

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

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

# **ВІСНИК**

**ПРИДНІПРОВСЬКОЇ  
ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

**НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ**

**Заснований у травні 1997 року**

**№ 1 (237-238)  
січень – лютий 2018**

**Дніпро 2018**

## 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.
Видавничий редактор	В. В. Данішевський, д-р техн. наук

## ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ РАДИ:

В. М. Дерев'яно, 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, *Дніпровський 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'яно, 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, *Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені 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)*. В. І. Проскураков, д-р арх., *НУ «Львівська політехніка», Львів*. Дашнор Ходжа, д-р техн. наук, *Орлеанський університет, Франція*. Міхаель Шмідт, канд. техн. наук, проф., *Бранденбурзький технічний університет, Котбус-Зенфтенберг, Німеччина*. Станіслав Дукач, проф., *Словацький технічний університет, Братислава, Словацька Республіка*

Науково-практичний журнал 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 № 22724-12624ПР – видане Міністерством юстиції України 4 травня 2017 р.

Засновник та видавець Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»  
Виходить 6 разів на рік

Рекомендовано до друку вченою радою академії, протокол № 7 від 17.01.2018 р.

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

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науково-практичний журнал

*Інформаційно-аналітичні системи:* РИНЦ (eLibrary), InfoBase Index (IBIFactor = 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, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського  
Художній і технічний редактор С. Д. Моїсеєнко  
Перекладач О. В. Огієнко  
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**

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

**Основан в мае 1997 года**

**№ 1 (237-238)  
январь – февраль 2018**

**Днепро 2018**

## 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.

Выпускающий редактор

В. В. Данишевский, д-р техн. наук

## ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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, Днепро.* А. И. Белоконь, д-р техн. наук, *Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСА), Днепро.* В. М. Вадимов, д-р архитектуры, *Полтава.* Н. И. Верхоглядова, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепро.* Д. Ф. Гончаренко, д-р техн. наук, *Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), Харьков.* В. В. Данишевский, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* В. Н. Деревянко, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* 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, Днепро.* Е. А. Егоров, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* В. Г. Заренбин, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* С. В. Иванов, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепро.* С. В. Каламбет, д-р экон. наук, *Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна, Днепро.* Г. Н. Ковшов, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* Ю. А. Киричек, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* Т. С. Кравчуновская, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* В. П. Мироненко, д-р архитектуры, *ХНУСА, Харьков.* Ю. В. Орловская, д-р экон. наук, *ПГАСА, Днепро.* А. В. Плеханов, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* В. Л. Седин, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* С. А. Слободянюк, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* В. А. Тимохин, д-р архитектуры, *КНУСА, Киев.* А. В. Челноков, канд. техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* Н. В. Шпирько, д-р техн. наук, *ПГАСА, Днепро.* 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).* В. И. Проскураков, д-р арх., *НУ «Львовская политехника», Львов.* Дашнор Ходжа, д-р техн. наук, *Орлеанский университет, Франция.* Михаэль Шмидт, канд. техн. наук, проф., *Бранденбургский технический университет, Котбус-Зенфтенберг, Германия.* Станислав Дукач, проф., *Словацкий технический университет, Братислава, Словацкая Республика*

Научно-практический

журнал

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

Основатель и издатель

печатного средства массовой информации – серия КВ № 22724-12624 ПР – выдано Министерством юстиции Украины 4 мая 2017 г.

Государственное высшее учебное заведение

«Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Выходит 6 раз в год

Рекомендовано к печати

ученым советом академии, протокол № 7 від 17.01.2018 р.

Сайт издания

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

Научометрические базы и электронные библиотеки, в которых зарегистрирован научно-практический 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, Национальная библиотека Украины им. В. И. Вернадского

Художественный и технический редактор С. Д. Моисеенко

Переводчик О. В. Огиенко

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**

**SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL**

**Established in May, 1997**

**No. 1 (237-238)**  
January – February 2018

**Dnipro 2018**

## EDITORIAL BOARD:

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

## MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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 Dnipro National University, Dnipro*. A. I. Bilokon, Doctor of Engineering Science, *Prydniprov's'ka 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, (KSUCEA), Kharkiv*. V. V. Danyshevskyi, 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. Pliekhanov, 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*. V. I. Proskuriakov, Dr. Sc. (Arch.), *The Lviv Polytechnic National University, Lviv*. Dashnor Hoxha, Doctor of Engineering Science, *Orlean University, France*. Michael Shmidt, Candidate of Engineering Science, Prof., *Branderburg University of Technology, Cottbus-Senftenberg, Germany*. Stanislav Dukat, Prof., *Slovak Technical University, Bratislava, Slovak Republic*

Scientific-Practical Journal 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.22724-12624PR– issued by the Ministry of Justice of Ukraine dated May04, 2017

Founder & Publisher State Higher Educational Institution «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture»  
Issued 6 times a year

Recommended for publication by the Academic Board of the Academy, № 7 17.01.2018.

Journal website [http:// visnyk.pgasa.dp.ua](http://visnyk.pgasa.dp.ua)

Placement of the scientific-practical journal in the international scientometric databases and repositories  
*Abstracting systems:* 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). *Electronic Libraries:* Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CyberLeninka, OCLC WorldCat, Open Journal Systems, The V. I. Vernadsky National Library of Ukraine

Art & Technical Editor S. D. Moiseienko  
Interpreter O. V. Ohienko  
Editor V. D. Malovyk  
Proofreader V. D. Malovyk

## НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Шатов С. В., Савицький М. В., Конопляник О. Ю., Євсєєв Є. О. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ НОВІТНІХ СТАРТАПІВ .....	10
Кравчуновська Т. С., Ковальов В. В., Броневицький С. П., Нечепуренко Д. С. РЕКОНСТРУКЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРЕСИВНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ФОРМ.....	19
Беліков А. С., Мамонтов О. В., Шаломов В. А. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ ШУМУ І ВІБРАЦІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК .....	27
Беліков А. С., Шаломов В. А., Рагімов С. Ю., Чередниченко Л. А. СТАН БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ В УКРАЇНІ ТА ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО І ПОБУТОВОГО ТРАВМАТИЗМУ .....	35
Парусов Е. В., Губенко С. І., Клименко А. П., Чуйко І. М., Сагура Л. В. ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ РОЗПАДУ АУСТЕНІТУ І ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СТАЛІ С82D <sup>CRV</sup> ЗА БЕЗПЕРЕРВНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ .....	42
Бараненко В. О., Волчок Д. Л., Григорович М. С. ПРОЕКТУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПРУЖИН МІНІМАЛЬНОЇ МАСИ ЗА ОБМЕЖЕННЯ НА ВЛАСНУ ЧАСТОТУ ПОЗДОВЖНИХ КОЛИВАНЬ В УМОВАХ ПОВНОЇ І НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ .	52
Семенець С. М., Насонова С. С., Власенко Ю. Є., Кривенкова Л. Ю. РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ НАФТОВИХ РЕЗЕРВУАРІВ.....	60
Головатий В. Д., Юрченко Є. Л., Коваль О. О., Мамон С. А. АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ .....	68
Тимошенко О. А., Жердева М. І., Череповська А. Г. ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ «ЗЕЛЕНОЇ» РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРИМАГІСТРАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ .....	74
Махінько Н. О. РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНУСНИХ ПОКРІВЕЛЬ ЗА СИМЕТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ .....	82
Маркова М., Кравченко Д. ЗАСТОСУВАННЯ 3D ФОТОГРАММЕТРІЇ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ.....	90
Євсєєва Г. П., Лисенко Г. І., Федіна В. Г. ЛАБОРАТОРІЯ ПЕДАГОГІЧНОЇ МАЙСТЕРНОСТІ ВИКЛАДАЧА ЯК ІНТЕГРАТИВНА СКЛАДОВА СУЧАСНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ .....	96
Черепашук Л. А. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РІШЕНЬ ЗВЕДЕННЯ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ ОГОРОДЖУВАЛЬНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ .....	104

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Шатов С. В., Савицкий Н. В., Конопляник А. Ю., Евсеев Е. О. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЕЙШИХ СТАРТАПОВ .....	10
Кравчуновская Т. С., Ковалев В. В., Броневицкий С. П., Нечепуренко Д. С. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРЕССИВНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМ .....	19
Беликов А. С., Мамонтов А. В., Шаломов В. А. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА РАБОЧИХ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ МЕСТАХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК .....	27
Беликов А. С., Шаломов В. А., Рагимов С. Ю., Чередниченко Л. А. СОСТОЯНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА В УКРАИНЕ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО И БЫТОВОГО ТРАВМАТИЗМА .....	35
Парусов Э. В., Губенко С. И., Клименко А. П., Чуйко И. Н., Сагура Л. В. ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ РАСПАДА АУСТЕНИТА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СТАЛИ С82D <sup>CrV</sup> ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ .....	42
Бараненко В. А., Волчок Д. Л., Григорович Н. С. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА СОБСТВЕННУЮ ЧАСТОТУ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ И НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ .....	52
Семенец С. Н., Насонова С. С., Власенко Ю. Е., Кривенкова Л. Ю. РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ .....	60
Головатый В. Д., Юрченко Е. Л., Коваль Е. А., Мамон С. А. АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ .....	68
Тимошенко Е. А., Жердева М. И., Череповская А. Г. ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ «ЗЕЛеной» РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИМАГИСТРАЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ .....	74
Махинько Н. А. РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНУСНЫХ КРОВЕЛЬ ПРИ СИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ .....	82
Маркова М., Кравченко Д. ПРИМЕНЕНИЕ 3D ФОТОГРАММЕТРИИ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ .....	90
Евсеева Г. П., Лысенко Г. И., Федина В. Г. ЛАБОРАТОРИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАК ИНТЕГРАТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА .....	96
Черепашук Л. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ .....	104



**SCIENTIFIC RESEARCH**

Shatov S. V., Savytskyi N. V., Konoplianiuk O. Yu., Evseev E. O. INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN BUILDING FOR REALIZATION OF NEWEST STARTUPS.....	10
Kravchunovska T. S., Kovalov V. V., Bronevytskyi S. P., Nechepurenko D. S. RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES WITH APPLICATION OF PROGRESSIVE ORGANIZATIONAL FORMS .....	19
Belikov A. S., Mamontov A. V., Shalomov V. A. IMPROVING SAFETY IN WORKPLACES WHEN OPERATING THE COMPRESSOR UNITS FOR THE ACCOUNT OF NOISE REDUCTION AND VIBRATION .....	27
Belikov A. S., Shalomov V. A., Ragimov S. Yu., Cherednichenko L. A. STATUS OF SAFETY OF LIFETIME AND LABOR PROTECTION IN UKRAINE AND WAYS OF REDUCTION OF PRODUCTION AND HOUSEHOLD TRAUMATISM.....	35
Parusov E. V., Gubenko S. I., Klimenko A. P., Chuiko I. N., Sahura L. V. FEATURES OF KINETICS OF DESTROYING AUSTENITE AND THE REGULARITIES OF FORMATION OF THE C82D <sup>CRV</sup> STEEL STRUCTURE DURING CONTINUOUS COOLING .....	42
Baranenko V. O., Volchok D. L., Hryhorovych M. S. DESIGNING CYLINDRICAL SPRINGS OF MINIMUM WEIGHT WITH RESTRICTION ON THE OWN FREQUENCY OF LONGITUDINAL OSCILLATIONS UNDER CONDITION OF FULL AND FUZZY INFORMATION .....	52
Semenets S. N., Nasonova S. S., Vlasenko Yu. E., Krivenkova L. Yu. CALCULATION MODELS OF RELIABILITY OF PETROLEUM RESERVOIRS.....	60
Holovatyi V. D., Yurchenko Yev. L., Koval O. O., Mamon C. A. THE ANALYSIS OF HEAT ENGINEERING PARAMETERS OF BUILDING'S THERMAL PROTECTION ..	68
Tymoshenko O. A., Zherdeva M. I., Cherepovska A. G. THE JUSTIFICATION OF PRIMAGISTRAL TERRITORY'S "GREEN" RECONSTRUCTION .....	74
Makhinko N. O. CALCULATION OF THE DEFLECTED MODE OF CONICAL ROOFS UNDER THE SYMMETRIC LOAD ..	82
Markova M., Kravchenko D. 3D PHOTOGRAMMETRY APPLICATION FOR BUILDING INSPECTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS .....	90
Yevseieva G. P., Lysenko G. I., Fedina V. G. LABORATORY OF PEDAGOGICAL SKILLS OF TEACHERS AS INTEGRATIVE COMPONENT OF MODERN TECHNICAL HIGHER EDUCATION .....	96
Cherepaschuk L. A. DEFINITION OF EFFICIENT BUILDING DECISIONS OF ESTABLISHING LOW-ROOF BUILDINGS WITH ENERGY EFFICIENT ENCING CONSTRUCTIONS.....	104

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 203-а (редакційно-видавничий відділ),  
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88  
e-mail: visnik\_psacea@ukr.net

Підписано до друку 19.01.2018 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. 352

---

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. Днепро, ул. Чернышевского, 24-а,  
комната 607-В (ответственный секретарь), комната 203-а (редакционно-издательский отдел).  
☎ (0562) 756-34-98, (0562) 47-07-88  
e-mail: visnik\_psacea@ukr.net

Подписано к печати 19.01.2018 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. 352

---

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 Str., 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 19 January 2018 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 352

## НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 658.589:69

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.10.35

### ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ НОВІТНІХ СТАРТАПІВ

ШАТОВ С. В.<sup>1\*</sup>, *д-р техн. наук, доц.*,  
САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>2</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,  
КОНОПЛЯНИК О. Ю.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,  
ЄВСЄЄВ Є. О.<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup>Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>3</sup>Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-44-17, e-mail: gbk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>4</sup>Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: fastfud@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-2781-4840

**Анотація. Постановка проблеми.** Інноваційні будівельні технології направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ці технології передбачають практичне використання досягнень в ІТ-сфері, які забезпечують новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробленні стартапів. **Мета дослідження** - розвиток інноваційних технологій в будівництві для створення новітніх стартапів у цій галузі. **Висновок.** До перспективних інноваційних будівельних технологій належать: 3D-друк об'єктів різного призначення; виготовлення екологічних будівельних виробів із місцевих матеріалів (грунтоблоки) методом локального нагнітання сировини; дослідження технічного стану пошкоджених будівель і споруд безпілотними літальними апаратами; розбирання об'єктів, зруйнованих унаслідок техногенних та природних подій. Розглянуто склад робіт та технологічні особливості кожного з інноваційних напрямків. Зазначені інноваційні будівельні технології потребують подальшого розвитку та реалізації у форматі стартапів.

**Ключові слова:** інноваційні технології; 3D-друкування будівельних об'єктів; розбирання зруйнованих будівель; обстеження об'єктів квадрокоптерами

### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЕЙШИХ СТАРТАПОВ

ШАТОВ С. В.<sup>1\*</sup>, *д-р техн. наук, доц.*,  
САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>2</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,  
КОНОПЛЯНИК А. Ю.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,  
ЄВСЄЄВ Є. О.<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup>Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>3</sup>Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-44-17, e-mail: gbk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>4</sup>Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: fastfud@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-2781-4840

**Аннотация. Постановка проблемы.** Инновационные строительные технологии направлены на улучшение качества жилья и уменьшение его стоимости, возведение современных промышленных сооружений.

Эти технологии предусматривают практическое использование достижений в IT- сфере, которые обеспечивают новейшее направление в развитии строительных кластеров и разработке стартапов. **Цель исследования** - развитие инновационных технологий в строительстве для создания новейших стартапов в этой отрасли. **Вывод.** К перспективным инновационным строительным технологиям относятся: 3D-печать объектов разного назначения; изготовление экологических строительных изделий из местных материалов (грунтоблоки) методом локального нагнетания сырья; обследование технического состояния поврежденных зданий и сооружений беспилотными летательными аппаратами; разборка объектов, разрушенных в результате техногенных и природных явлений. Рассмотрен состав работ и технологические особенности каждого из инновационных направлений. Исследованные инновационные строительные технологии требуют дальнейшего развития и реализации в формате стартапов.

**Ключевые слова:** инновационные технологии; 3D-печать строительных объектов; разборка разрушенных зданий; обследования объектов квадрокоптерами

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN BUILDING FOR REALIZATION OF NEWEST STARTUPS

SHATOV S. V.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), As. Prof.*,  
SAVYTSKIY N. V.<sup>2</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KONOPLIANIK A. Yu.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), As. Prof.*,  
EVSEEV E. O.<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Department build and road wave, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCIDID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup>Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>3</sup>Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-44-17, e-mail: gbk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>4</sup>Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600 Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: fastfud@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-2781-4840

**Summary. Raising of problem.** Innovative building technologies are sent to the improvement of quality of accommodation and diminishing of his cost, erections of modern industrial building. These technologies foresee the practical use of achievements in IT - sphere, which provide the newest direction in development of building clusters and development of startups. **Purpose.** Development of innovative technologies in building for creation of newest startups in this industry. **Conclusion.** To perspective innovative building technologies behave: 3D- printing of objects of the different setting; making of ecological building wares from local materials (blocks from soil) the method of the local festering of raw material; inspection of the technical state of the damaged building and constructions by pilotless aircrafts; sorting out of objects, destroyed as a result of the technogenic and natural phenomena. Composition of works and technological features of each are considered of innovative directions. The considered innovative building technologies require further development and realization in the format of startups.

**Keywords:** innovative technologies; 3D-printing of building objects; sorting out of the destroyed building; inspections of objects by pilotless aircrafts

**Проблема.** Різні сфери виробництва застосовують інноваційні будівельні технології, направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ці технології передбачають практичне використання досягнень в IT-сфері, які забезпечують новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробленні стартапів. До таких технологій належать: 3D-друк об'єктів різного призначення; виготовлення екологічних будівельних виробів із місцевих матеріалів (грунтоблоки) новітнім способом;

дослідження технічного стану будівель і споруд безпілотними літальними апаратами; розбирання об'єктів, зруйнованих унаслідок техногенних та природних подій.

**Аналіз публікацій.** 3D-друк (3D-принтинг) - це процес відтворення реального об'єкта за зразком 3D-моделі [11]. В основі технології 3D-друк лежить принцип пошарового створення твердої моделі. 3D-друк будівельних об'єктів - це нова технологія зведення будівель і споруд [12], що дозволяє в найкоротші терміни звести житло за індивідуальним проектом із

використанням різних матеріалів (рис. 1, а). Будівельний 3D-принтер використовує технологію екструзії, за якою кожен новий шар будівельного матеріалу видавлюється з принтера поверх попереднього (рис. 1, б, в, г). У будівництві 3D-друк вимагає створення технологій, ефективного устаткування, нормативної бази.

Будівництво екологічних комплексів потребує використання якісних та недорогих матеріалів, сировина для яких повинна бути розташована на незначній відстані від об'єктів будівництва, що зменшує транспортні витрати на її доставку.

Виготовлення основних видів будівельних виробів (цегли, ґрунтоблоків) доцільне поруч з об'єктом та за технологією, яка передбачає найменші енерговитрати. Виготовлення ґрунтоблоків передбачає розроблення ґрунтів, їх підготовку, формування виробів та подальшу обробку.

Найбільш поширений спосіб формування таких виробів - пресування (рис. 2, а). Зусилля пресування повинно бути 125...425 т [10], а питомий тиск пресування - 200...400 кг/см<sup>2</sup>. Зменшити енерговитрати формування матеріалів дозволяє технологія локального нагнітання сировини, основу якої складає ефект текучого клина (рис. 2, б). У цій технології подача, розподіл, ущільнення формованого матеріалу й обробка верхньої поверхні виконуються єдиною дією [3]. У процесі формування виробів нагнітають сипкий матеріал у форму шляхом безперервної подачі ґрунту під рухомі робочі поверхні нагнітача (штампа 1) й одночасно переміщують нагнітач відносно форми. При кожному переміщенні вгору штамп 1 під нього самопливом підсипається сировина 3 по всій ширині форми. Під штампом 1 відбувається стиснення сировини, яке виконується самим матеріалом. Поява текучого клина 4 характеризується витисненням маси, що самоущільнюється з-під штампa 1. Основна властивість ефекту полягає в тому, що щільність матеріалу в зоні та її геометричні розміри залишаються

незмінними, незважаючи на безперервне вдавнення в зону нових порцій матеріалу.



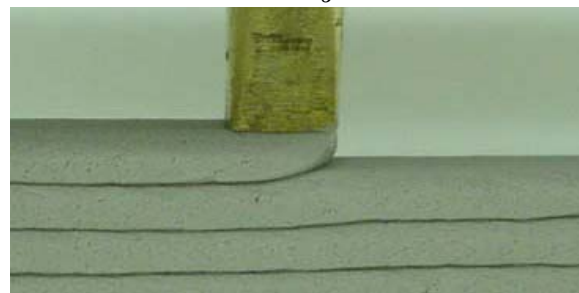
а



б



в



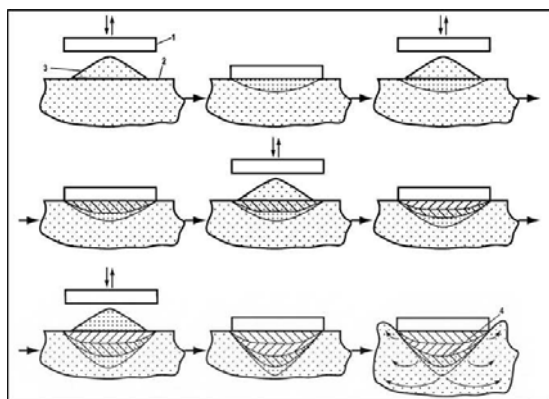
г

Рис. 1. 3D-друк будівельних об'єктів:  
а – зведена будівля; б – будівельний 3D-принтер;  
в, г – укладання матеріалу





*a*



*б*



*в*

*Рис. 2. Формування ґрунтоблоків:  
a – вібропресом; б, в – технологія та обладнання  
локального нагнітання сировини*

Недоліки обладнання для локального нагнітання сировини полягають у відсутності можливості регулювання параметрів приводу, що знижує його технологічні показники.

Причинами техногенних катастроф та аварій стають вибухи газу (рис. 3, *a*), пожежі, не якісні ремонтні роботи тощо [1; 6]. До стихійних лих належать землетруси, зсуви (рис. 3, *б*), урагани та повені [4]. Значних пошкоджень об'єктам завдають воєнні дії. Найбільш поширені техногенні

аварії відбуваються через вибухи побутового газу [3].



*a*



*б*

*Рис. 3. Руїнування будівель у м. Дніпро:  
a – внаслідок вибуху побутового газу (2007 р.);  
б – від зсуву ґрунтів (1997 р.)*

Аварійно-рятувальні й відновлювальні роботи виконують підрозділи Держслужби з надзвичайних ситуацій та будівельні організації, оснащені військовою і будівельно-дорожньою технікою. Для розбирання зруйнованих будівель та споруд використовується різноманітна техніка: крани, екскаватори, навантажувачі, бульдозери, механізований інструмент [5].

Недоліки розбирання завалів полягають у необхідності заведення вручну строп кранів під уламки - це не завжди можливо й, до того, небезпечно, а також використання ковшових машин для розбирання дрібних уламків. Відсутні обґрунтовані організаційно-технологічні рішення із розстановки та взаємного переміщення машин на зруйнованому об'єкті, через що відновлювальні роботи виконуються за недосконалими технологічними схемами, збільшуються їх терміни і трудомісткість.

Крім того, фахівці обстежують руйнування візуально – це небезпечно та займає багато часу.

**Мета дослідження** - розвиток інноваційних технологій в будівництві для створення новітніх стартапів у цій галузі.

**Результати дослідження.** Інноваційний проект 3D-друку будівельних об'єктів пов'язаний з удосконаленням обладнання [7; 13]. Для будівництва об'єктів значного обсягу розроблено 3D-принтер у вигляді рухомої конструкції 1-3 з маніпулятором 7 (рис. 4). На маніпуляторі 7 встановлено бункер 19. На металевій конструкції закріплено трубопровід 20, за допомогою якого бетон подається від бетононасоса, що встановлюється поруч з опорами 1 та 2, у бункер 19. У насос бетон доставляється з бетонних заводів бетоновозами.

Переміщенням візка 4, балки 5 та платформи 6 маніпулятор 7 встановлюється на початкове положення подачі бетону. Робочим телескопічним обладнанням 8 та головкою друку 9 відповідно до комп'ютерної програми виконується подача бетону та формування будівельного об'єкта. Вертикальне переміщення поворотного маніпулятора 7 здійснюється приводом 13.

