-изд. л. 6,89. Тираж 300 экз. Зак. 136

Authors shall be responsible for the accuracy of the information
contained in the printed materials.

Editors do not always agree with the author's point of view.

Desktop publishing and printing are performed in the Editorial Department at PSACEA.

Editorial address:

✉ 24a Chernyshevskogo Street, Dnipro, 49600, Ukraine
room 607-V (Executive Secretary), room 203a (Editorial department).
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88
e-mail: visnik_psacea@ukr.net

Send to press on August 19, 2016. Format 60×84 1/8.
Offset printing. Conventional quire 3.95. Conventional color imprints 3.95.
Publisher's signatures 6.89. Number of copies 300. Order 136