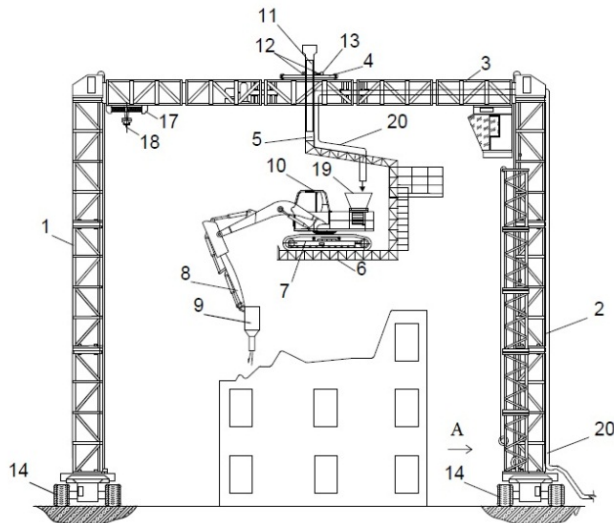


Рис. 4. Принтер із будівельним маніпулятором:  
1, 2 – опори; 3 – міст; 4 – візок; 5 – балка; 6 – платформа; 7 – маніпулятор; 8 – телескопічне обладнання; 9 – головка друку; 10 – кабіна; 11 – зубчаста рейка; 12 – шестерні; 13 – привід шестерень; 14 – гусеничні візки; 17 – вантажний візок; 18 – гакова підвіска; 19 – приймальний бункер; 20 – трубопровід

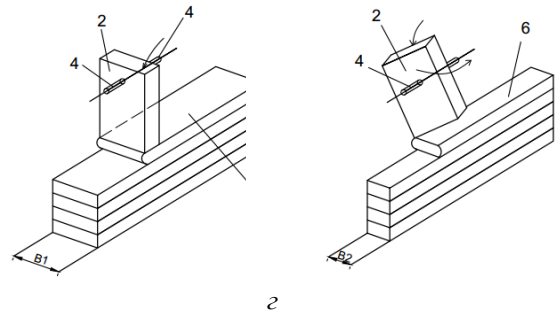
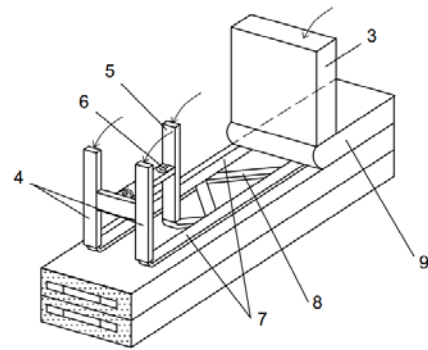
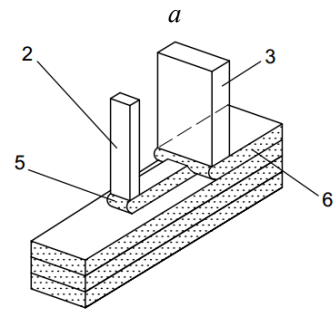
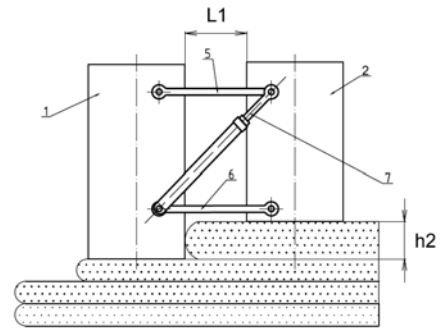


Рис. 5. Головки для 3D-друку будівельних об'єктів:

а, б, в – з декількома екструдерами; г – з поворотним екструдером; 1, 2, 3 – екструдери; 4, 5 – важелі; 6 – привід; 7, 8, 9 – шари бетону; 10 – тяга; 11 – вісь

Розроблено конструкції головок (рис. 5), які дозволяють: підвищити продуктивність 3D-друку об'єктів, технологічні можливості процесу, використовувати різноманітні будівельні матеріали та реалізувати складні архітектурні рішення.

Головки можуть бути:

- з декількома екструдерами, встановленими на різних рівнях (рис. 5, а, б);

- з рухомим середнім екструдером (рис. 5, в);

- з поворотним екструдером (рис. 5, г).

Розроблено обладнання для виготовлення ґрунтоблоків [10] методом локального нагнітання сировини (рис. 6). Воно має опорну раму 1, на якій з можливістю переміщення встановлено каретку 2 з робочим органом 3 та форму. Опорна рама 1 виконана з вертикальних стійок та поздовжніх і поперечних балок, що створює надійну та зручну конструкцію. Це також забезпечує гасіння коливань від дії приводу та якості отриманих виробів. У верхній частині рами закріплені напрямні, на яких встановлена каретка 2. Між напрямними розташовується форма.

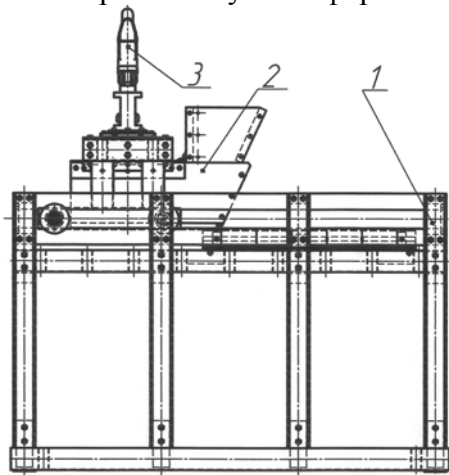


Рис. 6. Обладнання для формування виробів:  
1. - опорна рама; 2. - каретка; 3. - робочий орган

Робочий орган (нагнітач сировини) виконаний (рис. 7) з приводом 1 (механізований інструмент), стаканом 3 та насадкою 6. Привід 1 з'єднаний з насадкою 6 за допомогою муфти 2, шпинделя 4 та кривошипа 5. Насадка 6 виконана з горизонтальною та конусною робочими поверхнями. Привід 1 забезпечений регулюванням швидкості та реверсуванням напрямку обертання вихідного вала. У шпинделі 4 є два отвори кріплення кривошипа 5, виконані під різними кутами. Це дозволяє встановлювати кривошип 5 таким чином, коли його осі перетинає точку перетину вісі вихідного вала приводу 1 та

вершини насадки 6 (це показано на рисунку 7) або не має такого перетину. Залежно від показників сировини та вимог до виробів вибирається отвір кріплення кривошипа 5, що визначає характер коливань насадки 6.

У ході коливання насадки 6 її конусна робоча поверхня періодично піднімається та опускається і затискає у форму сировину. Коли сировина починає зворотно випирати перед насадкою 6, переміщують каретку в напрямку незаповненої частини форми до її заповнення. При цьому повітря й волога з ґрунту виділяються, відбувається ущільнення та формування виробів.

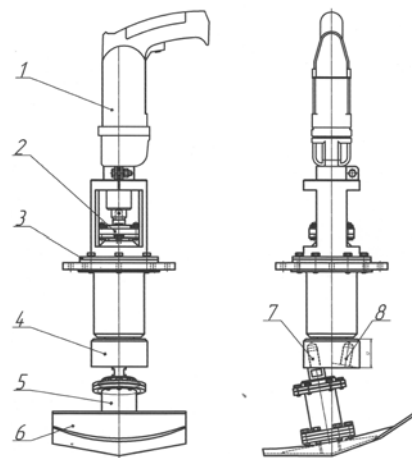


Рис. 7. Робочий орган (нагнітач сировини):  
1. - привод; 2. - муфта; 3. - стакан; 4. - шпиндель;  
5. - кривошип; 6. - насадка; 7, 8. - отвори кріплення кривошипа

Різні режими формування ґрунтів досягаються шляхом регулювання швидкості обертання насадки, реверсування напрямку її обертання. Обладнання може доставлятися до об'єкта різним транспортом.

Для ліквідації наслідків техногенної або стихійної події, яка спричинила руйнування окремої будівлі, залежно від характеру руйнувань і можливості доступу робітників та засобів механізації до залишків будівлі, роботи можуть виконуватися за схемами:

- розбирання завалу з усіх напрямків (чотирьох - відносно основних географічних координат або сторін світу), рисунок 8, а;

- розбирання завалу з обмеженням напрямків (рис. 8, б).

Для розбирання окремої зруйнованої будівлі з усіх напрямків та коли відсутня



потреба у вертикальному підйомі уламків (рис. 8, а) запропоновано використовувати багатоцільове обладнання (БЦО) на базі екскаваторів [9] у вигляді ковша із щелепою (рис. 9). Такі екскаватори ( $\Gamma_{eu}$ ) з БЦО доцільно застосовувати на всіх стадіях робіт під час ліквідації наслідків аварій та стихійних лих на будівельних об'єктах А.

Екскаватор  $\Gamma_{eu}$  дозволяє замінити комплект будівельних машин (кран, екскаватор, навантажувач), забезпечити роботу в обмежених умовах завалів З зруйнованих будівель Б, зменшити термін перебування робітників у зонах завалів.

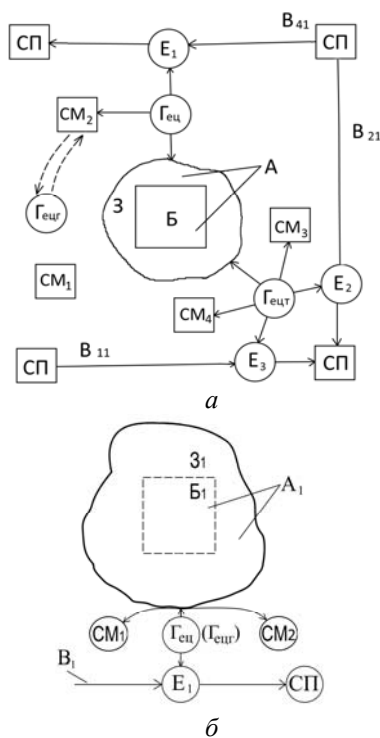


Рис. 8. Схеми організації робіт під час розбирання зруйнованої будівлі:  
а – з усіх напрямків; б – з одного напрямку;  $\Gamma_{eu}$  – БЦО з щелепним ковшем;  $\Gamma_{ec}$  – БЦО з гідромолотом;  $\Gamma_{eut}$  – БЦО з телескопічною стрілою труба; 4. - траєкторія польоту квадрокоптера

БЦО здатне схоплювати інші види робочого обладнання, зокрема гідромолота ( $\Gamma_{ec}$  – екскаватор з БЦО та з гідромолотом) і дробити особливо великі уламки біля складу-майданчика  $СМ_1$ . Подрібнені уламки схоплюються та переміщуються на складу-майданчики  $СМ_1$  та  $СМ_2$  екскаватором  $\Gamma_{eu}$  ковшем із щелепою та екскаватором  $\Gamma_{ec}$  уже без гідромолота. Екскаватором із телескопічною стрілою  $\Gamma_{eut}$  з БЦО

переміщують різні за об'ємом уламки з видалених зон завалу на склади-майданчики  $СМ_3$  та  $СМ_4$  або у транспортні засоби  $E_2 - E_3$ , які вивозять уламки автодорогами  $B_{11} - B_{21}$  на полігони СП.



Рис. 9. Багатоцільове обладнання екскаватора:  
а – схоплення уламків; б – переміщення конструкції



Рис. 10. Використання квадрокоптера для обстеження технічного стану димової труби:  
1. - квадрокоптер; 2, 5. - частини труби; 3. - димова

Розбирання завалу з одного напрямку виконується, коли доступ та маневрування техніки до завалу  $З_1$  обмежені наявністю тільки однієї транспортної мережі  $B_1$

(рис. 8, б). Аналіз проведення робіт за такою схемою розбирання завалу у 2007 році у Дніпропетровську показав, що замість традиційних робочих органів машин доцільно використовувати багатоцільові засоби механізації.

Перед розбиранням зруйнованих об'єктів визначають характер руйнувань. Перспективний напрямок визначення технічного стану будівель - це використання безпілотних літальних апаратів [8]. За допомогою квадрокоптерів виконують фото- та відеозйомку об'єктів, особливо які обстежити візуально небезпечно та потребує значних витрат, наприклад, димових труб (рис. 9). Розроблено різноманітні технічні пропозиції квадрокоптерів для різних умов досліджень: для обстеження декількох об'єктів, визначення стану внутрішніх приміщень будівель та поверхонь споруд.

Усі розглянуті інноваційні будівельні технології потребують подальшого розвитку та реалізації у форматі стартапів.

**Висновки.** 1. Інноваційні будівельні технології направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ці технології передбачають практичне використання досягнень в IT-сфері, які забезпечують новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробленні стартапів.

2. До перспективних інноваційних будівельних технологій належать: 3D-друк об'єктів різного призначення; виготовлення екологічних будівельних виробів із місцевих матеріалів (грунтоблоки) новітнім способом; дослідження технічного стану будівель і споруд безпілотними літальними апаратами; розбирання об'єктів, зруйнованих унаслідок техногенних та природних подій.

3. Розглянуті інноваційні будівельні технології потребують подальшого розвитку та реалізації у форматі стартапів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособ. в 3 кн. Кн. 1 / под ред. К. Е. Кочеткова, В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. – Москва : АСВ, 1995. – 320 с.
2. Зубкин В. Е. Зонное нагнетание сыпучих сред, или как строить из обыкновенной земли весьма дешёвые, прочные, теплые и огнестойкие дома посредством "Русских качелей" : практ. пособие / В. Е. Зубкин, В. М. Коновалов, Н. Е. Королев. – 2-е изд., дораб. и доп. – Москва : Инно Центр.Ру, 2011. – 160 с.
3. Мірошніченко М. Вибух газу – “це урок, який повинна засвоїти держава” // Надзвичайна ситуація. – 2007. - № 10. – С. 8–15.
4. Неукротимая планета. Когда природа сходит с ума / Д. Берни, Д. Гилпин, С. Койн, П. Симонс ; пер. с англ. Амченкова Ю. – [Германия] : Дом Ридерз Дайджест, 2008. – 319 с.
5. Тараканов Н. Д. Комплексная механизация спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ / Н. Д. Тараканов. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 303 с.
6. Чумак С. П. Метод оценки объемов отдельных видов аварийно-спасательных работ при их планировании и подготовке / С. П. Чумак // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях : науч. информ. сб. / ВИНТИ. – Москва, 2001. – Вып. 3. – С. 176–184.
7. Шатов С. В. Обобщение инновационных технологий 3D-печати строительных объектов для разработки стартапов / С. В. Шатов, Н. В. Савицкий, С. А. Карпушин // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2017. – Вып. 99. – С. 194–200. – (Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития).
8. Обстеження технічного стану димових труб з використанням безпілотних літальних апаратів / С. В. Шатов, А. О. Титюк, М. В. Савицький, А. А. Титюк // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2017. – Вып. 100. – С. 1642–169. – (Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения).
9. Шатов С. В. Організаційно-технологічні рішення розбирання пошкоджених та реконструйованих споруд та будівель / С. В. Шатов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2013. - № 4 : Наукові дослідження. – С. 12–17.
10. Шатов С. В. Удосконалення технологічного процесу виготовлення ґрунтоблоків / С. В. Шатов, М. В. Савицький, Є. О. Євсєєв // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2016. – Вып. 91. – С. 168–172. – (Инновационные

технології життєвого циклу об'єктів жилищно-громадського, промислового і транспортного призначення).

11. Khoshnevis B. Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies / Behrokh Khoshnevis // Automation in Construction. – 2004. – Vol. 13, iss. 1. – P. 5–19. – Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>.
12. Lipson H. Fabricated. The New World of 3D Printing / Hod Lipson, Melba Kurman. – [Indiana]: Wiley, 2013. – 320 p.
13. Savytskyi N. V. 3D-printing of build objects / N. V. Savytskyi, S. V. Shatov, O. A. Ozhyshchenko // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2016. – № 3. – С. 18–26.

## REFERENCES

1. Kochetkov K.E., Kotlyarevskij A.V. and Zabegaev V.A. *Avarii i katastrofy. Preduprezhdenie i likvidaciya posledstvij* [Accidents and disasters. Prevention and remediation]. Moskva: ASV, 1995, book 1, 320 p. (in Russian).
2. Zubkin V.E., Kononov V.M. and Korolev N.E. *Zonnoe nagnietanie sypuchix sred, ili kak stroit' iz obyknovvennoj zemli ves'ma deshevye, prochnye, teplye i ognestojkie doma posredstvom "Russkix kachelej"* [Zone injection of loose medium, or how to build from the ordinary land very cheap, strong, warm and fireproof houses through the "Russian swings"]. Ed. 2. Moskva: Inno Centr.Ru, 2011, 160 p. (in Russian).
3. Miroshnichenko M. *Vybukh gazu – "tse urok, yakyi povynna zasvoity derzhava"* [Gas explosion - "this is a lesson to be learned by the state"]. *Nadzvichaina sytuatsiia* [Emergency situation]. 2007, no. 10, pp. 8–15. (in Ukrainian).
4. Berni D., Gilpin D., Kojn S. and Simons P. *Neukrotimaya planeta. Kogda priroda sxodit s uma* [Indomitable planet. When nature goes crazy]. Germaniya: Dom Riderz Dajdzhest, 2008, 319 p. (in Russian).
5. Tarakanov N.D. *Kompleksnaya mexanizaciya spasatel'nyx i neotlozhnyx avarijno-vosstanovitel'nyx rabot* [Complex mechanization of rescue and emergency response works]. Moskva: Energoatomizdat, 1984, 303 p. (in Russian).
6. Chumak S.P. *Metod ocenki ob'emov otdel'nyx vidov avarijno-spasatel'nyx rabot pri ix planirovanii i podgotovke* [A method for estimating the certain types volumes of rescue operations in their planning and preparation]. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychajnyx situacijax* [Problems of safety in emergency situations]. VINITI [All-Russian Institute of Scientific and Technical Information]. Moskva, 2001, iss. 3, pp. 176–184. (in Russian).
7. Shatov S.V. Savickij N.V. and Karpushin S.A. *Obobshhenie innovacionnyx texnologij 3D-pechaty stroitel'nyx ob'ektov dlya razrabotki startapov* [Generalization of innovative technologies of 3D printing of building objects for the start-ups development]. *Sozdanie vysokotexnologicheskix ekokompleksov v Ukraine na osnove koncepcii sbalansirovannogo (ustojchivogo) razvitiya* [Creation of high-tech eco-complexes in Ukraine based on the concept of balanced (sustainable) development]. *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]. Dnepr, 2017, iss. 99, pp. 194–200. (in Russian).
8. Shatov S.V., Tityuk A.O., Savickij M. V. and Tityuk A.A. *Obstezhennia tekhnichnogo stanu dymovykh trub z vykorystanniam bezpilotnykh litalnykh aparativ* [Inspection of the technical state of smoke pipes with the use of unmanned aerial vehicles]. *Innovacionnye texnologii zhiznennogo cikla ob'ektov zhilishhno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya* [Innovative technologies of the life cycle of housing objects, civil, industrial and transport purposes]. *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] Dnepr, 2017, iss. 100, pp. 1642–169. (in Ukrainian).
9. Shatov S.V. *Orhanizatsiino-tekhnolohichni rishennia rozbyrannia poskodzhenykh ta rekonstruiovanykh sporud ta budivel* [Organizational and technological solutions for disassembly of damaged and reconstructed structures and building]. *Naukovi doslidzhennia* [Scientific researches]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2013, no. 4, pp. 12–17. (in Ukrainian).
10. Shatov S.V., Savytskyi M.V. and Yevsieiev Ye.O. *Udoskonalennia tekhnolohichnogo protsesu vyhotovlennia gruntoblokov* [Improvement of the manufacturing process of soil blocks]. *Innovacionnye texnologii zhiznennogo cikla ob'ektov zhilishhno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya* [Innovative technologies of the housing life cycle, civil, industrial and transport objects]. *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]. Dnepr, 2016, iss. 91, pp. 168–172. (in Ukrainian).
11. Khoshnevis B. *Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies*. Automation in Construction. 2004, vol. 13, iss. 1, pp. 5–19. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>.
12. Lipson H. Fabricated and Melba Kurman *The New World of 3D Printing*. Indiana: Wiley, 2013, 320 p.
13. Savytskyi N. V., Shatov S.V. and Ozhyshchenko O.A. *3D-printing of build objects*. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2016, no. 3, pp. 18–26.

Рецензент: Молодецький В. П. д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 24.12.2017 р.

УДК 69.059.7

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.19.36

## РЕКОНСТРУКЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

### ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРЕСИВНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ФОРМ

КРАВЧУНОВСЬКА Т. С.<sup>1\*</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

КОВАЛЬОВ В. В.<sup>2\*</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

БРОНЕВИЦЬКИЙ С. П.<sup>3\*</sup>, *д-р техн. наук,*

НЕЧЕПУРЕНКО Д. С.<sup>4\*</sup>, *канд. техн. наук*

<sup>1\*</sup>Кафедра планування та організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789d@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2\*</sup>Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (068) 906-86-42, e-mail: kovvyach12@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

<sup>3\*</sup>Комунальна організація «Інститут Генерального плану м. Києва», вул. Хрещатик, 32, Київ, 01001, Україна, тел. +38 (044) 234-85-89, e-mail: bsp@grad.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7585-0638

<sup>4\*</sup>Кафедра планування та організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: sunlife\_d@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9292-4790

**Анотація. Постановка проблеми.** Подальший стійкий розвиток великих міст потребує застосування комплексного підходу до вирішення питань житлової та соціальної політики, раціонального використання обмежених територіальних ресурсів, інженерно-транспортного забезпечення. При цьому для забезпечення збалансованості системи розселення і докладання праці необхідно дотримуватись принципу перетворення промислових територій на сучасні зони ділової активності, технопростори для впровадження новітніх технологій. **Мета статті** - обґрунтування доцільності реконструкції промислових підприємств із застосуванням таких прогресивних організаційних форм як технополіси, науково-виробничі комплекси та кластерні утворення на прикладі м. Київ. **Висновок.** За умови організації університетських містечок із створенням спільних науково-освітніх центрів на територіях науково-виробничих зон, варіантом розміщення технопарків та технополісів бачиться приміська зона. Це сприятиме децентралізації науково-виробничого та освітнього потенціалу міст, підвищить освітній рівень молоді, залучить нові творчі сили для розроблення проривних технологій та конкурентоспроможної продукції.

**Ключові слова:** реконструкція; промислове підприємство; технополіс; науково-виробничий комплекс; кластер

## РЕКОНСТРУКЦІЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

### С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРЕССИВНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМ

КРАВЧУНОВСКАЯ Т. С.<sup>1\*</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

КОВАЛЕВ В. В.<sup>2\*</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

БРОНЕВИЦКИЙ С. П.<sup>3\*</sup>, *д-р техн. наук,*

НЕЧЕПУРЕНКО Д. С.<sup>4\*</sup>, *канд. техн. наук*

<sup>1\*</sup>Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789d@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2\*</sup>Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (068) 906-86-42, e-mail: kovvyach12@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

<sup>3\*</sup>Комунальная организация «Институт Генерального плана г. Киева», ул. Крещатик, 32, Киев, 01001, Украина, тел. +38 (044) 234-85-89, e-mail: bsp@grad.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7585-0638

<sup>4\*</sup>Кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: sunlife\_d@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9292-4790

**Аннотация. Постановка проблемы.** Дальнейшее устойчивое развитие больших городов требует применения комплексного подхода к решению задач жилищной и социальной политики, рационального использования ограниченных территориальных ресурсов, инженерно-транспортного обеспечения. При этом для обеспечения сбалансированности системы расселения и приложения труда необходимо придерживаться принципа преобразования промышленных территорий в современные зоны деловой активности, технопространства для внедрения новейших технологий. **Цель статьи** - обоснование целесообразности реконструкции промышленных предприятий с применением таких прогрессивных организационных форм как технополіси, научно-производственные комплексы и кластерные образования на примере г. Киев. **Вывод.** При

организации университетских городков с созданием совместных научно-образовательных центров на территориях научно-производственных зон, вариантом размещения технопарков и технополисов является пригородная зона. Это будет способствовать децентрализации научно-производственного и образовательного потенциала городов, повысит образовательный уровень молодежи, привлечет новые творческие силы для разработки прорывных технологий и конкурентоспособной продукции.

**Ключевые слова:** реконструкция; промышленное предприятие; технополис; научно-производственный комплекс; кластер

## RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

### WITH APPLICATION OF PROGRESSIVE ORGANIZATIONAL FORMS

KRAVCHUNOVSKA T. S.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

KOVALOV V. V.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass.-prof.*,

BRONEVYTSKYI S. P.<sup>3\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.)*,

NECHERURENKO D. S.<sup>4\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*

<sup>1\*</sup>Department of planning and organization of production, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 46-93-92, e-mail: kts789d@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2\*</sup>Department of bases and foundations, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (068) 906-86-42, e-mail: kovvyach12@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

<sup>3\*</sup>Municipal organization «Institute of General plan of Kyiv», 32, Chreshchatyk str., Kyiv 01001, Ukraine, phone +38 (044) 234-85-89, e-mail: bsp@grad.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7585-0638

<sup>4\*</sup>Department of planning and organization of production, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-33-66, e-mail: sunlife\_d@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9292-4790

**Abstract. Raising of problem.** Further sustainable development of large cities requires the use of an integrated approach to solving the problems of housing and social policy, the rational use of limited territorial resources, engineering and transport. At the same time, in order to ensure the balance of the system of resettlement and application of labor, it is necessary to adhere to the principle of transformation of industrial territories into modern zones of business activity, technological space for introduction of the latest technologies. **Purpose of the article.** The substantiation of expediency of reconstruction of industrial enterprises with the use of such progressive organizational forms as technopolises, scientific-production complexes and cluster formations, on the example of Kyiv. **Conclusion.** Under the conditions of the organization of university townships with the creation of joint scientific and educational centers in the territories of scientific and production zones, the option of placing technology parks and technopolises is a suburban area. It will help to decentralize the scientific, production and educational potential of cities, increase the educational level of youth, attract new creative forces for the development of breakthrough technologies and competitive products.

**Keywords:** reconstruction; industrial enterprise; technopolis; scientific and production complex; cluster

**Постановка проблеми.** Сучасні великі міста України, такі як Київ, Харків, Дніпро, Одеса, для забезпечення свого подальшого стійкого розвитку мають застосовувати комплексний підхід до вирішення проблем житлової та соціальної політики, раціонального використання обмежених територіальних ресурсів, інженерно-транспортного забезпечення. Виконуючи завдання забезпечення збалансованості системи розселення і докладання праці, необхідно дотримуватись принципу перетворення промислових територій на сучасні зони ділової активності, технопростори для впровадження новітніх технологій.

Серед основних причин, що зумовлюють низьку ефективність діяльності промислового комплексу міст, можна виокремити сповільнення процесу структурної перебудови промисловості, зокрема, в напрямку залучення наукових установ, розташованих на території міст, та формування на цій основі високотехнологічних наукоємних виробництв [1–12].

**Аналіз публікацій.** Основні заходи, спрямовані на ліквідацію проблем та запровадження пріоритетів розвитку промисловості, раціонального використання промислових і комунально-складських територій такі:

- формування організаційних і правових механізмів територіальної реструктуризації та оптимізації розташування промислових підприємств;

- максимальне використання раніше відведених земельних ділянок діючих підприємств для нарощування їх виробничих потужностей з метою інтенсифікації виробництва, вивільнення частини земельних ділянок та виробничих площ для організації нового виробництва чи передачі їх іншим користувачам;

- проведення моніторингу оцінювання ефективності використання промислових і комунально-складських територій;

- реструктуризація значної частини промислових територій з метою підвищення ефективності їх використання, перетворення промислових і комунально-складських територій із соціально й екологічно небезпечних деградованих територій на сучасні зони ділової активності, технологічно оновлені технопростори для впровадження новітніх технологій, наукових ідей українських учених і винахідників, залучення міжнародних інвестицій і світового капіталу;

- реструктуризація деградованих промислових та комунально-складських територій під багатофункціональну та ділову забудову для забезпечення ефективного використання територій та комплексності забудови з розміщенням необхідної кількості стоянок транспорту, озеленення та інших заходів із забезпечення комфортних умов для працівників;

- зменшення загальної площі промислових та комунально-складських територій за рахунок підвищення ефективності використання земельних ділянок та виробничих фондів, використання підземного простору;

- формування інноваційних та технологічних парків, створення індустріальних парків та в перспективі кластерних об'єднань на територіях промислово-виробничих районів;

- збереження та інтенсифікація бюджетотвірних підприємств, які здійснюють успішну виробничу діяльність, мають високоякісну забудову та екологічно безпечні, у

периферійній зоні міст та окремих підприємств у центральних районах міста;

- перепрофілювання частини виробничих територій для громадської багатофункціональної, житлової багатоквартирної забудови, озеленення та інженерно-транспортної інфраструктури;

- реконструкція та переоснащення промислових підприємств, що розміщені в центральній частині міст, на сельбищних та ландшафтно-рекреаційних територіях та забруднюють навколишнє природне середовище і негативно впливають на здоров'я; в разі невпровадження заходів із мінімізації шкідливих викидів зміна функціонального призначення ділянок цих підприємств під громадську та житлову забудову, озеленення та паркінги;

- розвиток транспортної інфраструктури міста за рахунок використання частини промислових територій для будівництва нових електродепо, магістралей та реконструкції існуючих вулиць;

- поліпшення інженерної підготовки та інфраструктурного забезпечення територій для її комплексного освоєння та можливості забезпечення найбільш сприятливих умов для вкладення інвестицій [2; 6; 10; 11; 13; 14].

Аналіз науково-технічної діяльності низки організацій свідчить, що розвиток науки не можливий без взаємодії наукових організацій із промисловими підприємствами. Взаємодія виробничників із науковцями дозволяє вирішувати чимало технічних проблем, пропонувати українському споживачеві високотехнологічну продукцію.

На разі праці вітчизняних науковців більш популярні у зарубіжних інвесторів. Найактивніше фінансуються науково-технічні розробки в галузі геодезії, авіаційної техніки, радіолокації та радіонавігації, теплових та ядерних установок, озброєння та військової техніки [2].

Серед виконуваних досліджень і розробок із пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки найбільший обсяг займають фу-

ндаментальні дослідження з природних, суспільних і гуманітарних наук – 55,2 %, новітні та ресурсозбережені технології в енергетиці, промисловості та агропромислового комплексу – 25,0 %; комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства – 7,1 %; збереження навколишнього середовища – 5,9 %, новітні біотехнології – 3,4 %, проблеми демографічної політики та нові речовини і матеріали – 1,8 % та 1,6 % відповідно [2]. Наукові дослідження завершуються створенням наукової продукції, яка незалежно від виду досліджень повинна мати прикладний характер.

**Мета статті** - обґрунтування доцільності реконструкції промислових підприємств із застосуванням таких прогресивних організаційних форм як технополіси, науково-виробничі комплекси та кластерні утворення на прикладі м. Київ.

**Результати досліджень.** Розміщення нових промислових підприємств та реорганізацію існуючих доцільно здійснювати із застосуванням таких прогресивних організаційних форм як промислові та технологічні парки, технополіси, індустріальні парки (екоіндустріальні парки), кластерні формування, що дозволить залучити інноваційні технології, інвестиції, здійснити будівництво або реконструкцію підприємств із найменшими затратами за рахунок кооперативного формування інженерної та інформаційної інфраструктури, підготовки території, а також забезпечувати сприятливе середовище для розвитку найбільш пріоритетних напрямків промислового виробництва.

У зв'язку з тим, що вільних територій в місті практично не залишилось, формування екоіндустріальних парків необхідно забезпечувати на територіях існуючих промрайонів, у першу чергу Микільсько-Борщагівського, Подільсько-Куренівського, Дарницького та інших, за рахунок реструктуризації, перепрофілювання та технологіч-

ного переоснащення, впровадження екологічно-безпечних та роботизованих технологій промислових та комунально-складських підприємств, які мають низький рівень економічної і бюджетної ефективності, виробництв із підвищеним рівнем екологічної шкідливості, в першу чергу тих, що належать до 1- та 2-го класів шкідливості (ВАТ «Фармак», ДП ВАТ «Київський завод «Радар», КП «Автодорсервіс», ВАТ «Асфальтобетонний завод», Київський державний міжобласний спецкомбінат «Родон», ВАТ «Радикал»).

Одним із найбільш суттєвих факторів, які можуть сприяти реалізації інвестиційних проектів і які стали невід'ємною ознакою індустріального (промислового) парку, - це попередня проектна підготовка зони розміщення промислового парку, а також формування загальнопаркової інженерно-транспортної, природоохоронної, соціально-культурної інфраструктури, та, за необхідності, інженерної підготовки території. Тому оптимальними територіями для розміщення нових першочергових індустріальних (промислових) парків в м. Києві вважаються промислові райони Троещина та Осокорки, які мають необхідні територіальні резерви, але потребують розроблення відповідної містобудівної документації, а також виконання робіт з інженерної підготовки територій, формування інженерно-транспортної інфраструктури.

Розміщення підприємств у складі промислових парків дозволяє орієнтовно на третину скоротити терміни їх проектування та будівництва (на 20-25 % – потребу в територіальних ресурсах, на 10-15 % – вартість будівництва) [2].

Перспективним може також вважатись формування технологічних парків у приміських районах.

Подальша реструктуризація промислового комплексу передбачає інтеграцію



промислових підприємств у науково-виробничі та кластерні утворення.

Стратегія розвитку міста вимагає, щоб наукомісткі галузі стали своєрідними точками зростання міської економіки, з якими буде пов'язане підвищення конкурентоспроможності інших галузей промисловості і сфери послуг.

Нове покоління науково-виробничих комплексів отримало назву технопарків, технополісів.

Технопарки (науково-виробничі комплекси) мають свої особливості, що відрізняють їх від зарубіжних, через: відмінності законодавства; відмінності у стані матеріально-технічної бази вищих навчальних закладів; неоднаковий рівень розвитку науки у вищих навчальних закладах; різне розуміння місцевою владою ролі науково-виробничих комплексів (НВК) у розвитку регіонів; різне ставлення керівництва вищих навчальних закладів до цієї форми організації академічної науки.

Технопарки – оптимально організовані науково-промислові зони, де здійснюється співпраця і обмін ідеями та інформацією між підприємствами і науковими організаціями з метою впровадження інновацій.

Можна виділити декілька основних видів «технологічних парків», що відрізняються один від одного орієнтацією, співвідношенням між дослідницькими і виробничими функціями, обсягом науково-технічних послуг:

– дослідницький парк – агломерація наукоємних фірм (або їх підрозділів), що групуються довкола великих наукових центрів, головним чином – університетів;

– промисловий парк – об'єднання фірм, засноване на спільному використанні земельної ділянки, виробничих і службових приміщень;

– грюндерський центр – інноваційна структура, яка об'єднує фірми, фінансово-комерційні структури для надання допомоги виробництвам, що розвиваються. Залежно від способу їх розміщення і організації середні розміри території таких парків коливаються від 5 до 50 га та більше;

– технологічний центр – грюндерський центр, де концентруються підприємства обробної промисловості, що орієнтуються на високі технології, освоєння яких пов'язане зі значними витратами і ризиком.

Найважливіший базовий різновид регіонального НВК – інкубатори. Вони надають приміщення і устаткування для нових підприємств, а також інформацію і послуги, допомогу у навчанні кадрів, займають зазвичай виробничу площу до 1 га (міні-парки). Як правило, адміністрація інкубатора надає приміщення за ціною значно нижче ринкової, а також безкоштовні або пільгові поради з управління, маркетингу, обліку, оподаткування, фінансування, послуги загального призначення та інші.

Стратегія розвитку науково-виробничого комплексу, що відповідає реальним умовам, включає три етапи:

Етап перший – «промисловий парк». Головна мета цього етапу – створення сприятливого середовища й закінченої інфраструктури для залучення і утримання команди підприємців-однодумців, а також для формування «збалансованої суміші» клієнтів, яка в майбутньому могла б репрезентувати діяльність парку. Рушійну силу на цьому етапі являє собою ринок. Діяльність характеризується припливом технологій.

Етап другий – «технологічно орієнтований парк». На цьому етапі формується система взаємовідносин із провідними вітчизняними науково-дослідними організаціями і зарубіжними науковими парками. Головна ознака цього етапу – систематична взаємодія науки і виробництва. Рушійні сили – однаковою мірою ринок і технології.

Етап третій – «дослідницький парк» – вищий рівень розвитку попереднього етапу. Діяльність парку характеризується великим обсягом ринково-орієнтованих прикладних досліджень. Рушійна сила – технологія.

Зазвичай НВК має декількох засновників, число яких може варіюватися від двох до двадцяти. Вищий навчальний заклад може виступати спільно з місцевою



або регіональною адміністрацією, агентством із розвитку, державною або приватною ріелтєрською компанією, банком, одним або декількома партнерами з промисловості. Внесок кожного із засновників залежить від його ресурсів і конкретних обставин, але зазвичай він полягає в такому:

- вищий навчальний заклад – передача технологій, земельні ділянки, оборотний капітал;
- місцева адміністрація – земельні ділянки, інфраструктура, гранти;
- агентство із розвитку – капіталовкладення, управління нерухомістю;
- банк – капітальні вкладення, фінансова експертиза, венчурний капітал;
- промислові підприємства – капітальні вкладення, експертиза проектів.

Така різноманітність внесків має на увазі наявність між засновниками формальної угоди, в якій чітко визначаються права й обов'язки кожного з них. У разі угоди про спільне підприємство уточнюються позиції, пов'язані з утворенням юридичної особи, яка володітиме активами НВК, а також відбиваються інтереси кожного засновника і механізм розподілу прибутку.

Досвід створення НВК за кордоном довів їх високу ефективність, додає науці ринкової спрямованості. Це викликає потребу в створенні спеціалізованої інфраструктури для сприяння комерціалізації результатів наукових досліджень і технологічних розробок. Для повноцінного функціонування цих утворень потрібна активна участь держави в їх створенні і підтримці.

Складову сприятливих умов створення науково-технічних комплексів становить формування функціонально-просторової організації та матеріально-технічної бази науково-виробничого комплексу столиці. Для цього необхідні:

- відтворення та подальша спеціалізація наукових і науково-виробничих зон Києва з оновленням та створенням сучасної інфраструктури;

– сприяння умовам розвитку інноваційно-підприємницького середовища – інкубатори бізнесу, дослідницькі парки, технологічні парки, технопарки, технополіси.

Серед основних спеціалізацій науково-технологічних комплексів виділяються: авіа-, ракетобудування та космічні дослідження; електроніка та радіотехніка; автоматизація, машино- та приладобудування; хімія, фізика і створення нових матеріалів; ядерний комплекс; енергетика; біологія і біотехнологія.

Сучасний науково-виробничий комплекс із розроблення та комерціалізації нових технологій спрямований на створення сприятливого середовища для концентрації міжнародного інтелектуального капіталу, здатного генерувати інновації. В його рамках може функціонувати технопарк. Його стратегічною метою буде надання інноваційним компаніям-учасникам проекту всю необхідну підтримку для успішного розвитку їх технологічних активів і корпоративних структур.

До науково-виробничого комплексу можуть входити юридичні особи, зареєстровані в установленому порядку на його території:

- наукові організації;
- установи вищої професійної освіти;
- інші організації, що здійснюють наукову, науково-технічну та інноваційну діяльність, експериментальні розробки, випробування, підготовку кадрів відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки, технологій і техніки.

Реструктуризація промислових територій зі створенням кластерної зони передбачена на територіях промрайонів Троєщина, Дніпровський, Дарницький та формування науково-виробничого кластера в районі Академмістечко.

**Висновки.** Отже, сприяння розвитку інноваційно-підприємницького середовища передбачає створення територіальних інноваційних структур. Найбільш всеохоплювою формою організації інноваційно-підприємницького середовища вважаються технополіси. В розміщенні

таких територіальних інноваційних структур враховується: зручне транспортне сполучення; наявність кваліфікованої робочої сили; наявність соціальної та виробничої інфраструктури.

Таким чином, на території міст та у приміській зоні після проведення певної дослідницької роботи можуть створюватись та функціонувати інкубатори бізнесу, дослідницькі парки, технологічні парки та кластери.

За умови організації університетських містечок із створенням спільних науково-освітніх центрів на територіях науково-виробничих зон, варіантом розміщення технопарків та технополісів стає приміська зона. Це сприятиме децентралізації науково-виробничого та освітнього потенціалу міст, підвищить освітній рівень молоді, залучить нові творчі сили для розроблення проривних технологій та конкурентоспроможної продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ганиев К. Б. Совершенствование организации реконструкции и расширения промышленных предприятий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / Ганиев Карим Барович ; Москов. инж.-строит. ин-т. – Москва, 1991. – 36 с.
2. Генеральний план м. Києва. Основні положення / [Броневицький С., Присяжнюк В., Дьомін М., Целовальник С., Куделін А., Нечаєва Т.] ; Виконав. орган Київ. міс. ради (Київ. міс. держ. адмін.), Ін-т генер. плану м. Києва. – Київ : КМДА, 2015. – 134 с.
3. Гончаренко Д. Ф. Организационно-технологические системы надежности временных параметров реконструкции предприятий машиностроения / Д. Ф. Гончаренко. – Киев : УМК ВО, 1990. – 53 с.
4. Запотоцький С. Ревіталізація промислових об'єктів міста (на прикладі м. Івано-Франківська) / С. Запотоцький, О. Левицька // Часопис соціально-економічної географії. – 2016. – Т. 21, № 2 (21). – С. 102–106.
5. Кирнос В. М. Научно-методологические основы организационно-технологического регулирования продолжительности и стоимости реконструкции промышленных предприятий : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / Кирнос Владимир Михайлович ; Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 1994. – 351 с.
6. Ковальов В. В. Обґрунтування доцільності функціонального переосвоєння територій великих міст / В. В. Ковальов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2017. – № 4. – С. 71–76.
7. Осипов О. Ф. Система обґрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / Осипов Олександр Федорович ; Одеська держ. акад. буд-ва та архітектури. – Одеса, 2015. – 43 с.
8. Редевелопмент: новая жизнь промышленных зданий // Институт "МіськЦивільПроект". – Режим доступу: <http://ma-arch.com.ua/редевелопмент-новая-жизнь-промышлен/>. – Назва з екрану. – Перевірено: 14.05.2018.
9. Савйовський В. В. Ревіталізація – екологічна реконструкція міської забудови / В. В. Савйовський, А. П. Броневицький, О. Г. Каржинерова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2014. – № 8. – С. 47–52.
10. Стан і проблеми розвитку та використання територій промислових і складських підприємств / В. Л. Сєдін, Т. С. Кравчуновська, С. П. Броневицький, В. В. Ковальов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепро, 2017. – Вып. 96. – С. 145–151. – (Стародубовские чтения 2017).
11. Про затвердження Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року : рішення Київської міської ради від 15 грудня 2011 року № 824/7060. – Режим доступу: [http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1\\_docki2.nsf/alldocWWW/3CF55D4ECB51FCD9C22579B4006DEE04?OpenDocument](http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/alldocWWW/3CF55D4ECB51FCD9C22579B4006DEE04?OpenDocument).
12. Richard L. Urban construction project management / L. Richard, J. Eschemuller. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 480 p.
13. Sidney M. Levy. Project management in construction / Sidney M. Levy. – New York : McGraw-Hill, 2006. – 402 p.
14. System of project multicriteria decision synthesis in construction / Vaidotas Šarka, Edmundas K. Zavadskas, Leonas Ustinovičius, Edita Šarkienė & Česlovas Ignatavičius // Technological and Economic Development of Economy: Baltic Journal on Sustainability. – 2008. – Vol. 14, iss. 4. – P. 546–565.

## REFERENCES

1. Ganiev K.B. *Sovershenstvovanie organizatsii rekonstruktsii i rasshyreniya promyshlennykh predpriyatiy. Avtoref. diss. d-ra texn. nauk. 05.23.08* [Improving the organization of reconstruction and expansion of industrial enterprises.

- Author's abstract of Dr. Sc. (Tech.) dissertation 05.23.08]. Moscow Engineering and Construction Institute, Moskva, 1991, 36 p. (in Russian).
2. Bronevtskyi S., Prsyazhniuk V., Domin M., Tselovalnyk S., Kudelin A. and Nechaeva T. *Heneralnyi plan m. Kyiva. Osnovni polozhennia* [General plan of the Kyiv. The main provisions]. In-t gener. planu m. Kyieva [Institute of general plan of Kyiv city]. Kyiv: KMDA, 2015. 134 p. (in Ukrainian).
  3. Goncharenko D.F. *Organizatsionno-tekhnologicheskie sistemy nadezhnosti vremennykh parametrov rekonstruktsii predpriyatiy mashinostroeniya* [Organizational and technological systems of reliability of time parameters of reconstruction of engineering enterprises]. Kyiv: UMK VO, 1990, 53 p. (in Russian).
  4. Zapototskyi S., Levytska O. *Revitalizatsiia promyslovykh ob'ektiv mista (na prykladi m. Ivano-Frankivska)* [Revitalization of industrial objects of the city (for example, the city of Ivano-Frankivsk)]. *Chasopys sotsialno-ekonomichnoi geografii* [Journal of socio-economic geography]. 2016, vol. 21, iss. 2 (21), pp. 102-106. (in Ukrainian).
  5. Kirnos V.M. *Nauchno-metodologicheskie osnovy organizatsionno-technologicheskogo regulirovaniya prodolzhitel'nosti i stoimosti rekonstruktsii promyshlennykh predpriyatiy. dys. d-ra texn. nauk: 05.23.08* [Scientific and methodological bases of organizational and technological regulation of duration and cost of reconstruction of industrial enterprises. Dr. Sc. (Tech.) dissertation: 05.23.08]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arkhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 1994, 351 p. (in Russian).
  6. Kovalov V.V. *Obhruntuvannia dotsilnosti funktsional'nogo pereosvoien'nia terytotii velykykh mist* [Substantiation of feasibility of functional redevelopment of territories of large cities]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2017, iss. 4, pp. 71-76. (in Ukrainian).
  7. Osypov O.F. *Systema obgruntuvannia ta vyboru organizatsiino-tekhnologichnykh rischen rekonstruktsii budivel: avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk: 05.23.08* [System of substantiation and selection of organizational and technological solutions of reconstruction of buildings: Author's abstract of Dr. Sc. (Tech.) dissertation 05.23.08]. Odeska derzh. akad. bud-va ta arkhitektury [Odesa State Academy of Construction and Architecture]. Odesa, 2015. 43 p. (in Ukrainian).
  8. *Redevelopment: novaya zhizn promyshlennykh zdaniy* [Redevelopment: a new life of industrial buildings]. Instytut "MiskCyvil'Proekt" [Institute of City Civil Project]. Available at: <http://ma-arch.com.ua/редевелопмент-новая-жизнь-промышлен/>. (Accessed on December 08, 2017). (in Russian).
  9. Saviovskyi V.V., Bronevtskyi A.P. and Karzhyn'erova O.G. *Revitalizatsiia – ekolohichna rekonstruktsiia miskoi zabudovy* [Revitalization – ecological reconstruction of urban development]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniproska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk: PDABA, 2014, iss. 8, pp. 47-52. (in Ukrainian).
  10. Siedin V. L., Kravchunovska T. S., Bronevtskyi S.P. and Kovalov V. V. *Stan i problemy rozvytku ta vykorystannia terytorii promyslovykh i skladskykh pidpriemstv* [Status and problems of development and use of territories of industrial and warehousing enterprises]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. Starodubovskie chteniya 2017 [Proceedings in memory of Starodubov]. Prydnep. gos. akad. str-va i arkhitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipro, 2017, iss. 96, pp. 145–151. (in Ukrainian).
  11. Pro zatverdzhennia Strategii rozvytku mista Kyieva do 2025 roku: rishennia Kyivskoi miskoi rady vid 15 grudnia 2011 roku № 824/7060 [Strategy of development of Kyiv city until 2025: A decision of Kyiv city rada, 15 December 2011, № 824/7060]. Available at: [http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1\\_docki2.nsf/alldocWWW/3CF55D4ECB51FCD9C22579B4006DEE04?OpenDocument](http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/alldocWWW/3CF55D4ECB51FCD9C22579B4006DEE04?OpenDocument). (in Ukrainian).
  12. Richard L. and Eschemuller J. *Urban construction project management*. New York: McGraw-Hill, 2008, 480 p.
  13. Sidney M. Levy. *Project management in construction*. New York: McGraw-Hill, 2006, 402 p.
  14. Vaidotas Šarka, Edmundas K. Zavadskas, Leonas Ustinovičius, Edita Šarkiene and Česlovas Ignatavičius *System of project multicriteria decision synthesis in construction*. Technological and Economic Development of Economy: Baltic Journal on Sustainability. 2008, vol. 14, iss. 4, pp. 546–565.

Рецензент: Заяць Є.І., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 09.01.2018 р.

УДК 628.517:621.51

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.27.37

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ МЕСТАХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

БЕЛИКОВ А. С.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

МАМОНТОВ А. В.<sup>2</sup>, *ст. преп.*,

ШАЛОМОВ В. А.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, г. Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Кафедра охраны труда, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, 61000, Украина, тел. +38 (057) 702-13-60, e-mail: mamont.ol.vik@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1464-8644

<sup>3</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, г. Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6880-932X

**Аннотация.** *Постановка проблемы* - повышение безопасности на рабочих местах за счет внедрения в производство авторских методов и средств снижения вибрации и шума в источниках, входящих в состав компрессорных устройств. *Методы* - системный анализ в области фундаментальных исследований колебательных процессов, вибрации и шума; стандартные и предложенные авторами расчетные и экспериментальные методы исследования колебательных систем с неуравновешенными роторами компрессорных агрегатов. *Результаты.* Основными источниками повышенного механического шума и вибрации на низких частотах являются неуравновешенные роторы блоков сжатия. Возникновение вибрации при вращении неуравновешенного ротора объясняется наличием вибрационных сил, частота которых совпадает с частотой вращения, а модуль пропорционален величине неуравновешенности. Уровень шума от вибрирующей поверхности зависит от ее формы, площади и виброскорости. В общем случае неуравновешенность жесткого ротора имеет две составляющие: статическую и моментную. Для уравнивания роторов применяются различные способы, суть которых сводится к корректировке неуравновешенных масс. Это может быть достигнуто путем снятия или добавления определенной массы в плоскостях коррекции путем высверливания, стачивания, припаивания, приваривания или приклеивания. В процессе эксплуатации компрессорных установок часто возникают эксплуатационные дисбалансы из-за влияния агрессивной среды (пыли, едких химических веществ и других факторов). Высокая скорость и наличие приводов вращения роторов в процессе балансировки являются причиной высокой опасности травмирования людей. Предложенные методы и средства могут быть внедрены не только на предприятиях-изготовителях компрессорных установок, но и на ремонтных участках предприятий, эксплуатирующих компрессорные установки, например, предприятий стройиндустрии. *Научная новизна* заключается в представлении новых методов и средств измерения неуравновешенностей, которые, по мнению авторов статьи, не уступают аналогам в эффективности и являются более безопасными. *Практическая значимость* - возможность использования предложенных методов и средств непосредственно на ремонтных участках предприятий стройиндустрии. Это позволит сохранить время и финансовые затраты на ремонт компрессорных установок, что способствует снижению шума и вибрации во время их работы.

**Ключевые слова:** компрессор; ротор; шум; вибрация; дисбаланс; маятниковая рама; свободные колебания

## ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ ШУМУ І ВІБРАЦІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК

БЕЛІКОВ А. С.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

МАМОНТОВ О. В.<sup>2</sup>, *ст. викл.*,

ШАЛОМОВ В. А.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Кафедра охорони праці, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61000, Україна, тел. +38 (057) 702-13-60, e-mail: mamont.ol.vik@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1464-8644

<sup>3</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6880-932X

**Анотація.** *Постановка проблеми* - підвищення безпеки на робочих місцях за рахунок упровадження у виробництво авторських методів і засобів зниження вібрації і шуму в джерелах, що входять до складу компресорних пристроїв. *Методи* - системний аналіз у галузі фундаментальних досліджень коливальних процесів, вібрації і шуму; стандартні й запропоновані авторами розрахункові й експериментальні методи дослідження коливальних систем із неврівноваженими роторами компресорних агрегатів. *Результати.* Робота компресорних установок пов'язана з підвищеними рівнями шуму і вібрації. Ці шкідливі виробничі фактори негативно впливають на людину як прямо, так і опосередковано. Без своєчасного вжиття превентивних заходів ризику за вищевказаними небезпеками різко зростають. Основні джерела підвищеного механічного шуму і вібрації на низьких частотах - це неврівноважені ротори блоків стиснення. У всіх розглянутих джерелах неврівноваженість роторів є причиною підвищеної вібрації і механічного шуму. Виникнення вібрації пояснюється наявністю вібраційних сил, частота яких збігається з частотою обертання, а модуль пропорційний величині неврівноваженості (дисбалансу). Рівень шуму від віброуючої поверхні залежить від її форми, площі і вібраційної швидкості. У загальному випадку неврівноваженість жорсткого ротора має дві складові: статичну і моментну. Для врівноваження роторів застосовуються різні способи, суть яких зводиться до коректування неврівноважених мас. Це може бути досягнуто шляхом зняття або додавання певної маси в площинах корекції шляхом висвердлювання, сточування, припаювання, приварювання або приклеювання. Процес вимірювання та усунення неврівноваженості роторів називається балансуванням. Наразі застосовується кілька типів балансувальних верстатів. Найбільш поширені дорезонансний і зарезонансний балансувальні верстати. Запропоновані авторами методи та засоби можуть бути впроваджені не тільки на підприємствах-виробниках компресорних установок, а і на ремонтних ділянках підприємств, що експлуатують компресорні установки, наприклад, підприємств будівельної індустрії. *Наукова новизна* - полягає в поданні нових методів і засобів вимірювання неврівноваженості, які, на думку авторів статті, не поступаються аналогам в ефективності і більш безпечні. *Практична значимість* - полягає в можливості використання запропонованих методів і засобів безпосередньо на ремонтних ділянках підприємств будівельної індустрії. Це дозволить скоротити час і фінансові витрати на ремонт компресорних установок, що сприяє зниженню шуму і вібрації під час їх роботи. В кінцевому підсумку впровадження запропонованих методів і засобів підвищить безпеку на робочих місцях підприємств будівельної індустрії, пов'язаних із роботою компресорних установок.

**Ключові слова:** компресор; ротор; шум; вібрація; дисбаланс; маятникова рама; вільні коливання

## IMPROVING SAFETY IN WORKPLACES WHEN OPERATING THE COMPRESSOR UNITS FOR THE ACCOUNT OF NOISE REDUCTION AND VIBRATION

BELIKOV A. S.<sup>1</sup>, *Dr. Sc(Tech).*, *Prof.*,

MAMONTOV A. V.<sup>2\*</sup>, *Senior lecturer*,

SHALOMOV V. A.<sup>3</sup>, *Cand. Sc.(Tech)*, *Assoc. Prof.*,

<sup>1</sup>Department of Life Safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49005, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Department of labour protection, Kharkiv National University of Radioelectronics, 14, Science, av., Kharkiv, 61000, Ukraine, phone +38 (057) 702-13-60, e-mail: mamont.ol.vik@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1464-8644

<sup>3</sup>Department of Life Safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49005, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6880-932X

**Abstract.** *Purpose.* Increase of safety at working places due to introduction in manufacture of author's methods and means of decrease in vibration and noise in the sources which are a part of compressor devices. *Method.* System analysis in the field of fundamental research of oscillatory processes, vibration and noise; application of standard and proposed calculation and experimental methods for studying oscillatory systems with unbalanced rotors of compressor units; mathematical modeling of processes. *Results.* The work of compressor plants is associated with increased levels of noise and vibration. These harmful production factors adversely affect the person and act on it both directly and indirectly. Without the timely use of preventive measures, the risks of the above hazards will increase dramatically. In the course of the study, it became apparent that methods and means of eliminating the causes of increased vibration and noise in compressor plants to date have not been fully understood. The main sources of increased mechanical noise and vibration at low frequencies are unbalanced rotors of compression blocks. Unbalanced rotors are the cause of increased vibration and mechanical noise. In all considered sources, the imbalance of the rotors is the cause of increased vibration and mechanical noise. The appearance of vibration in the rotation of an unbalanced rotor is due to the presence of vibration forces whose frequency coincides with the rotational frequency, and the module is proportional to the magnitude of imbalance (imbalance). The level of noise from the vibrating surface depends on its shape, area and vibration velocity. In general, the unbalance of a hard rotor has two components: static and momentary. Different methods are used to balance the rotors, the essence of which is to adjust the unbalanced masses. This can be achieved by removing or adding a certain mass in correction planes by drilling, staining, soldering, welding or gluing. The process of measuring and eliminating the disequilibrium of the rotors is called balancing. Currently, several types of

balancing machines are used. The most common are resonant and after resonance balancing machines, on which the corresponding measuring methods (before resonance and after resonance) are realized. In operation of compressor plants, operational imbalances often arise due to the impact of an aggressive environment (dust, caustic substances and other factors). Both of the considered machine tools (the method) have drawbacks, which limit their efficiency and the possibility of using on repair sites of construction industry enterprises. These include the need for pre-setting the machine, limited accuracy of measurement at one start, the effect of external and internal interference on the measurement result. High speed and the presence of rotary rotor drives during the balancing process are the cause of a high risk of injury to people. Balancing rotors in specialized machine-building enterprises usually requires high financial and time costs. As a result, compressor installations are used for complete wear with increased noise and vibration. Currently developed and patented vibration methods and instruments for measuring the imbalance of rotors, based on measuring the frequency of free fading oscillations of the swivel frames. Different methods are used to balance the rotors, the essence of which is to adjust the unbalanced masses. This can be achieved by removing or adding a certain mass in correction planes by drilling, staining, soldering, welding or gluing. In operation of compressor plants, operational imbalances often arise due to the impact of an aggressive environment (dust, caustic substances and other factors). High speed and the presence of rotary rotor drives during the balancing process are the cause of a high risk of injury to people. The proposed methods and means can be implemented not only at the enterprises producing compressor plants, but also on repair sites of enterprises that operate compressor plants, for example, construction industry enterprises. **Scientific novelty.** It is the presentation of new methods and means of measuring imbalances, which, in the opinion of the authors of the article, are not inferior to the analogues in efficiency and are safer. **Practical meaningfulness.** It consists in the possibility of using the proposed methods and tools directly on the repair sites of the construction industry enterprises. This will reduce the time and financial costs of repairing compressor plants, thereby reducing noise and vibration during their operation. Ultimately, the introduction of the proposed methods and tools will increase the safety of the enterprises in the construction industry associated with the operation of compressor plants.

**Keywords:** *compressor; rotor; noise; vibration; imbalance; pendulum frame; free oscillations*

**Постановка проблеми.** Работа компрессорных установок связана с повышенными уровнями шума и вибрации. Эти вредные производственные факторы негативно влияют на человека и оказывают на него как прямое, так и косвенное действие. Согласно данным рабочих органов Фонда социального страхования Украины, примерно 19 % от общего числа профессиональных заболеваний за 2017 г. приходится на виброболезнь и заболевания органов слуха, что является проявлением прямого негативного действия. Косвенное действие повышенного шума и вибрации проявляется общей заболеваемости, в повышении производственного травматизма и в снижении производительности труда [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** По данным Государственной службы статистики Украины, с 2016 г. отмечается рост объемов строительства и промышленного производства, где компрессорные установки получили широкое распространение во многих производственных процессах.

Очевидно, что без своевременного принятия превентивных мер риски по вышеуказанным опасностям резко возрастут. В ходе исследования стало очевидно и то, что способы и средства устранения причин

повышенной вибрации и шума в компрессорных установках на сегодняшний день изучены не достаточно полно.

**Целью статьи** является демонстрация и внедрение в производство авторских методов и средств снижения вибрации и шума в источниках, входящих в состав компрессорных устройств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить источники повышенного механического шума и вибрации в компрессорных устройствах;
- установить связь неуравновешенности ротора с повышенным шумом и вибрацией;
- привести описание современных методов и средств измерения неуравновешенностей жестких роторов;
- привести описание и обосновать безопасность разработанных (авторских) методов и средств измерения неуравновешенностей роторов.

**Изложение материала.** Основными источниками повышенного механического шума и вибрации на низких частотах являются неуравновешенные роторы блоков сжатия (см. рис. 1).



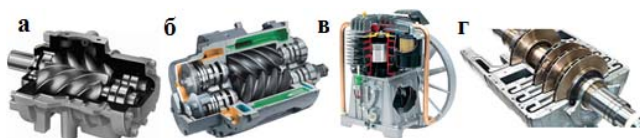


Рис. 1. Блоки сжатия воздуха: а – винтовой маслонаполненный; б - винтовой сухого сжатия; в – поршневого; г - центробежный



Рис. 2. Дополнительные источники вибрации и шума: а – ротор (слева) асинхронного электродвигателя; б и в - крыльчатки электровентиляторов; г – подшипник; д - маховик

На рисунке 2 показаны дополнительные источники, создающие повышенную вибрацию и механический шум на низких и средних частотах.

Во всех рассмотренных источниках неуравновешенность роторов является причиной повышенной вибрации и механического шума. Возникновение вибрации при вращении неуравновешенного ротора объясняется наличием вибрационных сил, частота которых совпадает с частотой вращения, а модуль пропорционален величине неуравновешенности (дисбаланса) [2; 3]:

$$|F_{\text{ВИБР}}| = D\mu\omega^2, \quad (1)$$

где  $D$  - дисбаланс,  $\text{кг} \times \text{м}$ ,  
 $\mu$  - коэффициент динамичности;  
 $\omega$  - циклическая частота.

Уровень шума от вибрирующей поверхности зависит от ее формы, площади и виброскорости. Звуковая мощность от плоской вибрирующей (по закону синуса) поверхности равна:

$$W_{\text{ЗВУК}} = \frac{\rho\omega S^2 v^2}{8\pi c}, \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность среды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $S$  - площадь поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $v$  - виброскорость,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $c$  - скорость звука в среде,  $\text{м}/\text{с}$ .

В общем случае неуравновешенность жесткого ротора имеет две составляющие: статическую и моментную. Для уравнивания роторов применяются различные способы, суть которых сводится к корректировке неуравновешенных масс. Это может быть достигнуто путем снятия или добавления определенной массы в плоскостях коррекции путем высверливания, стачивания, припаивания, приваривания или приклеивания. Процесс измерения и устранения неуравновешенностей роторов называется балансировкой. В настоящее время применяется несколько типов балансировочных станков [4; 5]. Наиболее распространенными являются дорезонансный и зарезонансный балансировочные станки, на которых реализуются соответствующие методы измерений (дорезонансный и зарезонансный).

В процессе эксплуатации компрессорных установок часто возникают эксплуатационные дисбалансы из-за влияния агрессивной среды (пыли, едких химических веществ и других факторов). Оба рассмотренных станка (метода) имеют недостатки, которые ограничивают их эффективность и возможность использования на ремонтных участках предприятий стройиндустрии. К их числу относится необходимость предварительной настройки станка, ограниченная точность измерения за один пуск, влияние внешних и внутренних помех на результат измерения. Высокая скорость и наличие приводов вращения роторов в процессе балансировки являются причиной высокой опасности травмирования людей. Балансировка роторов на специализированных машиностроительных предприятиях, как правило, требует высоких финансовых и временных затрат. В результате этого компрессорные установки эксплуатируются

до полного износа с повышенным шумом и вибрацией.



Рис. 3. Современные средства для динамической балансировки жестких роторов: а и б – внешний вид рабочих мест; в – упрощенная схема дорезонансного и резонансного балансировочных станков; 1 – ротор; 2 – неуравновешенная масса; 3 – упругий элемент; 4 – эквивалент трения

В настоящее время разработаны и запатентованы вибрационные методы и средства измерения неуравновешенностей роторов, основанные на измерении частоты свободных затухающих колебаний маятниковой рамы [6].

На рисунке 4 показана схема устройства для измерения статической неуравновешенности роторов, представляющая собой маятниковую раму.

Ротор 1 установлен на маятниковую раму 2, соединенную с неподвижным основанием с помощью шарниров и пружины кручения 3. Ротор 1 имеет неуравновешенную массу 4. Он может поворачиваться вокруг своей оси и фиксироваться в четырех положениях (точки А, В, С, D). Рама 2 может совершать свободные затухающие колебания относительно оси О. Для измерения частоты колебаний используется датчик колебаний и частотомер (на схеме не показаны).

Метод измерения статической неуравновешенности (дисбаланса) заключается в следующем [6]. Ротор 1 устанавливают на раму 2. В этом положении ротор повернут к оси О точкой А. Возбуждают и измеряют свободные

затухающие колебания. После этого поворачивают ротор на  $90^{\circ}$  против часовой стрелки. В этом положении он будет повернут к оси О точкой В. Аналогично измеряют частоту колебаний и повторяют процедуру для остальных положений ротора (точки С и D).

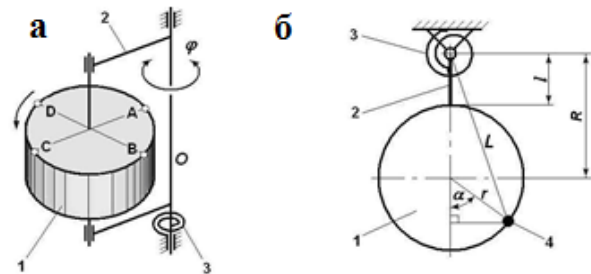


Рис. 4. Упрощенная схема устройства для измерения статической неуравновешенности (а – вид сбоку; б – вид сверху): 1 – ротор; 2 – рама; 3 – упругий элемент; 4 – неуравновешенная масса

Согласно предложенному методу, величину статической неуравновешенности (дисбаланс) рассчитывают по формуле (3):

$$D = mr = \frac{G}{16\pi^2 R} \sqrt{\left(\frac{1}{v_A^2} - \frac{1}{v_C^2}\right)^2 + \left(\frac{1}{v_B^2} - \frac{1}{v_D^2}\right)^2} = \frac{G}{16\pi^2 R} \sqrt{(T_A^2 - T_C^2)^2 + (T_B^2 - T_D^2)^2}, \quad (3)$$

где  $m$  - величина неуравновешенной массы;  $G$  - коэффициент жесткости упругого элемента 3 при кручении;  $v_A \dots v_C$  и  $T_A \dots T_C$  - измеренные частоты и периоды свободных колебаний рамы, соответственно;  $R$  - плечо рамы.

Угол  $\alpha$  дисбаланса рассчитывают с помощью алгоритма на рисунке 5.



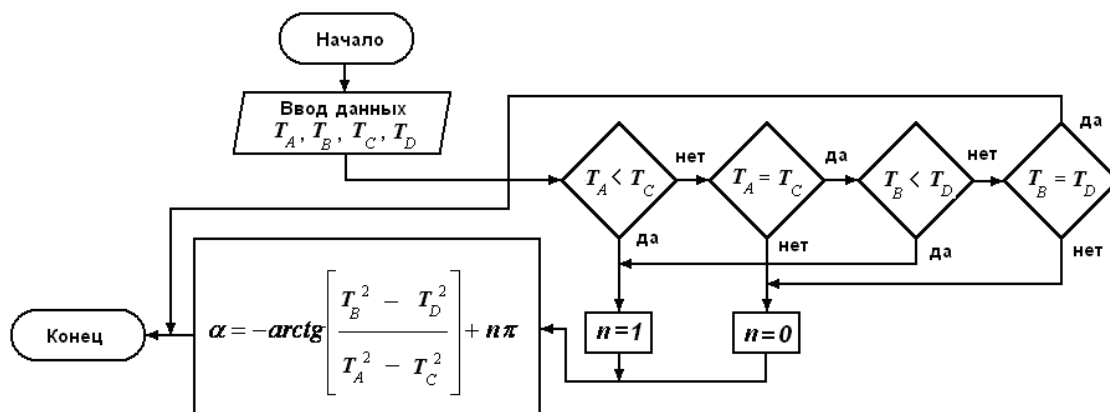


Рис. 5. Алгоритм вычисления угла дисбаланса

На рисунке 6 показана схема устройства для измерения моментной неуравновешенности роторов. Ее устройство и принцип действия аналогичны схеме на рисунке 4. Отличие данного устройства заключается в том, что рама наклонена к вертикальной оси под углом  $\beta$  ( $\pi/4$ ).

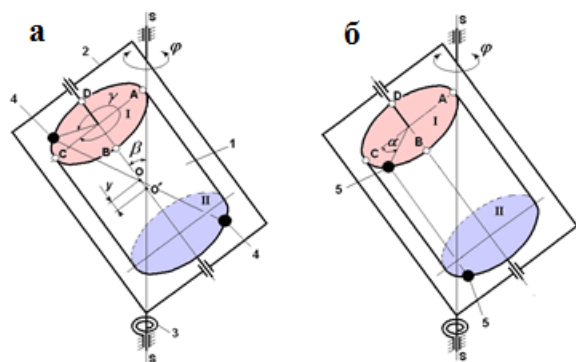


Рис. 6. Упрощенная схема устройства для измерения моментной неуравновешенности:  
а – ротор с моментной неуравновешенностью 4;  
б – ротор со статической неуравновешенностью 5

Метод измерения моментной неуравновешенности аналогичен предыдущему методу, и также предполагает измерение свободных затухающих колебаний маятниковой рамы в различных положениях ротора относительно своей оси

[6]. Величина моментной неуравновешенности рассчитывается по формуле (4):

$$M_D = \frac{1}{\sin 2\beta} \times \sqrt{\left[ \frac{G}{4\pi^2} (T_A^2 - T_C^2) - 2Dy \sin 2\beta \cdot \cos \alpha \right]^2 + \left[ \frac{G}{4\pi^2} (T_B^2 - T_D^2) + 2Dy \sin 2\beta \cdot \sin \alpha \right]^2}, \quad (4)$$

где  $y$  - расстояние между точкой  $O$  и  $O'$  ( $O$  - точка, равноудаленная от плоскостей коррекции I и II;  $O'$  - точка на пересечении оси ротора и оси S-S)

Угол моментной неуравновешенности  $\gamma$  рассчитывается с помощью алгоритма (см. рис. 7).

Для реализации предложенного метода измерения статической неуравновешенности разработаны и запатентованы устройства. На рисунке 8 показано прецизионное устройство, при котором достигается минимальная погрешность измерения вследствие снижения влияния трения на результат. На рисунке 9 показано устройство для автоматизированного измерения статической неуравновешенности [6].

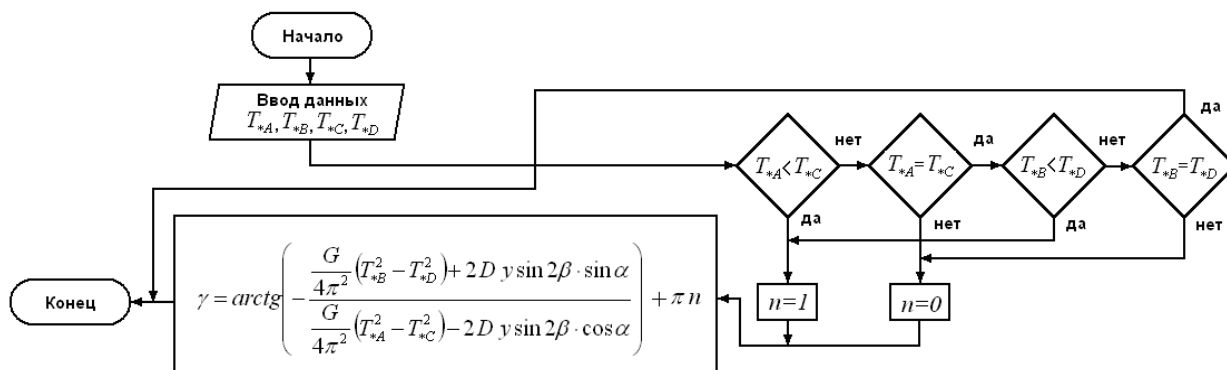


Рис. 7. Алгоритм вычисления угла моментной неуравновешенности

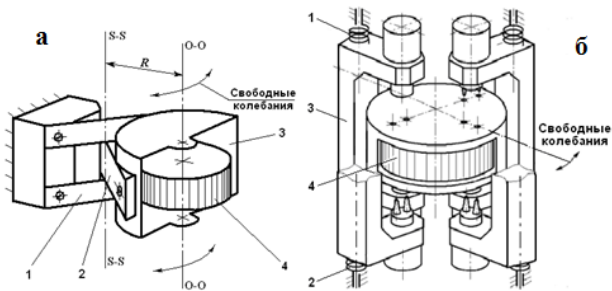


Рис. 8. Устройства для измерения статической неуравновешенности жестких роторов: а – прецизионное устройство; б – автоматизированное устройство; 1 и 2 – упругие элементы; 3 – рама; 4 – ротор

На рисунке 9 показано универсальное устройство раздельного измерения статической и моментной неуравновешенности роторов [6].

Важной отличительной особенностью разработанных методов и устройств измерения неуравновешенностей от

современных аналогов является то, что для их работы не требуется настройка с учетом расположения плоскостей измерения. В процессе измерения не возникают перекосы и выход неуравновешенной массы из плоскости измерения. Отсутствуют разгон, вращение и торможение ротора, а также приводные элементы вращения. Это позволяет экономить электроэнергию, повысить производительность и безопасность труда.

Предложенные методы и средства могут быть внедрены не только на предприятиях-изготовителях компрессорных установок, но и на ремонтных участках предприятий, эксплуатирующих компрессорные установки, например, предприятий стройиндустрии.

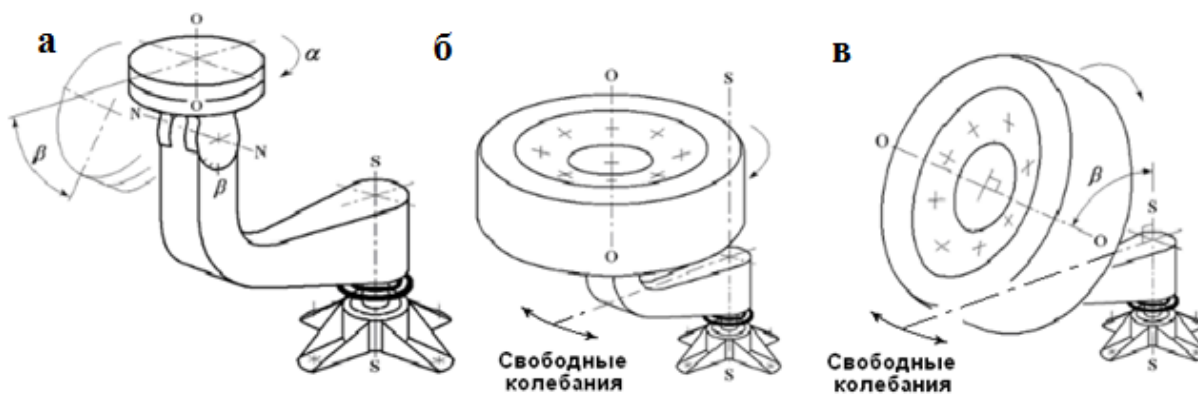


Рис. 9. Универсальное устройство для измерения статической и моментной неуравновешенности жестких роторов дисковой формы: а – общий вид; б – измерение статической неуравновешенности; в – измерение моментной неуравновешенности

**Выводы.** В результате исследования установлено, что на рабочих местах предприятий стройиндустрии часто наблюдаются повышенные уровни шума и

вибрации, вызванные работой компрессорных установок. Основными источниками этих факторов являются неуравновешенные роторы. Существующие

методы и средства измерения предприятий стройиндустрии. В результате неуравновешенностей обладают рядом этого компрессорные установки недостатков, ограничивающих их эксплуатируются с повышенным шумом и эффективность и использование на вибрацией вплоть до полного износа.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана труда в строительстве : учеб. для студ. вузов / Беликов А. С., Сафонов В. В., Нажа П. Н., Чалый В. Г., Шлыков Н. Ю., Шаломов В. А., Рагимов С. Ю. ; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.
2. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний : учеб. пособие для вузов / Я. Г. Пановко – 3-е изд., перераб. – Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 256 с.
3. Справочник проектировщика. Защита от шума / [Е. Я. Юдин, И. Д. Рассадина, В. Н. Никольский и др.] ; под ред. Е. Я. Юдина. – Москва : Стройиздат, 1974. – 134 с.
4. Левит М. Е. Балансировка деталей и узлов / М. Е. Левит, В. М. Рыженков. – Москва : Машиностроение, 1986. – 247 с.
5. Современные методы и средства балансировки машин и приборов / [М. В. Баркан, Т. Т. Гаппоев, А. А. Геркус и др.] ; под общ. ред. В. А. Щепетильникова. – Москва : Машиностроение, 1985. – 232 с.
6. Мамонтов А. В. Методы вибродиагностики неуравновешенных роторов для снижения вибрации и шума производственного оборудования / А. В. Мамонтов // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – № 3. – С. 68–70.

### REFERENCES

1. Belikov A.S., Safonov V.V., Nazha P.N., Chalyj V.G., Shlykov N.Yu., Shalomov V.A. and Ragimov S.Yu. *Oxрана труда v stroitel'stve* [A labour protection in building]. Kiev: Osнова, 2014, 592 p. (in Russian).
2. Panovko Ya.G. *Vvedenie v teoriyu mexanicheskix kolebanij* [Introduction to the theory of mechanical oscillations]. Moskva: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., ed. 3, 1991, 256 p. (in Russian).
3. Yudin E.Ya., Rassadina I. D. and Nikolskij V. N. *Spravochnik proektirovschika. Zashchita ot shuma*. [Handbook of the designer. Noise protection]. Moskva: Stroyizdat, 1974, 134 p. (in Russian).
4. Levit M.E. and Ryizhenkov V. M. *Balansirovka detaley i uzlov* [Balancing of parts and assemblies]. Moskva: Mashinostroenie, 1986, 247 p. (in Russian).
5. Barkan M.V., Gappoev T.T. and Gerkus A.A., ed. by Shhepetil'nikov V.A. *Sovremennyye metody i sredstva balansirovki mashin i priborov* [Modern methods and means of balancing machines and devices]. Moskva: Mashinostroenie, 1985, 232 p. (in Russian).
6. Mamontov A.V. *Metody vibrodiagnostiki neuravnovesennyx rotorov dlya snizheniya vibracii i shuma proizvodstvennogo oborudovaniya* [Methods of vibrodiagnostics of unbalanced rotors for reducing vibration and noise in production equipment]. *Radioelektronika i informatika* [Radioelectronics and Informatics]. 2002, no. 3, pp. 68–70. (in Russian).

Рецензент: Захаров Ю. И. канд. техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 22.12.2017 р.

УДК [614.8:658.3](477)

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.35.64

## СТАН БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ В УКРАЇНІ ТА ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО І ПОБУТОВОГО ТРАВМАТИЗМУ

БЕЛІКОВ А. С.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ШАЛОМОВ В. А.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

РАГИМОВ С. Ю.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

ЧЕРЕДНИЧЕНКО Л. А.<sup>4</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

<sup>3</sup>Кафедра організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна, тел. +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

<sup>4</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1457-9282

**Анотація.** *Мета статті* - аналіз стану виробничого травматизму та професійних захворювань на підприємствах України, а також знаходження шляхів їх зменшення. *Методика.* Комплексне проведення дослідження з визначення основних негативних факторів, які впливають на безпеку праці та є основними причинами травматизму і професійних захворювань. *Результати.* Кафедра проводить науково-дослідницьку роботу за такою тематикою: оцінювання безпеки життєдіяльності за виникнення екстремальних умов (пожежі, аварії, стихійного лиха тощо); зниження горючості та підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій за дії високих температур; безпека життєдіяльності людини в умовах негативного впливу (шум, радіація, інфрачервоне випромінювання); профілактика травматизму та професійних захворювань в умовах виробництва; проведення судово-технічних експертиз у разі виникнення на об'єктах надзвичайних ситуацій, аварій, травматизму, пожежі тощо, а також у науково-технічних програм «Пожежна безпека будинків і споруд», «Підвищення безпеки будівельних об'єктів за рахунок забезпечення нормативного функціонування будівельних матеріалів і конструкцій в екстремальних умовах» згідно з Національною програмою «Поліпшення стану безпеки, гігієни праці і виробничого середовища», «Підвищення вогнестійкості металевих конструкцій за рахунок нанесення вогнезахисних покриттів, що спінуються» та інші. *Наукова новизна.* Вперше проведено загальний аналіз та визначено основні напрямки зниження травматизму в Україні, розроблено теоретичні основи підвищення безпеки та ефективності проведення спеціальних видів робіт в екстремальних ситуаціях під час обвалення будинків і споруд з використанням підйомно-транспортних машин. Проведені дослідження дозволяють знайти нові принципи підходи до побудови розрахунковими методами ізоляції термонапруги та за допомогою комплексу захисних засобів знизити рівень випромінювання на робочих місцях до допустимих значень. *Практична значимість* полягає в обґрунтуванні теоретичних та практичних підходів, спрямованих на зміну негативного стану охорони праці в Україні.

**Ключові слова:** *травматизм; професійні захворювання; теплове випромінювання; шум; надзвичайні ситуації; охорона праці; безпека життєдіяльності*

## СОСТОЯНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА В УКРАИНЕ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО И БЫТОВОГО ТРАВМАТИЗМА

БЕЛИКОВ А. С.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ШАЛОМОВ В. А.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

РАГИМОВ С. Ю.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

ЧЕРЕДНИЧЕНКО Л. А.<sup>4</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov\_v\_a@mail.ru, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

<sup>3</sup>Кафедра организации и технического обеспечения аварийно-спасательных работ Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевская, 94, Харьков, 61023, Украина, тел +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

<sup>4</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1457-9282

**Аннотация.** *Цель статьи* - анализ производственного травматизма и профессиональных заболеваний на предприятиях Украины, а также нахождение путей их уменьшения. *Методика.* Комплексное проведение исследования по определению основных негативных факторов, влияющих на безопасность труда и являющихся основными причинами травматизма и профессиональных заболеваний. *Результаты.* Кафедрой проводится научно-исследовательская работа по следующей тематике: оценка безопасности жизнедеятельности при возникновении экстремальных условий (пожара, аварии, стихийного бедствия и т. п.); снижение горючести и повышение огнестойкости строительных конструкций при воздействии высоких температур; безопасность жизнедеятельности человека в условиях негативного воздействия (шум, радиация, инфракрасное излучение), профилактики травматизма и профессиональных заболеваний в условиях производства; проведение судебно-технических экспертиз при возникновении на объектах чрезвычайных ситуаций, аварий, травматизма, пожара и т. п., а так же по научно-техническим программам «Пожарная безопасность зданий и сооружений», «Повышение безопасности строительных объектов за счет обеспечения нормативного функционирования строительных материалов и конструкций в экстремальных условиях» согласно Национальной программе «Улучшение состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды», «Повышение огнестойкости металлических конструкций за счет нанесения вспучивающихся огнезащитных покрытий» и др. *Научная новизна.* Впервые проведен общий анализ и определены основные направления снижения травматизма в Украине, разработаны теоретические основы повышения безопасности и эффективности проведения специальных видов работ в экстремальных ситуациях при обрушении зданий и сооружений с использованием подъемно-транспортных машин. Проведенные исследования позволяют найти новые принципиальные подходы в построении расчетными методами изолиний термонапряжения и с помощью комплекса защитных средств снизить уровень излучения на рабочих местах до допустимых значений. *Практическая значимость* заключается в обосновании теоретических и практических подходов, направленных на изменение негативного состояния охраны труда в Украине.

**Ключевые слова:** *травматизм; профессиональные заболевания; тепловое излучение; шум; чрезвычайные ситуации; охрана труда; безопасность жизнедеятельности*

## STATUS OF SAFETY OF LIFETIME AND LABOR PROTECTION IN UKRAINE AND WAYS OF REDUCTION OF PRODUCTION AND HOUSEHOLD TRAUMATISM

BELIKOV A. S.<sup>1</sup>, *Dr. Sc(Tech).*, *Prof.*,

SHALOMOV V. A.<sup>2</sup>, *Cand. Sc.(Tech)*, *Assoc. Prof.*,

RAGIMOV S. Yu.<sup>3</sup>, *Cand. Sc.(Tech)*, *Assoc. Prof.*,

CHEREDNICHENKO L. A.<sup>4</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*, *Assoc. Prof.*

<sup>1</sup>Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov\_v\_a@mail.ru, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

<sup>3</sup>Department of Organization and technical support rescue operations National University of Civil Defence of Ukraine, st. Chernyshevsky 94, Kharkiv, 61023, Ukraine, phone +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

<sup>4</sup>Department of Life Safety, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-1457-9282

**Abstract.** *Purpose.* Analysis of the condition of occupational injuries and occupational diseases at enterprises of Ukraine, as well as finding ways to reduce them. *Method.* Comprehensive study on the identification of the main negative factors that affect labor safety and are the main causes of injury and occupational diseases. *Results.* The department conducts research work on the following topics: assessment of the safety of life in the event of extreme conditions (fire, accident, natural disaster, etc.); reduction of combustibility and increase of fire resistance of building structures under the influence of high temperatures; safety of human life in conditions of negative influence (noise, radiation, infrared radiation); prevention of injuries and professional breaks in the conditions of production; conducting forensic examinations in case of emergencies, accidents, injuries, fires, etc. Now the scientists of the department carry out research work on scientific and technical programs "Fire safety of buildings and structures", "Improvement of safety

of construction objects due to provision of normative functioning of building materials and structures in extreme conditions" according to the National Program "Improvement of safety, Occupational Hygiene and Production Environment ", " Increasing the fire resistance of metal constructions due to the application of fire retardant coatings, foaming "and others. **Scientific novelty.** For the first time a general analysis was conducted and the main directions of injury reduction in Ukraine were determined, the theoretical bases for increasing the safety and efficiency of carrying out special types of work in extreme situations during the collapse of buildings and structures using lifting-transport vehicles and special lifting-transport vehicles were developed. The conducted researches allow to find new fundamental approaches in construction of the calculated methods of isolines of a thermal voltage and with the help of a complex of protective means to reduce the level of radiation at workplaces to admissible values. **Practical meaningfulness.** It is in the substantiation of theoretical and practical approaches aimed at changing the negative state of labor protection in Ukraine.

**Keywords:** *injuries; occupational diseases; thermal radiation; noise; emergency situations; occupational safety; safety of life*

**Постановка проблеми.** Як свідчить статистика, в Україні через відсутність належних умов праці, нехтування правилами безпеки, відсутність належного контролю травмується значна частина наших співвітчизників.

**Аналіз публікацій.** Слід зазначити й головні причини травматизму робітників. За даними Держслужби з питань праці, за 12 місяців 2015 року понад 23,6 % нещасних випадків на виробництві (серед загальної кількості в 4 260 випадків) відбулися через невиконання правил безпеки самими робітниками. Інші причини пов'язані з факторами недосконалості організації виробничого процесу. «Лідерами» стали вугільна промисловість (752 випадки, з них 19 летальні), транспортна (369 та 54 відповідно), агропромисловий комплекс (602 та 84 відповідно), металургійна (268 та 14), машинобудівна (311 та 21), будівництво (206 та 35 відповідно) [1].

Незмінним залишається виробничий травматизм в 2016 та 2017 роках. Близько 4,5 тисячі працівників зазнали травм, декілька тисяч – летальних. Практично травматизм зріс за 2 роки на 4 %, кількість летальних випадків на 7 %.

Таке ставлення до охорони праці спричинює значні економічні втрати (до 60 млн грн на рік), впливає на соціальну напруженість, входить у протиріччя зі ст. 43 Конституції України – «Гарантії на безпечні та здорові умови праці». Експерти Міжнародної організації праці (МОП) вважають, що таке становище в Україні не відповідає Нормам організації праці країн ЄЕС і являє собою пряму загрозу фізичному та психологічному здоров'ю населення.

**Мета статті.** В Україні вже протягом десяти років у квітні відзначають Всесвітній День охорони праці. Мета – привернути увагу суспільства до проблем виробничого і побутового травматизму та загибелі людей.

**Виклад основного матеріалу.** Значний внесок у вирішенні питань охорони праці мають давати вищі навчальні заклади, в яких проводяться підготовка молодих спеціалістів та наукові дослідження в галузі охорони праці.

Так, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (ПДАБА), заснована в 1930 році, - провідний вищий політехнічний навчальний заклад України, член Міжнародної асоціації університетів, член Асоціації вищих будівельних навчальних закладів СНД - виконує значний обсяг наукової та науково-методичної роботи. Ціла низка питань з охорони праці пов'язана з розробками кафедри безпеки життєдіяльності.

Кафедра проводить науково-дослідницьку роботу за такою тематикою:

- оцінка безпеки життєдіяльності у разі виникнення екстремальних умов (пожежі, аварії, стихійного лиха тощо);
- зниження горючості та підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій за дії високих температур;
- безпека життєдіяльності людини в умовах негативного впливу (шум, радіація, інфрачервоне випромінювання);
- підвищення безпеки під час виконання робіт, пов'язаних із ліквідацією аварій та стихійних лих;

- профілактика травматизму та професійних захворювань в умовах виробництва;

- проведення судово-технічних експертиз у разі виникнення на об'єктах надзвичайних ситуацій, аварій, травматизму, пожежі тощо.

Наразі науковці кафедри проводять науково-дослідницьку роботу з науково-технічних програм «Пожежна безпека будинків і споруд», «Підвищення безпеки будівельних об'єктів за рахунок забезпечення нормативного функціонування будівельних матеріалів і конструкцій в екстремальних умовах» згідно з Національною програмою «Поліпшення стану безпеки, гігієни праці і виробничого середовища», «Підвищення вогнестійкості металевих конструкцій за рахунок нанесення вогнезахисних покриттів, що спініюються» та ін.

Зважаючи на актуальність для міста, виконано НДР за тематикою Головного архітектурно-планувального управління м. Дніпро «Аналіз еколого-гігієнічної ситуації під час реконструкції житлового фонду п'ятиповерхових будинків перших масових серій забудови з урахуванням безпеки життєдіяльності населення» (д/р № 0103U003110).

Один із факторів, що негативно впливають на безпеку життєдіяльності людини, - це шум. Дослідження спеціалістів-гігієністів встановили, що в місцях зі значними рівнями шумового забруднення зростає захворюваність населення, тому що високі рівні шуму з різних джерел згубно діють на центральну нервову систему, спричиняють розвиток серцево-судинних та інших захворювань, викликають головні болі і дратівливість, порушують обмін речовин, моторну і секреторну функції шлунку, спричиняють виникнення неврозів, порушуючи сон і умови лікування, знижують продуктивність і якість праці [2].

Специфіка багатоповерхової, малоповерхової і садибної забудови, їх акустична прозорість, особливості сучасних джерел міського шуму, недостатність досліджень і оцінювання забруднення, відсутність рекомендацій із шумозахисту в

різних планувальних ситуаціях визначають актуальність проведення досліджень.

Практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні спрощення акустичних розрахунків шумового режиму магістральних вулиць та доріг шляхом наведення рівнів шуму у вигляді класів із розбивкою через 5дБА; введення цілої низки показників і критеріїв, які формують соціально-еколого-економічну ситуацію (СЕЕС) за фактором шуму в умовах примагістральних територій (ПМТ), що дозволяє оцінювати шумовий режим та вести підбір і обґрунтування шумозахисних засобів; розроблення еталонів для побудови карт шуму житлових мікрорайонів; визначення шумових характеристик вулиць та доріг м. Дніпро в регламентовані періоди доби; розроблення методики обґрунтування варіантів під час планування та забудови мікрорайонів з урахуванням економічних втрат за фактором шуму; розроблення інженерного методу оцінювання соціально-еколого-економічної ситуації за фактором шуму, що дозволяє оцінити якість безпеки життєдіяльності працюючих та населення примагістральних територій.

Окремі положення і результати роботи знадобилися для розроблення: концепції розвитку м. Дніпро «Аналіз еколого-гігієнічної ситуації під час реконструкції житлового фонду п'яти поверхових будинків перших масових серій забудови» (Голова АПУ).

Відповідно до Закону України «Про захист людини від іонізуючих випромінювань» (м. Київ № 15 / 98-ВР) в межах регіональної цільової програми «Забезпечення радіаційної безпеки техногенно підвищених джерел природного походження регіону» (рішення голови Дніпропетровської облдержадміністрації № 143 від 20.11.2000 р.) і НДР д/б №1 «Розробка теоретичних положень і практичних методик зниження факторів ризику для будівельних проектів ресурсами» (д/р № 01001U003684) проведено наукову роботу з оцінювання радіаційної небезпеки для населення м. Дніпро.

Безпека людини повинна забезпечуватися на всіх етапах її

життєдіяльності. Відсутність досліджень, направлених на зниження радіаційної небезпеки, спричинює великі втрати, не тільки соціальні й економічні, а призводять навіть втрати генофонду українського народу [3].

Практичне значення отриманих результатів таке:

- отримала подальший розвиток система методів визначення радоновиділення з підстилкових ґрунтів, з урахуванням рівня радіаційної безпеки на дослідній території;

- уперше на основі проведених дослідів дано класифікацію радононебезпеки ґрунтів і проведено вибір основних захисних засобів;

- проведено дослідження радоновиділення підстилкових ґрунтів на території Соборного району м. Дніпро на ділянках 300 × 300 м, отримані дані покладено в основу системи радіаційного моніторингу будівельного виробництва міста;

- розроблено методика радіаційної безпеки в приміщеннях, яку покладено в основу реалізації захисних засобів згідно із соціально-економічними вимогами концепції радіаційного захисту людини, впроваджено на низці підприємств м. Дніпро (НВО «Созидатель»; ЗАТ «Дніпрокапрембуд» й ін.);

- обґрунтовано економічну та соціальну необхідність використання захисних засобів зі зменшення іонізуючого джерела радіаційного фону в приміщеннях будинків.

Особливо актуальна безпека уранового виробництва для України. В проектних інститутах на разі вводиться система комплексного оцінювання безпечної роботи таких об'єктів.

Розробка інженерних рішень з охорони праці в НТП закріплена законодавчо в Законах України «Про охорону праці», «Про розробку та переробку уранових руд», «Про пожежну безпеку», «Про забезпечення санітарного і епідеміологічного благополуччя населення», «Гірничий Закон» та ДБН А.2.2-397. Установлено приблизний склад та зміст розділу «Охорона праці» в проектах на будівництво об'єктів. Спільно з проектним інститутом (м. Жовті Води, інженер В. Д. Кузьминський) та кафедри

безпеки життєдіяльності ПДАБА на основі обробки й аналізу матеріалів інженерних рішень, прийнятих у частинах проекту з питань безпечної діяльності та проектування підприємства, дано оцінку безпеки промислового підприємства з урахуванням проведення НДР, екологічних дослідів, радіологічного моніторингу, вивчення впливу об'єкта на навколишнє середовище, розроблення та впровадження нових технологій, які забезпечують зниження екологічного навантаження. Розробляється програма науково-дослідницьких робіт із вирішення проблем поліпшення радіаційного стану регіонів у місцях розміщень уранових об'єктів.

Згідно із Законом України «Про забезпечення санітарного благополуччя населення» та на замовлення підприємств Запорізької області ведеться науково-дослідницька робота з вивчення впливу інфрачервоного випромінювання на робочих місцях різних технологічних процесів, пов'язаних із високим тепловиділенням [4].

На сьогодні в Україні понад 3 млн робітників працюють в умовах із порушенням санітарно-гігієнічних норм, що призводить до масових професійних захворювань. Оцінювання негативного впливу інфрачервоного (ІЧ) випромінювання на людину і захист від нього - необхідна умова збереження здоров'я і безпеки життєдіяльності. Проведені дослідження дозволяють знайти нові принципові підходи до побудови розрахунковими методами ізоляцій термонапруги та за допомогою комплексу захисних засобів знизити рівень випромінювання на робочих місцях до допустимих значень.

У зв'язку зі зведенням висотних будинків і споруд виникла проблема розроблення перспективних заходів захисту та підготовки монтажників-висотників для ведення робіт на висоті. На основі теоретичних та експериментальних досліджень співробітники кафедри розробили конструкції висотних тренажерів та визначили критерії оцінювання параметрів безпеки під час виконання цих робіт.



Результати проведених досліджень і промислових випробувань дозволили одержати соціально-економічний ефект у вигляді зниження рівня виробничого травматизму на висотних об'єктах будівельної компанії РБУ-107 м. Севастополь, на 60 %.

Дослідно-промислове впровадження висотного комплексу і розроблена на підставі експериментальних досліджень методика його експлуатації дозволили рекомендувати запропоновані розробки й методики досліджень для створення Центру підготовки монтажників-висотників в Україні.

Відсутність підтримки у належному стані експлуатаційних параметрів будівель та споруд, а також технологічного обладнання, порушення норм та правил виконання технологічних процесів зумовлюють виникнення різноманітних екстремальних ситуацій, за яких відбувається руйнування обладнання, будівельних конструкцій та споруд у цілому. Для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС), відновлення та ремонту об'єктів, що зазнали аварій, підготовлено спеціальні підрозділи. До їх завдань входить: демонтаж та монтаж будівельних конструкцій і технологічного обладнання; розбирання завалів; ліквідація аварійних ситуацій; рятування людей тощо.

На основі проведених досліджень встановлено закономірності руйнування, внаслідок виникнення НС, будівельних конструкцій і утворення уламків за обсягом та масою залежно від конструктивної схеми, серії житлових будинків, що дозволяє прогнозувати вибір засобів механізації та їх безпечно використання для ефективного виконання робіт [5].

Уперше розроблено теоретичні основи підвищення безпеки та ефективності проведення спеціальних видів робіт в екстремальних ситуаціях в умовах обвалення будинків і споруд із використанням підйомно-транспортних машин і спеціальних підйомно-транспортних механізмів.

Кафедра безпеки життєдіяльності спільно з Дніпропетровським інститутом

судових експертиз Міністерства юстиції України розробляє методики для проведення судових інженерно-технічних експертиз із безпеки життєдіяльності, охорони праці, пожежної безпеки та проводить цілий комплекс експертних досліджень згідно з постановами прокуратури, судових інстанцій та Міністерства внутрішніх справ.

На кафедрі ведеться підготовка інженерних та наукових кадрів із питань охорони праці.

**Висновки.** В той же час вважаємо, що поліпшити стан охорони праці в Україні повинні комплексні заходи на рівні держави. Це:

- підготовка державних службовців із питань безпеки життєдіяльності, охорони праці та цивільного захисту для центральних та адміністративних органів влади;
- підготовка спеціалістів у галузі безпеки життєдіяльності, охорони праці та цивільного захисту в вищих навчальних закладах з урахуванням специфіки виробництва.

У цьому велике значення має Постанова МОН України про призначення Науково-методичної комісії 13 (з військових наук, національної та цивільної безпеки) та створення проектних груп для підготовки Стандартів вищої освіти України – галузь знань 26 «Цивільна безпека», спеціальність 263 «Цивільна безпека» таких рівнів вищої освіти: бакалавр, магістр, доктор філософії. Стандартами вищої освіти, які перебувають у стадії розроблення та затвердження, зазначені профільні спеціалізовані освітньо-професійні програми підготовки здобувачів вищої освіти.

Назріла необхідність врегулювання питання трудових відносин.

Як свідчить статистика, кожний третій смертельний випадок пов'язаний з виконанням працівниками згідно із цивільним договором робіт «на ризик працівника». Настав час відмітити ст. 837 Цивільного кодексу та внести доповнення в нормативно-законодавчу базу України про недопустимість укладання цивільних договорів.

Необхідно підвищити рівень відповідальності роботодавців за забезпечення безпечних і здорових умов праці у разі встановлення причинно-наслідкового зв'язку з травмуванням та загибелю працівників.

Необхідно повернути відповідальність органів Державного нагляду з питань охорони праці, що значною мірою повинно змінити статистику травматизму в Україні та підняти роль Державного управління в сфері безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Травматизм на виробництві // Державна служба України з питань праці : офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <http://dsp.gov.ua/statystychni-dani-vyrobnychoho-travma-2/>.
2. Охрана труда в строительстве : учеб. для студ. вузов / Беликов А. С., Сафонов В. В., Нажа П. Н., Чалый В. Г., Шлыков Н. Ю., Шаломов В. А., Рагимов С. Ю. ; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.
3. Радиационная безопасность зданий и сооружений с учетом инновационных направлений в строительстве / Беликов А. С., Калда Г. С., Пилипенко А. В., Соколов И. А., Рагимов С. Ю. ; под общ. ред. А. С. Беликова. – Днепропетровск : Середняк Т. К., 2013. – 367 с.
4. Исследование термодинамической напряженности на рабочих местах при воздействии высоких температур : монография / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, Э. Е. Стрежекуров, В. А. Собина, Д. П. Дубинин, В. А. Шаломов. – Днепр : Литограф, 2016. – 163 с.
5. Обеспечение безопасности при выполнении работ повышенной опасности / А. С. Беликов, О. А. Сабитова, В. А. Голендер, Н. В. Долгополова, В. А. Шаломов // International scientific journal = Международный научный журнал. – 2015. – № 2. – С. 144–158. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj\\_2015\\_2\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2015_2_27).

## REFERENCES

1. *Travmatyzm na vyrobnytstvi* [Traumatism in the workplace]. *Derzhavna sluzhba Ukrainy z pytan pratsi* [Civil Service of Ukraine on Labor]. Available at: <http://dsp.gov.ua/statystychni-dani-vyrobnychoho-travma-2/>. (in Ukrainian).
2. Belikov A.S., Safonov V.V., Nazha P.N., Chalyiy V.G., Shlyikov N.Yu., Shalomov V.A. and Ragimov S.Yu. *Oxrana truda v stroitelstve* [A labour protection is in building]. Kiev: Osнова, 2014, 592 p. (in Russian).
3. Belikov A.S., Kalda G.S., Pilipenko A.V., Sokolov I.A. and Ragimov S.Yu. *Radiacionnaya bezopasnost' zdaniy i sooruzhenij s uchetom innovatsionnykh napravlenij v stroitelstve* [Radiation safety of buildings and structures taking into account the innovative trends in construction]. Dnepropetrovsk: Serednyak T.K., 2013, 367 p. (in Russian).
4. Belikov A.S., Ragimov S.Yu., Shalomov V.A., Strezhekurov Ye.E., Sobina V.A. and Dubinin D.P. *Issledovanie termodinamicheskoy napryazhennosti na rabochix mestax pri vozdejstvii vysokix temperatur* [The study of thermodynamic tension in the workplace under the influence of high temperatures]. Dnipro: Litograf, 2016, 163 p. (in Russian).
5. Belikov A.S., Sabitova O.A., Golender V.A., Dolgopolova N.V. and Shalomov V.A. *Obespechenie bezopasnosti pri vypolnenii rabot povyshennoj opasnosti* [Ensuring the security of the works of increased danger]. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal* [International Journal]. 2015, no. 2, pp. 144–158. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj\\_2015\\_2\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2015_2_27). (in Russian).

Рецензент: Савицький М. В., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 28.12.2017 р.

УДК 669.112.227.1[669.15-194]:669-158

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.34.38

## ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ РОЗПАДУ АУСТЕНИТУ І ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СТАЛІ С82D<sup>CrV</sup> ЗА БЕЗПЕРЕРВНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

ПАРУСОВ Е. В.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, с. н. с.,

ГУБЕНКО С. І.<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.,

КЛИМЕНКО А. П.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, с. н. с.,

ЧУЙКО І. М.<sup>4</sup>, канд. техн. наук,

САГУРА Л. В.<sup>5\*</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

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

<sup>3</sup>Український державний хіміко-технологічний університет, пр. Гагаріна 8, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38(056) 778-26-41, e-mail: klimentko\_a\_p@ukr.net

<sup>4</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ferrosplav@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

<sup>5\*</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України, пл. Академіка Стародубова, 1, м. Дніпро, 49107, Україна, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: slv\_metal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

**Анотація. Постановка проблеми.** Оскільки охолодження металопрокату за деформаційно-термічної обробки в реальному виробничому процесі відбувається, як правило, не в ізотермічних умовах, а за безперервного зниження температури, вивчення розпаду аустеніту за безперервного охолодження має велике практичне значення. **Мета** - вивчення особливостей кінетики розпаду аустеніту і встановлення закономірностей формування структури сталі С82D<sup>CrV</sup> за безперервного охолодження з різними швидкостями від підвищених температур попереднього нагріву. **Результати.** Вивчено кінетику перетворень і побудовано термокінетичну діаграму (ТКД) розпаду переохолодженого аустеніту сталі С82D<sup>CrV</sup> (EN ISO 16120-2:2011), легованої хромом і ванадієм, від температури нагріву 1 040° С. Для побудови ТКД застосовано метод диференційно-термічного аналізу, з використанням еталонного зразка. Встановлено найбільш ефективні інтервали швидкостей повітряного охолодження, які дозволяють забезпечити формування не менше 90 % сорбітоподібного перліту в структурі прокату, виключити виділення надлишкової фази (цементит вторинний) і структур, що утворюються за проміжним і зсувним механізмами. Результати досліджень промислово впроваджені для розроблення науково обґрунтованого режиму охолодження бунтового прокату діаметром 8,0...12,0 мм зі сталі С82D<sup>CrV</sup> на лінії Стелмор у потоці безперервного дрібносортодротового стану 320/150.

**Ключові слова:** кінетика перетворень аустеніту; структура; бунтовий прокат; високовуглецева сталь; швидкість охолодження

## ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ РАСПАДА АУСТЕНИТА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СТАЛИ С82D<sup>CrV</sup> ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

ПАРУСОВ Э. В.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, с. н. с.,

ГУБЕНКО С. И.<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.,

КЛИМЕНКО А. П.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, с. н. с.,

ЧУЙКО И. Н.<sup>4</sup>, канд. техн. наук,

САГУРА Л. В.<sup>5\*</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Інститут черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, Днепро, 49107, Украина, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

<sup>2</sup>Национальная металлургическая академия Украины, кафедра материаловедения им. Ю. Н. Тарана-Жовнира, пр. Гагарина, 4, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 374-83-57, e-mail: sigubenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5427-1154

<sup>3</sup>Украинский государственный химико-технологический университет, пр. Гагарина 8, Днепро, 49005, Украина, тел. +38(056) 778-26-41, e-mail: klimentko\_a\_p@ukr.net

<sup>4</sup>Інститут черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, Днепро, 49107, Украина, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ferrosplav@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

<sup>5\*</sup>Інститут черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины, пл. Академика Стародубова, 1, Днепро, 49107, Украина, тел. +38 (056) 776-82-28, e-mail: slv\_metal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

**Аннотация. Постановка проблемы.** Поскольку охлаждение металлопродукта при деформационно-термической обработке в реальном производственном процессе происходит, как правило, не в изотермических

условиях, а при непрерывном снижении температуры, изучение распада аустенита при непрерывном охлаждении имеет большое практическое значение. **Цель** - изучение особенностей кинетики распада аустенита и установление закономерностей формирования структуры стали C82D<sup>CrV</sup> при непрерывном охлаждении с различными скоростями от повышенных температур предварительного нагрева. **Результаты**. Изучена кинетика превращений и построена термокинетическая диаграмма (ТКД) распада переохлажденного аустенита стали C82D<sup>CrV</sup> (EN ISO 16120-2:2011), легированной хромом и ванадием от температуры нагрева 1 040 °С. При построении ТКД использован метод дифференциально-термического анализа, с использованием эталонного образца. Установлены наиболее эффективные интервалы скоростей воздушного охлаждения, которые позволяют обеспечить формирование не менее 90 % сорбитообразного перлита в структуре проката, исключить выделение избыточной фазы (цементит вторичный) и структур, образующихся по промежуточному и сдвиговому механизмам. Результаты исследований получили промышленное внедрение при разработке научно обоснованного режима охлаждения бунтового проката диаметром 8,0...12,0 мм из стали C82D<sup>CrV</sup> на линии Стелмор в потоке непрерывного мелкосортнопроволочного стана 320/150.

**Ключевые слова:** кинетика превращений аустенита; структура; бунтовой прокат; высокоуглеродистая сталь; скорость охлаждения

## FEATURES OF KINETICS OF DESTROYING AUSTENITE AND THE REGULARITIES OF FORMATION OF THE C82D<sup>CrV</sup> STEEL STRUCTURE DURING CONTINUOUS COOLING

PARUSOV E. V.<sup>1</sup>, Ph. D., Senior Researcher,  
GUBENKO S. I.<sup>2</sup>, Dr. Sc.(Tech.), Prof.,  
KLIMENKO A. P.<sup>3</sup>, Ph. D., Senior Researcher,  
CHUIKO I. N.<sup>4</sup>, Ph. D.,  
SAHURA L. V.<sup>5\*</sup>, Ph. D.,

<sup>1</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro, 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: tometal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4560-2043

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

<sup>3</sup>Ukrainian State University of Chemical Technology, Gagarin Ave., 8, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38(056) 778-26-41, e-mail: klimenko\_a\_p@ukr.net

<sup>4</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro, 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: ferrosplav@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4753-614X

<sup>5\*</sup>Iron and Steel Institute named Z. I. Nekrasov of the National Academy of Science of Ukraine, sq. Ac. Starodubov, 1, Dnipro, 49107, Ukraine, tel. +38 (056) 776-82-28, e-mail: slv\_metal@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2614-0322

**Annotation. Formulation of the problem.** Since the cooling of rolled metal under deformation-thermal treatment in a real production process occurs not in isothermal conditions, but with a continuous temperature decrease, the study of the decay of austenite under continuous cooling is of great practical importance. **Purpose.** Investigation of the kinetics of the decay of austenite, as well as the regularities in the formation of the structure of C82D<sup>CrV</sup> steel during continuous cooling with different rates from an elevated heating temperature. **Results.** The kinetics of the transformations was studied and a continuous cooling transformation diagram (CCTD) of the decomposition of supercooled austenite of C82D<sup>CrV</sup> steel (EN ISO 16120-2:2011) alloyed chromium and vanadium from the heating temperature 1040 °C was constructed. When constructing the TCD, the differential thermal analysis method was used, using a reference sample. The most effective intervals of air cooling rates have been established, which make it possible to form at least 90 % of sorbit in the rolled product structure, exclude the release of the excess phase (cementite secondary), and the appearance of structures formed by intermediate and shear mechanisms. The results of the research have been industrialized when developing the cooling mode for wire rod with a diameter of 8.0...12.0 mm from steel C82D<sup>CrV</sup> on the Stelmor line in the flow of a continuous fine-wire mill 320/150: the temperature of the rolling formation on the Stelmor line must be at least 1040 °C, further accelerated air cooling of the metal turns on the conveyor should be carried out at a rate of not less than 13 °C/sec and not more than 20 °C/sec to a temperature range of 570...540 °C followed by quasi-isothermal exposure under heat-insulating covers.

**Keywords:** kinetics of austenite transformation; structure; wire rod; high-carbon steel; cooling rate

**Постановка проблеми.** Оскільки охолодження металопрокату за деформаційно-термічної обробки в реальному виробничому процесі відбувається, як правило, не в ізотермічних умовах, а за безперервного зниження температури, вивчення розпаду

аустеніту за безперервного охолодження має велике практичне значення. Особливості формування структури металопрокату за безперервного охолодження оцінюють за результатами лабораторних досліджень із застосуванням різних методів (термічного,

мікроструктурного, дилатометричного і диференційно-термічного аналізу). Основні труднощі у проведенні досліджень пов'язані з тим, що в процесі охолодження зниження температури в різних зонах досліджуваних зразків відбувається не монотонно, а підпорядковується певному закону, у зв'язку з чим доводиться розраховувати або середню швидкість охолодження, або приймати її величину за якоїсть певної температури.

Для побудови термокінетичної діаграми (ТКД) на неї наносять криві охолодження, відмічають інтервали, а також вказують температури початку і закінчення фазового перетворення. Такі діаграми зручні для практичного використання і дозволяють із максимальною достовірністю визначити температурні інтервали фазових перетворень і структуру металопрокату за охолодження в реальних промислових умовах.

У зарубіжній практиці деякі дослідники для побудови тієї чи іншої діаграми розпаду аустеніту використовують натурні зразки, на відміну від дилатометричного методу, коли беруться зразки діаметром не більше 3,0...4,0 мм. Така особливість дозволяє більш повно враховувати прояв масштабного фактора - фактичної зміни швидкості охолодження.

Одне з головних завдань сучасного металознавства - створення наукових основ контрольованого управління процесами формування структури в металах і сплавах для отримання найбільш ефективного поєднання механічних властивостей готових виробів.

У праці [7] зазначено, що наразі істотно виріс попит на високоміцний бунтовий прокат із вуглецевих сталей, який піддається холодній пластичній деформації з великими ступенями обтиску. Такий металопрокат, у більшості випадків, використовується в будівельній індустрії для виробництва різних виробів високої міцності. Незважаючи на те, що більшість технологічних рішень успішно впроваджені у виробництво бунтового прокату, призначеного для отримання високоміцних виробів [10], розвиток технічного прогресу ставить усе нові завдання перед підприємствами металовиробів щодо підвищення рівня міцності вихідної сировини

(бунтового прокату), безперервно охолодженого з прокатного нагріву.

У більшості випадків в умовах національних металургійних підприємств досягнутий рівень якості бунтового прокату недостатній для отримання більш високих класів міцності готової продукції, а підприємства металовиробів стикаються з необхідністю поліпшення структури металу за допомогою проведення енерговитратної і екологічно шкідливої термічної обробки - патентування.

Досвід провідних європейських металургійних підприємств свідчить, що досягти ефективного підвищення класу міцності бунтового прокату з використанням тепла прокатного нагріву можливо в разі додаткового введення у сталь карбідотвірних елементів - хрому і/або ванадію [11]. Аналіз технічної літератури з вивчення процесів структуроутворення в бунтовому прокаті з високовуглецевих сталей, в тому числі легованих хромом і/або ванадієм, показав відсутність достовірних даних, пов'язаних з особливостями кінетики розпаду аустеніту і закономірностями формування структури в раціональних інтервалах швидкостей безперервного охолодження металу з прокатного нагріву.

З огляду на зростаючий світовий попит на високоміцний бунтовий прокат і беручи до уваги угоду між Європейським Союзом і Україною про зону вільної економічної торгівлі, розроблення та промислове освоєння науково обґрунтованої технології виробництва бунтового прокату з підвищеними показниками міцності дозволить вступити в конкурентну боротьбу з іноземними виробниками і гідно представляти національну металопродукцію на світових ринках збуту.

**Мета дослідження** вивчення особливостей кінетики розпаду аустеніту і встановлення закономірностей формування структури сталі С82D<sup>CrV</sup> за безперервного охолодження з різними швидкостями від підвищених температур попереднього нагріву.

**Матеріал і методика дослідження.** Для проведення досліджень використано зразки від промислової партії бунтового прокату

діаметром 11,0 мм сталі C82D<sup>CrV</sup>, хімічний склад якої наведено в таблиці 1.

За аналогією з працею авторів [7] температуру нагрівання зразків для побудови ТКД вибрали на 90...170° С вище від тих, що традиційно використовуються на практиці [4-7]. Температура нагріву зразків становила 1 040 °С. Фазові перетворення досліджували за допомогою методу

диференційно-термічного аналізу на натурних зразках бунтового прокату з використанням хромель-алюмелевих термопар, закарбованих у центральну частину зразків [5]. Металографічний аналіз проводили на оптичних світлових мікроскопах (Neophot-32 і Axiovert M200 MAT) у відповідності з вимогами ГОСТ 8233-56 і EN 16120-1:2011.

Таблиця 1

Хімічний склад сталі C82D<sup>CrV</sup> (EN ISO 16120-2:2011)

Хімічний склад, % мас.									
C	Mn	Si	P	S	Cr	V	Ni	Cu	N
0,83	0,70	0,18	0,012	0,003	0,15	0,05	0,05	0,09	0,006

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результати досліджень кінетики розпаду аустеніту сталі C82D<sup>CrV</sup> за безперервного охолодження з різними швидкостями узагальнені і наведені у вигляді ТКД на рисунку 1.

Критичні точки A<sub>1</sub> і A<sub>cm</sub> сталі, що досліджувалась, визначені як середнє арифметичне за результатами трьох вимірів, значення яких склали 731 °С і 832 °С відповідно. Під час вивчення особливостей розпаду аустеніту сталі C82D<sup>CrV</sup> температура нагріву зразків становила 1 040 °С.

Відомо, що у разі охолодження заевтектоїдних сталей з пересиченого вуглецем аустеніту виділяється цементит вторинний, кількість і характер виділення якого залежать від умов нагрівання і швидкості подальшого охолодження [2].

У випадку охолодження досліджуваних зразків зі швидкостями 5 °С/с і менше розпад переохолодженого аустеніту починається з виділення вторинного цементиту по межах аустенітних зерен. За мінімальної швидкості охолодження (0,09 °С/с) перетворення аустеніту починається з виділення цементиту вторинного в інтервалі температур 810...700 °С.

На рисунку 2 наведено характерну структуру досліджуваних зразків, охолоджених зі швидкістю 0,09 °С/с. Виділення розірваної цементитної сітки по межах зерен у кількісному вираженні становить не більше 1,0 %. Скоріше за все, це - наслідок легування сталі хромом і ванадієм, які, як відомо, являють

собою сильні карбідотвірні елементи і можуть утворювати карбіди типу: VC, VN, CrN, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> та їх комплексні сполуки [14].

У даному випадку вплив зазначених легуючих елементів на зниження виділення надлишкової фази (цементит вторинний) по межах аустенітних зерен аналогічний впливу бору в сталі C86D [13] і C82D<sup>Cr</sup> [7]. Додатковими факторами, які можуть зумовлювати мале кількісне виділення надлишкової фази на межах зерен, очевидно, виступають: підвищена температура нагріву, за якої більш повно відбувається гомогенізація хімічного складу сталі C82D<sup>CrV</sup> і зростання аустенітних зерен, що спостерігається за температури 975 °С.

За швидкості охолодження 0,11 °С/с температурний інтервал виділення цементиту вторинного не змінюється і відповідає діапазону 810...700 °С, а кількість цементиту вторинного, що виділився на межах аустенітних зерен, у процентному співвідношенні фаз складає менше 1,0 %.

В інтервалі швидкостей охолодження 0,09...0,9 °С/с розпад переохолодженого аустеніту відбувається за дифузійним механізмом з утворенням перліту різного ступеня дисперсності. За швидкості охолодження 0,09 °С/с утворення перліту починається за температури 658 °С, а закінчується за температури 646 °С. Структура сталі C82D<sup>CrV</sup> після охолодження зі швидкістю 0,09 °С/с містить ~ 73 % сорбітоподібного перліту і 27 % перліту 2...6 балів (рис. 3, а).

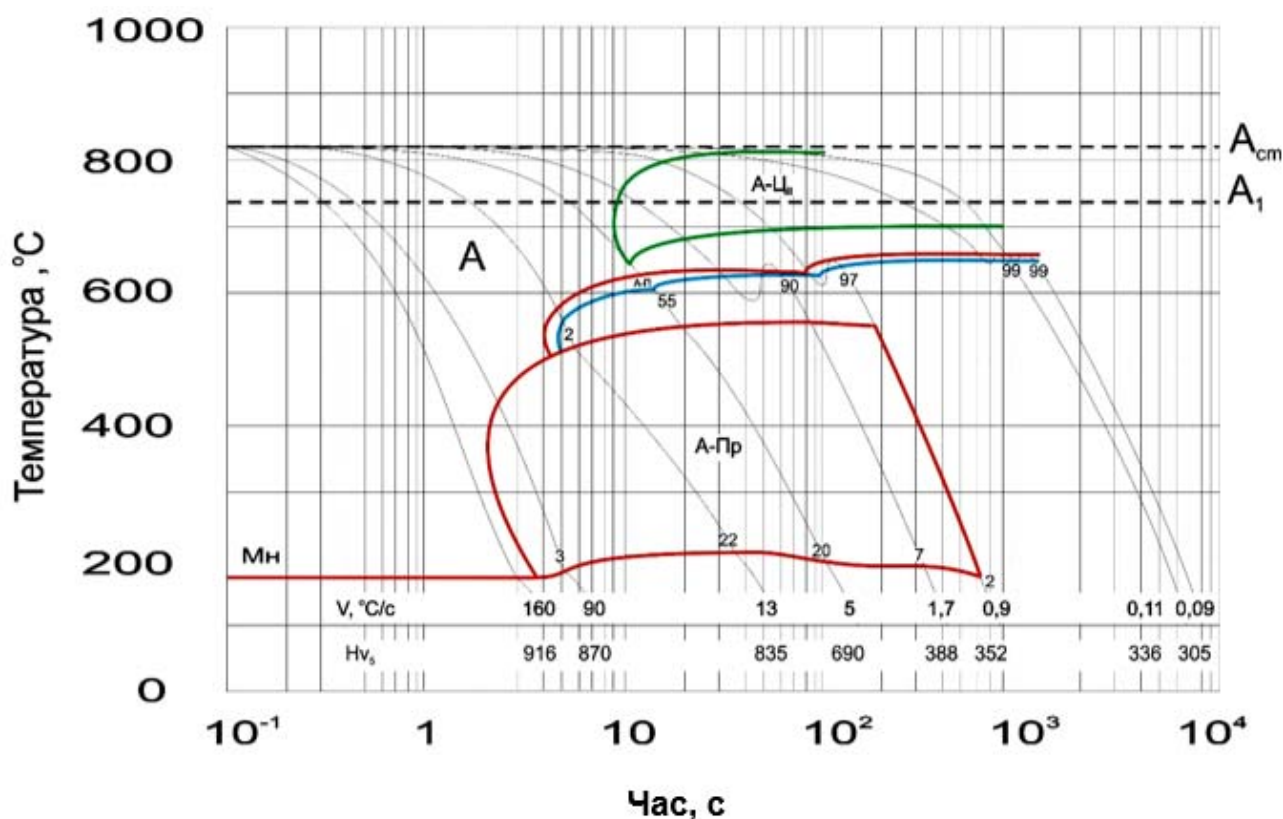


Рис. 1. Термокінетична діаграма розпаду аустеніту сталі  $C82D^{CrV}$  за безперервного охолодження з різними швидкостями

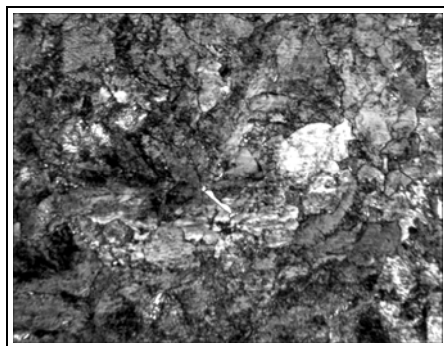


Рис. 2. Структура ( $\times 500$ ) сталі  $C82D^{CrV}$  після нагріву до температури  $1040\text{ }^\circ\text{C}$  і безперервного охолодження зі швидкістю  $0,09\text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$

За швидкості охолодження  $0,11\text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$ , по аналогії зі швидкістю  $0,09\text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$ , утворення перліту починається за температури  $658\text{ }^\circ\text{C}$ , а закінчується при  $646\text{ }^\circ\text{C}$ . Структура сталі  $C82D^{CrV}$  після охолодження складається з  $\sim 75\%$  сорбітоподібного перліту і  $25\%$  перліту 2...6 балів (рис. 3, б).

Для досліджуваного інтервалу швидкостей охолодження, в якому розпад переохолодженого аустеніту відбувається за дифузійним механізмом, температури

початку і кінця перетворень залишаються майже незмінними, так само як і температурні інтервали виділення надлишкової фази (цементиту вторинного).

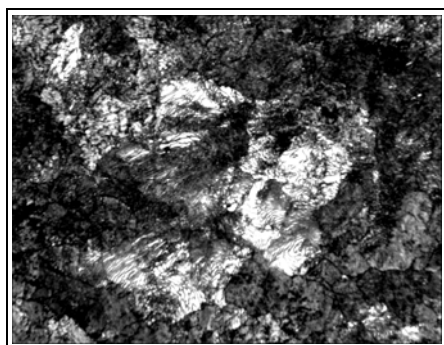
Під час переходу через граничне значення швидкості охолодження  $0,9\text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$  спостерігається принципова зміна кінетики розпаду аустеніту: перлітне перетворення починається за температури  $628\text{ }^\circ\text{C}$ , при цьому продовжує виділятися тепло фазових перетворень. Дифузійний розпад аустеніту закінчується за температури  $640\text{ }^\circ\text{C}$ , очевидно, тому, що кількість тепла, що відводиться під час охолодження, перевищує кількість тепла рекалесценції [9]. За температури  $550\text{ }^\circ\text{C}$  аустеніт, що залишився, розпадається за проміжним механізмом на бейніт, а за температури розпаду  $172\text{ }^\circ\text{C}$  утворюється мартенсит.

Структура сталі  $C82D^{CrV}$  складається з  $\sim 93\%$  сорбітоподібного перліту,  $3\%$  бейніту, менше  $1\%$  цементиту вторинного, а також мартенситу і аустеніту залишкового (рис. 4, а).

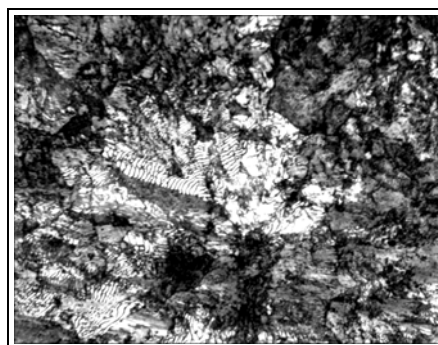


У процесі охолодження зразків зі швидкостями 1,7 і 5 °C/c розпад аустеніту відбувається за різними механізмами: в інтервалі температур 628...605 °C

утворюється перліт після виділення цементиту вторинного, а за більш низьких температур утворюються бейніт, мартенсит, крім того, присутній аустеніт залишковий.



а



б

Рис. 3. Структура ( $\times 500$ ) сталі  $C82D^{CrV}$  після нагріву до температури 1 040 °C і безперервного охолодження з різними швидкостями: а – 0,09 °C/c; б – 0,11 °C/c

Із підвищенням швидкості охолодження до 5 °C/c кількість продуктів розпаду, що утворюються за дифузійним механізмом зменшується, а за проміжним – зростає. Так, у результаті охолодження зразків зі швидкістю 1,7 °C/c структура сталі  $C82D^{CrV}$  складається з ~ 90 % перліту, 7 % бейніту, решта – мартенсит і аустеніт залишковий (рис. 4, б); за охолодження зі швидкістю 5 °C/c – з ~ 55 % перліту, 20 % бейніту, решта – мартенсит і аустеніт залишковий (рис. 4, в).

Розпад аустеніту з утворенням перліту, бейніту і мартенситу без попереднього виділення цементиту вторинного відбувається в інтервалі швидкостей охолодження 5...20 °C/c.

За швидкості охолодження 13 °C/c перлітне перетворення відбувається в інтервалі температур 575...556 °C. Розпад аустеніту за проміжним механізмом і зазначеною швидкістю охолодження починається за 520 °C і триває до 210 °C, після чого відбувається мартенситне перетворення. Структура сталі  $C82D^{CrV}$  складається з ~ 2 % перліту, 22 % бейніту, решта – мартенсит і аустеніт залишковий (рис. 4, г).

В інтервалі швидкостей охолодження 20...136 °C/c розпад аустеніту відбувається

за проміжним і зсувним механізмами з утворенням бейніту і мартенситу, при цьому з підвищенням швидкості охолодження кількість бейніту поступово зменшується.

За швидкості охолодження 90 °C/c температура початку бейнітного перетворення істотно знижується і становить 435 °C, перетворення триває до температури 180 °C, після чого реалізується зсувний механізм з утворенням мартенситу. Структура сталі  $C82D^{CrV}$  складається з ~ 3 % бейніту, решта – мартенсит і аустеніт залишковий (рис. 4, д).

Швидкість охолодження, за якої аустеніт повністю переохолоджується до точки  $M_n$  і перетворюється на мартенсит, відповідає 136 °C/c. Охолодження з такою швидкістю зумовлює зсувний механізм розпаду аустеніту й утворення голчастого мартенситу 6...8 балів за ГОСТ 8233-56 (рис. 4, е). Перетворення починається за температури 172 °C і триває аж до кімнатної температури. Однак з огляду на те, що температура закінчення мартенситного перетворення перебуває в області від'ємних температур, у структурі сталі  $C82D^{CrV}$  фіксується від 2,0 до 4,0 % аустеніту залишкового.

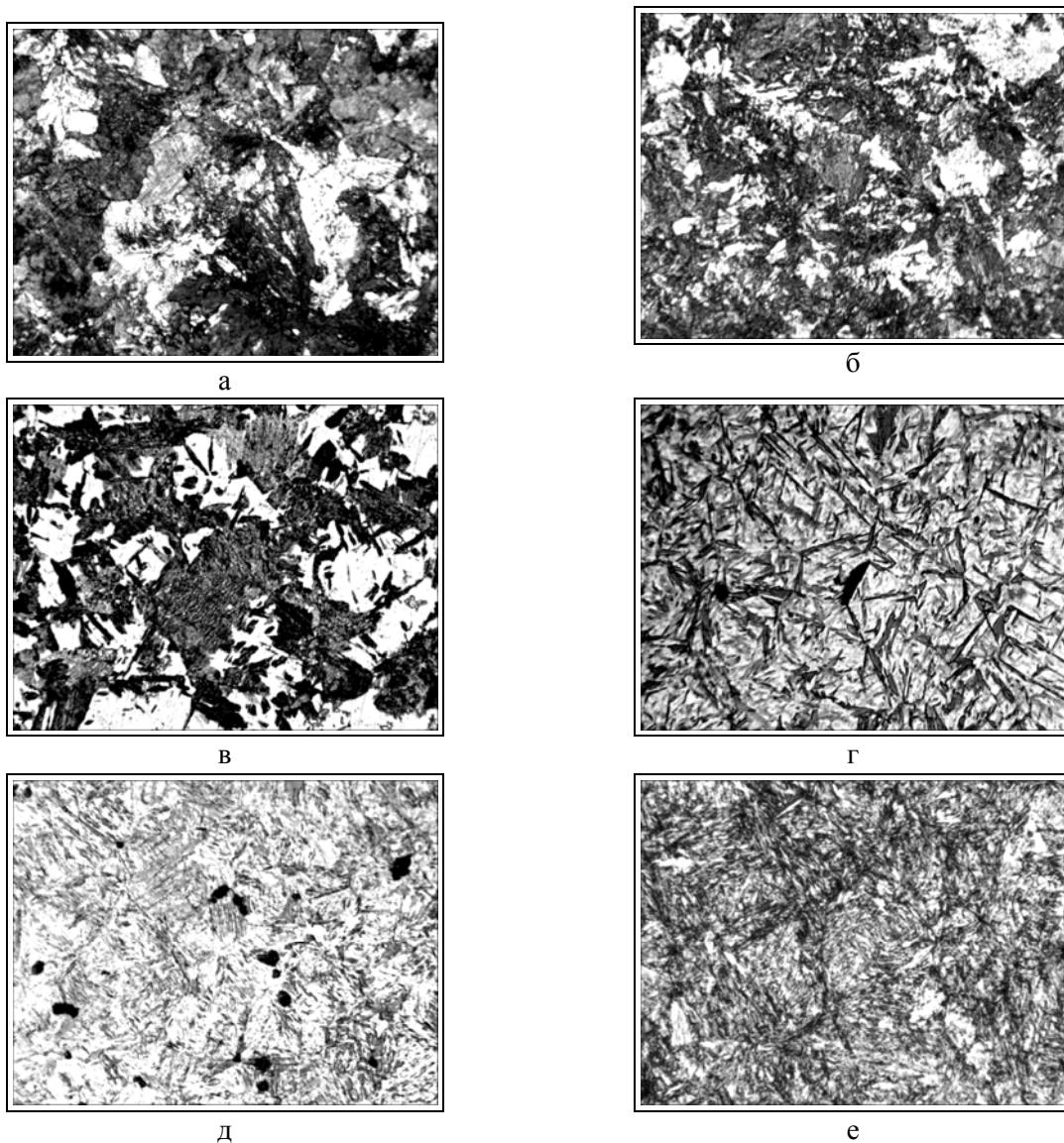


Рис. 4. Структура ( $\times 500$ ) сталі  $C82D^{CrV}$  після нагріву до температури  $1\ 040\ ^\circ C$  і безперервного охолодження з різними швидкостями: а –  $0,9\ ^\circ C/s$ ; б –  $1,7\ ^\circ C/s$ ; в –  $5\ ^\circ C/s$ ; г –  $13\ ^\circ C/s$ ; д –  $90\ ^\circ C/s$ ; е –  $136\ ^\circ C/s$

Порівняльний аналіз ТКД досліджуваної сталі  $C82D^{CrV}$  зі сталями  $C86D$  [13] і  $C82D^{Cr}$  [7], хімічний склад яких наведено в таблиці 2, показав, що для досліджуваної сталі в понад 3,5 рази зменшується інтервал швидкостей охолодження ( $5,0 \dots 0,09\ ^\circ C/s$ ), в якому початку перлітного перетворення передує виділення цементиту вторинного: для сталей  $C86D$  і  $C82DCr$  – це відповідно  $19 \dots 0,08\ ^\circ C/s$  і  $17 \dots 0,07\ ^\circ C/s$ .

Досліджувана сталь  $C82D^{CrV}$  має більш низькі значення верхньої ( $136\ ^\circ C/s$ ) і нижньої ( $0,9\ ^\circ C/s$ ) критичних швидкостей охолодження порівняно зі сталями  $C86D$  ( $228\ ^\circ C/s$ ;  $19\ ^\circ C/s$ ) і  $C82D^{Cr}$  ( $211\ ^\circ C/s$ ;  $1,8\ ^\circ C/s$ ) відповідно. Зниження критичних

швидкостей охолодження для сталі  $C82D^{CrV}$  зумовлене більш значним підвищенням стійкості аустеніту за рахунок додаткового введення в сталь хрому ( $0,15\%$ ) і ванадію ( $0,05\%$ ).

Аналіз ТКД сталі  $C82D^{CrV}$  свідчить, що під час підвищення швидкості охолодження кількість сорбітоподібного перліту зростає. З ростом температури нагріву і подальшої швидкості охолодження відбувається зниження критичної точки  $A_{r1}$ , в результаті чого підвищується ступінь дисперсності перліту. Це зумовлено не тільки ступенем переохолодження аустеніту за безперервного охолодження, а й підвищенням швидкості зміни

переохолодження, яка являє собою не що інше як фактичну швидкість розпаду аустеніту. З урахуванням вищенаведених даних про вплив підвищення швидкості охолодження на кількість перліту, який утворюється, в тому числі і

сорбітоподібного перліту, внесок швидкості охолодження слід розглядати з урахуванням одночасного підвищення ступеня дисперсності перліту, який оцінюється за шкалою 1 ГОСТ 8233-56 й ідентифікується як перліт 1-го бала.

Таблиця 2

Хімічний склад сталей C86D і C82D<sup>Cr</sup>

Марка сталі	Хімічний склад, % мас.										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	V	Ni	Cu	N	B
C86D	0,88	0,68	0,18	0,010	0,003	0,03	-	0,06	0,12	0,007	0,0012
C82D <sup>Cr</sup>	0,83	0,75	0,19	0,011	0,003	0,27	0,003	0,04	0,10	0,006	-

Таким чином, встановлено інтервали швидкостей охолодження, коли: розпад аустеніту відбувається за дифузійним механізмом з утворенням перліту різного ступеня дисперсності (0,09...0,9 °C/c); розпаду аустеніту передують утворення цементиту вторинного в кількості не більше 1 % у вигляді окремих ділянок по межах перлітних зерен (0,9...136 °C/c); розпад аустеніту відбувається за дифузійним, проміжним і зсувним механізмами; утворюється голчастий мартенсит 6...8 балів за ГОСТ 8233-56 і присутній аустеніт залишковий в кількості від 2,0 до 4,0 % у вигляді прошарків між мартенситними голками (> 136 °C/c). Максимальний ефект підвищення температури закінчення дифузійного перетворення (12 °C) фіксується за швидкості охолодження 0,9 °C/c;

Отже, для отримання в промислових умовах у структурі бунтового прокату зі сталі C82D<sup>CrV</sup> перліту з найкращим ступенем дисперсності доцільно використовувати в міжкритичному інтервалі таку швидкість охолодження аустеніту, за якої утворюється максимальна кількість сорбітоподібного перліту [12-14]. При цьому температура виткоутворення прокату на лінії Стелмор повинна бути не менше 1 040 °C, подальше прискорене повітряне охолодження витків металу на транспортері слід проводити зі швидкістю не менше 13 °C/c і не більше 20 °C/c до інтервалу температур 570...540 °C з наступною квазіізотермічною витримкою під теплоізоляційними кришками. Такий режим охолодження забезпечить розпад аустеніту за дифузійним механізмом з утво-

ренням максимальної можливої кількості сорбітоподібного перліту в структурі бунтового прокату зі сталі C82D<sup>CrV</sup>.

Установлені особливості розпаду аустеніту за безперервного охолодження сталі C82D<sup>CrV</sup> з різними швидкостями дозволили науково обґрунтувати режими охолодження бунтового прокату на лінії Стелмор у потоці безперервного дрібносортнодротового стану 320/150. Металографічний аналіз показав, що мікроструктура бунтового прокату, виготовленого за розробленим режимом охолодження зі сталі C82D<sup>CrV</sup>, містить ~ 93 % сорбітоподібного перліту і 6 % перліту 2...3-го бала за шкалою ГОСТ 8233-56. Оцінка цементитної сітки за еталонами структур шаблону III стандарту NF A 04-114 показала відповідність класу А (повна відсутність) для прокату діаметром 8,0; 10,0; 11,0; 12,0 мм і в декількох випадках класу В (сліди цементиту) для діаметра прокату 12,0 мм.

**Висновки.** Вивчено кінетику розпаду аустеніту і закономірності формування структури хромованадієвої сталі C82D<sup>CrV</sup>, нагрітої до температури 1 040 °C і підданої безперервному охолодженню з різною швидкістю. Результати досліджень узагальнені і наведені у вигляді термкінетичної діаграми. Встановлено інтервали швидкостей охолодження, коли можна отримати різні продукти розпаду аустеніту, що забезпечують різне співвідношення структурних складових сталі C82D<sup>CrV</sup>.

Обґрунтовано найбільш ефективні інтервали швидкостей повітряного охолодження, які дозволяють забезпечити формування в структурі цієї сталі не менше 90 % сорбі-

топодібного перліту, виключити виділення надлишкової фази (цементит вторинний), а також появу структур, що утворюються за проміжним і зсувним механізмами. Розроблено режими охолодження бунтового прокату зі сталі C82D<sup>CrV</sup> на транспортері лінії Стелмор в потоці безперервного дрібносор-

тндротового стану 320/150, щоб забезпечити отримання мікроструктури бунтового прокату, що складається з ~ 94 % сорбітоподібного перліту і 6 % перліту 2...3-го бала за ГОСТ 8233-56, а також відсутність цементної сітки в прокаті різного діаметра.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Влияние температуры аустенитизации на дисперсность перлита углеродистой стали / Э. В. Парусов, В. В. Парусов, Л. В. Сагура // *Металлознавство та термічна обробка металів*. – 2015. – № 2. – С. 14–18.
2. Гуляев А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : *Металлургия*, 1986. – 542 с.
3. 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. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры*. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 89. – С. 137–143. – (Стародубовские чтения 2016).
4. Дифференциально-термический анализ и технологии термической обработки : монография / А. П. Клименко, А. И. Карнаух, А. И. Буря, В. И. Сыгар. – Днепропетровск : Пороги, 2008. – 323 с.
5. Луценко В. А. Особенности распада аустенита стали 90 в изотермических и термокинетических условиях / В. А. Луценко // *Металлознавство та термічна обробка металів*. – 2008. – № 1. – С. 76–82.
6. Обоснование параметров регулируемого охлаждения бунтового проката из высокоуглеродистой стали в потоке проволочного стана 320/150 ОАО «ММЗ» / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, С. И. Губенко, С. В. Долгий, Л. В. Сагура // *Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. Серія : *Машинобудування* : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". – Київ, 2016. – № 2 (77). – С. 62–70.
7. Особенности кинетики распада аустенита и закономерности формирования структуры стали C82D<sup>Cr</sup> при непрерывном охлаждении / Э. В. Парусов, С. И. Губенко, А. П. Клименко, И. Н. Чуйко, Л. В. Сагура // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – 2017. – № 6. – С. 27–36.
8. Попов А. А. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении / А. А. Попов // *Фазовые превращения в железоуглеродистых сплавах : сб. науч. тр.* – Москва : Машгиз, 1950. – С. 136–159.
9. Разработка режима двустадийного охлаждения катанки из стали C80D2, микролегированной бором и ванадием / В. В. Парусов, Э. В. Парусов, Л. В. Сагура, А. И. Сивак, А. П. Клименко, А. Б. Сычков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 3. – С. 53–56.
10. Высокоуглеродистая катанка для изготовления высокопрочных арматурных канатов / А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. М. Нестеренко, С. Ю. Жукова, А. В. Перегудов – Бендеры : Полиграфист, 2010. – 280 с.
11. Парусов Э. В. Требования, предъявляемые к катанке для производства высокопрочной канатной арматуры / Э. В. Парусов // *Теория и практика металлургии*. – 2014. – № 1–2. – С. 67–70.
12. Development of energy- and resource-saving production technology of high-strength strands / Parusov E. V., Parusov V. V., Sagura L. V., Derevyanchenko I. V., Dolgiy S. V., Gremechev S. A., Demyanova L. I. // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2016. – № 5. – P. 100–104.
13. Development of thermomechanical treatment of coil rolled products made of steel C86D micro-alloyed with boron / Parusov E. V., Parusov V. V., Sagura L. V., Sivak A. I., Klimenko A. P., Sychkov A. B. // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2016. – № 6. – P. 70–74.
14. Influence of boron on forming efficient structure of rolled steel and increase its technological plasticity at drawing / E. Parusov, A. Sychkov, S. Gubenko, M. Ambrazhey // *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. – 2016. – № 3. – P. 99–108.

### REFERENCES

1. Parusov E.V., Parusov V.V., Sahura L.V. *Vliyanie temperatury austenitizatsii na dispersnost' perlita uglevodistoy stali* [Effect of austenitization temperature on the dispersion of carbon steel perlite]. *Metalloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Physical Metallurgy and Heat Treatment of Metals]. 2015, no. 2, pp. 14–18. (in Russian).
2. Gulyaev A.P. *Metallovedenie* [Metallography]. Ed. 6, Moskva: Metallurgiya, 1986, 542 p. (in Russian).
3. Parusov E.V., Gubenko S.I., Sychkov A.B., Chujko I.N. and Sahura L.V. *K voprosu o dislokacionno-diffuzionnom genезise plastinchatogo perlita v vysokouglerodistom buntovom prokate provoloki* [On the issue of the dislocation-diffusion genesis of lamellar perlite in high-carbon bent wire rolling]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. *Starodubovskie chteniya 2016* [Proceedings in memory of Starodubov 2016]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arkitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2016, iss. 89, pp. 137–143. (in Russian).

4. Klimenko A.P., Karnaukh A.I., Burya A.I. and Sytar V.I. *Differentsialno-termicheskiy analiz i tekhnologii termicheskoy obrabotki* [Differential Thermal Analysis and Heat Treatment Technologies]. Dnepropetrovsk: Porogi, 2008, 323 p. (in Russian).
5. Lutsenko V.A. *Osobennosti raspada austenita stali 90 v izotermicheskikh i termokineticheskikh usloviyakh* [Features of the decay of austenite of steel 90 under isothermal and thermokinetic conditions]. *Metalloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Physical Metallurgy and Heat Treatment of Metals]. 2008, no. 1, pp. 76–82. (in Russian).
6. Parusov E.V., Sychkov A.B., Gubenko S.I., Dolgij S.V. and Sahura L. V. *Obosnovanie parametrov reguliruyemogo okhlazhdeniya buntovogo prokata iz vysokouglerodistoy stali v potoke provolochnogo stana 320/150 OAO «MMZ»* [Rationale of the parameters of controlled cooling of rolled steel from high-carbon steel in the stream of a 320/150 wire mill of JSC "MMZ"]. *Vestnik NTUU «KPI». Seriya mashinostroyeniye* [Bulletin of NTUU "KPI". Machine building series]. 2016, no. 2 (77), pp. 62-70. (in Russian).
7. Parusov E.V., Gubenko S.I., Klimenko A.P., Chujko I.N. and Sahura L.V. *Osobennosti kinetiki raspada austenita i zakonomernosti formirovaniya struktury stali S82DCr pri nepreryvnom ohlazhdenii* [Features of the kinetics of austenite decomposition and regularities in the formation of the C82DCr steel structure under continuous cooling]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2017, no. 6, pp. 27–36. (in Russian).
8. Popov A.A. *Prevrashhenie austenita pri nepreryvnom oxlazhdenii* [The transformation of austenite under continuous cooling]. *Fazovye prevrasheniya v zhelezouglerodistykh splavakh* [Phase transformations in iron-carbon alloys]. Moskva: Mashgiz, 1950, pp. 136–159. (in Russian).
9. Parusov E.V., Parusov V.V., Sahura L.V., Sivak A.I., Klimenko A.P. and Sychkov A.B. *Razrabotka rezhima dvustadijnogo ohlazhdeniya katanki iz stali S80D2, mikrolegirovannoy borom i vanadiem* [Development of a two-stage cooling mode for wire rod made of C80D2 steel, microalloyed with boron and vanadium]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and mining industry]. 2011, no. 3, pp. 53-56. (in Russian).
10. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Nesterenko A.M., Zhukova S.Yu. and Peregudov A.V. *Vysokouglerodistaya katanka dlya izgotovleniya vysokoprochnykh armaturnykh kanatov* [High-carbon wire rod for manufacturing high-strength reinforcing ropes]. Bendery: Poligrafist, 2010, 280 p. (in Russian).
11. Parusov E.V. *Trebovaniya, pred'yavlyaemye k katanke dlya proizvodstva vysokoprochnoj kanatnoj armatury* [Requirements for wire rod for the production of high-strength rope reinforcement]. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and practice of metallurgy]. 2014, no. 1-2, pp. 67–70. (in Russian).
12. Parusov E.V., Parusov V.V., Sahura L.V., Derevyanchenko I.V., Dolgij S.V., Gremechev S.A. and Demyanova L.I. *Development of energy- and resource-saving production technology of high-strength strands*. Metallurgical and Mining Industry. 2016, no. 5, pp. 100-104.
13. Parusov E.V., Parusov V.V., Sychkov A.B., Klimenko A.P., Sahura L.V. and Sivak A.I. *Development of thermomechanical treatment of coil rolled products made of steel C86D micro-alloyed with boron*. Metallurgical and Mining Industry. 2016, no. 6, pp. 70-74.
14. Parusov E., Sychkov A., Gubenko S. and Ambrazhey M. *Influence of boron on forming efficient structure of rolled steel and increase its technological plasticity at drawing*. Scientific Journal of the Ternopil National University. 2016, no. 2, pp. 99–108.

Рецензент: Большаков В. И., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 25.12.2017 р.

УДК 539.3

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.44.39

## ПРОЕКТУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПРУЖИН МІНІМАЛЬНОЇ МАСИ ЗА ОБМЕЖЕННЯ НА ВЛАСНУ ЧАСТОТУ ПОЗДОВЖНИХ КОЛИВАНЬ В УМОВАХ ПОВНОЇ І НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ

БАРАНЕНКО В. О.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ВОЛЧОК Д. Л.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

ГРИГОРОВИЧ М. С.<sup>3</sup>, *студ.*

<sup>1</sup>Кафедра будівельної механіки та опору матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: baranenko1941@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4658-1205

<sup>2</sup>Кафедра будівельної механіки та опору матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: Denys.L.Volchok@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7914-321X

<sup>3</sup>Кафедра будівельної механіки та опору матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22 e-mail: buro.grigorovych@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5539-7493

**Анотація.** *Постановка проблеми.* У багатьох виробках машинобудівної, залізничної, будівельної індустрії розповсюджені такі елементи як пружини. Вони призначені для накопичення або поглинання механічної енергії. Цим елементам різноманітних конструкцій і приладів приділялась і приділяється достатньо велика увага. Існує велика кількість публікацій в цій сфері, де розглядаються питання розрахунків та виготовлення. В той же час невелика кількість наукових праць присвячена питанням оптимального проектування, в яких оптимізація характеристик пружин за різними критеріями здійснюється за допомогою методів нелінійного програмування.

Ця стаття присвячена питанням оптимального проектування циліндричної пружини розтягання за критерієм ваги при обмеженні на власну частоту поздовжніх коливань. Формулюються прямі і двоїсті задачі оптимізації, реалізація яких здійснюється методом множників Лагранжа і необхідних умов існування екстремуму. *Мета статті* - розглянути оптимізаційні динамічні задачі проектування гвинтових циліндричних пружин в умовах повної і неповної інформації щодо вихідних даних. Провести аналіз впливу кількості активних звоїв пружини на оптимальні параметри проектування, а також вплив нечіткості завдання ваги і величини власної частоти поздовжніх коливань. *Висновок.* У результаті розв'язання прямої та двоїстої оптимізаційної динамічної задачі для гвинтової циліндричної пружини отримано, що залежність оптимальної ваги від заданої частоти власних поздовжніх коливань і числа активних звоїв є нелінійною функцією. Залежність оптимальної частоти власних коливань і діаметра дроту від заданої ваги також нелінійна. Отримано оцінки впливу нечіткого завдання вихідних даних на результат проекту - діаметр дроту матеріалу, з якого виготовлено пружину.

**Ключові слова:** *циліндрична пружина; оптимальне проектування; нечіткі множини*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ НА СОБСТВЕННУЮ ЧАСТОТУ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ И НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

БАРАНЕНКО В. А.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ВОЛЧОК Д. Л.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

ГРИГОРОВИЧ Н. С.<sup>3</sup>, *студ.*

<sup>1</sup>Кафедра строительной механики и сопротивления материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: baranenko1941@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4658-1205

<sup>2</sup>Кафедра строительной механики и сопротивления материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: Denys.L.Volchok@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7914-321X

<sup>3</sup>Кафедра строительной механики и сопротивления материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: buro.grigorovych@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5539-7493

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Во многих изделиях машиностроительной, железнодорожной, строительной индустрии распространены такие упругие элементы как пружины. Они предназначены для накопления или поглощения механической энергии. Этим элементам различных конструкций и приборов

уделялось и уделяется достаточно большое внимание. Существует большое количество публикаций в этой сфере, где рассматриваются вопросы расчетов и изготовления. В то же время небольшое количество научных работ посвящено вопросам оптимального проектирования, в которых оптимизация характеристик пружин по различным критериям осуществляется с помощью методов нелинейного программирования.

Данная работа посвящена вопросам оптимального проектирования цилиндрической пружины растяжения по критерию веса при ограничении на собственную частоту продольных колебаний. Формулируются прямые и двойственные задачи оптимизации, реализация которых осуществляется методом множителей Лагранжа и необходимых условий существования экстремума. **Цель статьи** - рассмотреть оптимизационные динамические задачи проектирования винтовых цилиндрических пружин в условиях полной и неполной информации о выходных данных. Провести анализ влияния количества активных витков пружины на оптимальные параметры проектирования, а также влияния нечеткости задания веса и величины собственной частоты продольных колебаний. **Вывод.** В результате решения прямой и двойственной оптимизационной динамической задачи для винтовой цилиндрической пружины получено, что зависимость оптимального веса от заданной частоты собственных продольных колебаний и числа активных витков является нелинейной функцией. Зависимость оптимальной частоты собственных колебаний и диаметра проволоки от заданного веса также является нелинейной. Получены оценки влияния нечеткого задания исходных данных на результат проекта - диаметр проволоки материала, из которого изготовлена пружина.

**Ключевые слова:** цилиндрическая пружина; оптимальное проектирование; нечеткие множества

## DESIGNING CYLINDRICAL SPRINGS OF MINIMUM WEIGHT WITH RESTRICTION ON THE OWN FREQUENCY OF LONGITUDINAL OSCILLATIONS UNDER CONDITION OF FULL AND FUZZY INFORMATION

BARANENKO V. O.<sup>1</sup>, *Dr. Sc(Tech), Prof.*,  
VOLCHOK D. L.<sup>2</sup>, *Cand. Sc.(Tech), Assoc. Prof.*,  
HRYHOROVYCH M. S.<sup>3</sup>, *student*

<sup>1</sup>Department of structural mechanics and strength of materials, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-22, e-mail: baranenko1941@ukr.ne, ORCID ID: 0000-0002-4658-1205

<sup>2</sup>Department of structural mechanics and strength of materials, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-33-51, e-mail: Denys.L.Volchok@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7914-321X

<sup>3</sup>Department of structural mechanics and strength of materials, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-22, e-mail: buro.grigorovych@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5539-7493

**Annotation. Formulation of the problem.** Elastic elements such as springs are common in many products of the machine-building, railway, construction industry. They are designed to accumulate or absorb mechanical energy. These elements of various designs and devices have been and are being given enough attention. There is a large number of publications in this field, where questions of calculation and manufacturing are considered. At the same time, a small number of scientific papers are devoted to optimal design, in which the optimization of the characteristics of springs by various criteria is carried out using nonlinear programming methods.

This paper is devoted to the problems of optimal design of a cylindrical tension spring by the weight criterion, while its own frequency of longitudinal oscillations is limited. Direct and dual optimization problems are formulated. Realization is provided with the method of Lagrange multipliers and necessary conditions for the existence of an extremum. **Purpose of the article.** To consider optimization dynamic problems of design of helical cylindrical springs in conditions of complete and incomplete information about the output data. To analyze the influence of the number of active spring turns on the optimal design parameters, as well as the influence of the fuzzy information about weight setting and the value of the natural frequency of the longitudinal oscillations. **Conclusion.** As a result of solving the direct and dual optimizing dynamic problem for a helical spring it is found that the dependence of the optimal weight from the natural frequency of the intrinsic longitudinal oscillations and the number of active turns is a nonlinear function. The dependence of the optimum frequency of natural oscillations and the diameter of the wire from the given weight is also nonlinear. The estimation of the influence of the fuzzy initial data on the result of the project (the diameter of the wire of the spring) is obtained. The transformation of fuzzy numbers into deterministic ones is performed by the center method (defuzzification operation). Accounting of fuzzy information leads to increasing in the weight parameter and in the wire diameter parameter.

**Keywords:** cylindrical spring; optimal design; fuzzy sets



**Вступ.** У багатьох виробках машинобудівної, залізничної, будівельної індустрії розповсюджені такі пружні елементи як пружини. Вони призначені для накопичення або поглинання механічної енергії. Цим елементам різноманітних конструкцій і приладів приділялась і приділяється достатньо велика увага. На початку ХХ сторіччя були створені в ряді країн асоціації дослідників пружин. Існує велика кількість публікацій в усій сфері [1; 4; 8], де розглядаються питання розрахунків та виготовлення. В той же час невелика кількість наукових праць присвячена питанням оптимального проектування. Можна навести праці [2; 3; 6; 7], в яких оптимізація характеристик пружин за різними критеріями здійснюється за допомогою методів нелінійного програмування.

Стаття присвячена питанням оптимального проектування циліндричної пружини розтягання за критерієм ваги при обмеженні на власну частоту поздовжніх коливань. Сформульовано як прямі, так і двоїсті задачі оптимізації, їх реалізація здійснюється методом множників Лагранжа і необхідних умов існування екстремуму. Отримано числові результати, які подаються в графічному вигляді. Показано вплив на результати оптимального проектування кількості робочих (активних) звоїв пружини. Приділяється увага на розрахунок оптимальних характеристик пружини в умовах, коли обмеження мають параметри, що описані нечітко. До них застосовується підхід з боку нечіткого моделювання. Теорія нечітких множин [5] дає можливість оцінювати результати розрахунку за наявності розмитих даних.

### 1. Об'єкт оптимізації

Циліндрична гвинтова пружина являє собою криволінійний стержень, вісь якого розташовується на поверхні циліндра по гвинтовій лінії. Основні характеристики таких механічних елементів - середній діаметр  $D$ , діаметри  $d$  дроту, з якого виготовляється пружина, довжина  $l$  осі робочої частки та кількість  $N$  активних звоїв. В технічних розрахунках кривизна

гвинта пружини характеризується відношенням  $C = D/d$ , яке називають індексом пружини. Під час конструювання пружини, яка працює на стиск-розтягнення, розраховують її напружено-деформований стан за найбільшим дотичним напруженням у перерізах звоїв. У випадку проектування пружин кручення розрахунки напружень виконуються за найбільшими нормальними напруженнями в перерізах звоїв.

У динамічних застосуваннях, щоб уникати явища резонансу, треба увести до розгляду таку умову: - частота власних коливань стискання пружини  $\omega$  мусить бути не менше величини  $\omega_0$ . В математичному вигляді така умова має вираз [7]:

$$\omega = \frac{d}{2\pi D^2 N} \sqrt{\frac{Gg}{2\rho}} \geq \omega_0. \quad (1)$$

Тут уведено такі позначення:  $G$  - модуль зсуву,  $g$  - прискорення вільного падіння,  $\rho$  - щільність матеріалу дроту.

Задача проектування полягає в пошуку таких характеристик проекту як  $d^*$  і значення критерію мінімум ваги, тобто  $W^* = \min W$  за заданої частоти  $\omega_0$  (пряма задача), і навпаки - знайти такі значення  $d^*$ , за яких власна частота поздовжніх коливань була б найбільшою за умови, що вага пружини задається, тобто  $W = W_0$ .

## 2. Основна частина

### 2.1. Задача 1 (пряма задача)

Задача проектування циліндричної пружини мінімальної ваги з урахуванням умов, щоб частота  $\omega$  власних коливань її була рівною величині  $\omega_0$ , описується такою моделлю:

$$(W^*, d^*) = \arg \left\{ \min_{d^- \leq d \leq d^+} W(d) \mid \omega(d) = \omega_0 \right\}. \quad (2)$$

У співвідношення (1) уведено такі означення  $W(d) = \alpha d^2$ ;

$$\alpha = 0.25(N + Q)\pi^2 D\rho; \quad (3)$$

$$\omega(d) = \gamma d; \quad \gamma = \frac{1}{2\pi D^2 N} \sqrt{\frac{Gg}{2\rho}}; \quad d > 0, \quad (4)$$

де  $Q$  - число неактивних звій;  $N$  - кількість активних звоїв пружини.

Обмежень можуть бути габарити пружини:

$$d + D \leq \bar{D}, \quad (5)$$

де  $D$  - діаметр пружини,  $G$  - модуль зсуву,  $\rho$  - густина,  $g$  - прискорення вільного падіння. Значення  $\omega_0$ ,  $\bar{D}$  задаються.

В задачі (1) змінними проектування є величина  $d$ , а  $d^*$  - є оптимальна товщина дроту, яка піде на її виготовлення, і відповідно вага пружини  $W^*$ . Фактором проектування може бути фіксована величина  $N$ .

### 2.2. Задача 2 (двоїста задача)

Сутність двоїстої задачі полягає в тому, щоб за заданою вагою  $W_0$ , діаметром  $D$  і числом звоїв  $N$  знайти таке  $d^*$ , яке доставить максимум величини власних коливань. Математичний запис цієї задачі буде таким:

$$(\omega^*, d^*) = \arg \left\{ \max_d \omega(d) \mid W(d) = W_0 \right\}. \quad (6)$$

Розв'язки  $d^*$  у двоїстій і прямій задачі збігаються, якщо взяти  $\omega_0 = \omega^*$  із задачі (6) або  $W_0 = W^*$  із задачі (2).

### 2.3. Застосування математичного аналізу до розв'язання задач

Уведемо для задачі 1 таку функцію:

$$L = W + \lambda(\omega_0 - \omega) = \alpha d^2 + \lambda(\omega_0 - \gamma d), \quad (7)$$

де  $\lambda \neq 0$  - множник Лагранжа.

Із необхідної умови екстремуму  $L$  маємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial d} = 2\alpha d - \lambda\gamma = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = -\gamma d + \omega_0 = 0 \end{array} \right. \quad (8)$$

Розв'язання системи (8) дає

$$d^* = \frac{\omega_0}{\gamma}; \quad \lambda = +\frac{2\alpha\omega_0}{\gamma^2}; \quad W^* = \alpha(d^*)^2; \quad (9)$$

*Зауваження.* Друга похідна  $\frac{\partial^2 L}{\partial d^2} = 2\alpha > 0$ , що відповідає операції мінімуму в оптимізаційній задачі (достатня умова існування екстремуму)

### 2.4. Розв'язання двоїстої задачі

Для (6) запишемо функцію Лагранжа:

$$L = \gamma d - \lambda(\alpha d^2 - W_0); \quad \lambda \neq 0. \quad (10)$$

За необхідними умовами екстремуму, маємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial d} = \gamma - 2\lambda\alpha d = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = \alpha d^2 - W_0 = 0 \end{array} \right. \quad (11)$$

У результаті розв'язання системи (11) отримаємо:

$$d^* = \sqrt{\frac{W_0}{\alpha}}; \quad \lambda = \frac{\gamma}{2\alpha d^*}; \quad \lambda > 0; \quad \alpha > 0; \\ \omega^* = \gamma d^*. \quad (12)$$

*Зауваження.* Достатня умова існування максимуму для цієї задачі виконується, тобто:

$$\frac{\partial^2 L}{\partial d^2} = -2\lambda\alpha < 0.$$

### 2.5. Числова ілюстрація оптимального проектування пружини за детермінованих даних

Для таких початкових даних:

$$G = 8 \cdot 10^4 \frac{\text{г}}{\text{мм}^2}; \quad D = 100 \text{мм}; \quad Q = 2,$$

$$\rho = 0.0078 \frac{\text{г}}{\text{мм}^3}; \quad g = 9806 \frac{\text{мм}}{\text{сек}^2}.$$

Для прямої і двоїстої задачі за формулами (8), (9), (11) виконано розрахунок оптимальних  $d^*$ , (мм);  $W^*$ , (г) та  $\omega^*$ , (Гц). Геометрична інтерпретація результатів обчислень наведена на рисунках 1-4 за  $N = 17$ .

На рисунках 3 і 4 показано залежність оптимальних значень  $\omega^*$  і  $d^*$  від заданого значення ваги пружини  $W_0$  як результат розв'язання двоїстої задачі (6) за  $N = 17$ . Таким чином, при розв'язанні прямої і двоїстої величини оптимальних проектів

$W^*$ ,  $\omega^*$ ,  $d^*$  збільшуються відповідно до збільшення величин  $\omega_0$  і  $W_0$ .

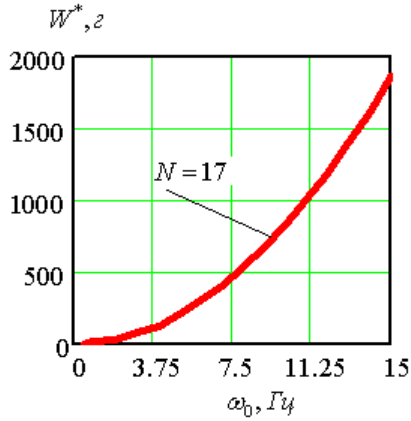


Рис. 1. Залежність мінімальної ваги пружини  $W^*$  від величини частоти власних коливань  $\omega_0$  (пряма задача)

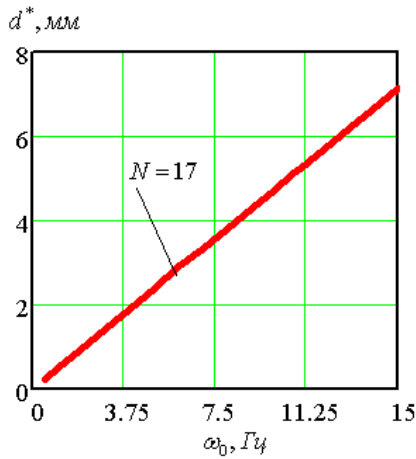


Рис. 2. Графік залежності параметра оптимального проекту - значення діаметра дроту  $d^*$  від частоти власних коливань  $\omega_0$  (пряма задача)

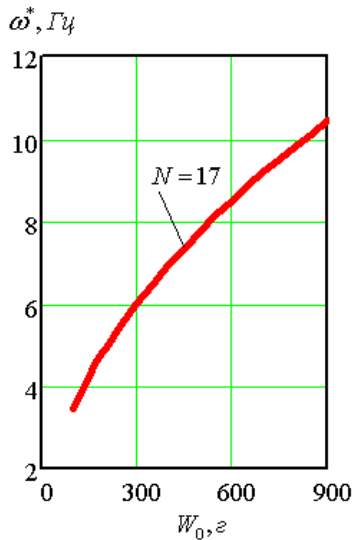


Рис. 3. Графік залежності  $\omega^* - W_0$  (двоїста задача)

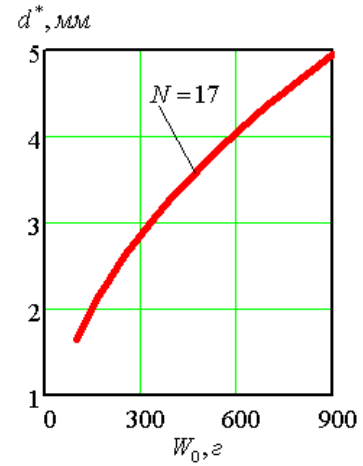


Рис. 4. Графік залежності  $d^* - W_0$  (двоїста задача)

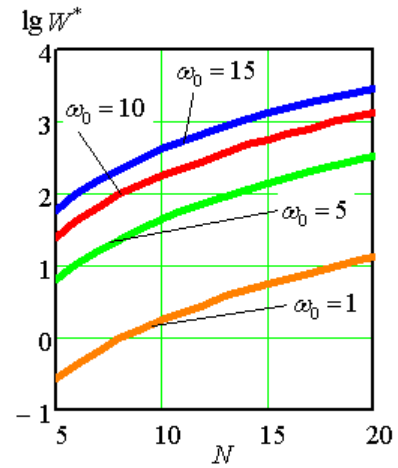


Рис. 5. Графік залежності оптимальної ваги від числа робочих зовів пружини (пряма задача)

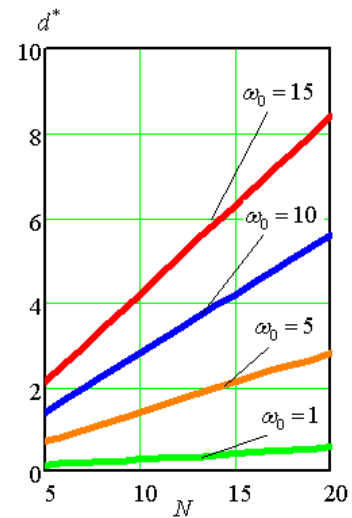


Рис. 6. Залежність параметра проекту -  $d^*$  від числа зwoїв пружини і частоти  $\omega_0$  (пряма задача)

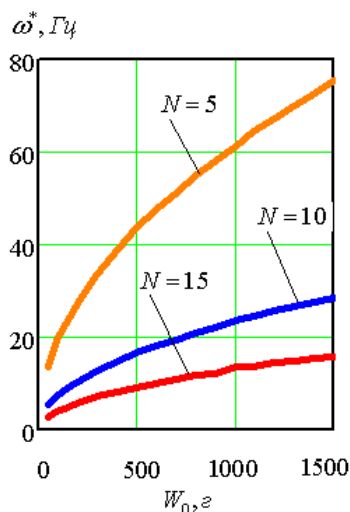


Рис. 7. Залежність максимального значення частоти власних коливань пружини  $\omega^*$  від заданої ваги  $W^*$  для різного числа зwoїв  $N$  пружини (двоїста задача)

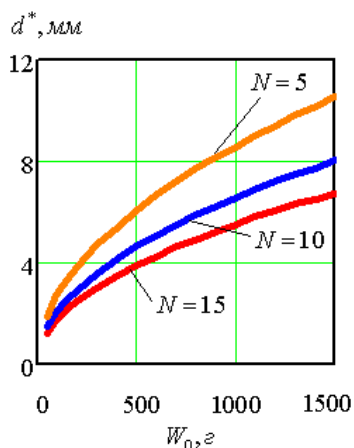


Рис. 8. Залежність параметра проекту - оптимального значення діаметра зwoїв пружини від заданої ваги  $W^*$  для різного числа зwoїв  $N$  пружини (двоїста задача)

На прикладі розв'язання прямої (2) та двоїстої (6) задач розглянуто питання впливу числа активних зwoїв пружини на величини  $W^*$ ,  $\omega^*$ ,  $d^*$  (рис. 5-8). Із розрахунків видно (рис. 5-6), що вага  $W^*$  і діаметр дроту  $d^*$  збільшуються від збільшення числа  $N$  і величини  $\omega_0$  (пряма задача). Для двоїстої - збільшення частоти  $\omega^*$  і діаметра дроту  $d^*$  від збільшення ваги  $W_0$  (рис. 7-8).

У випадку прямої задачі збільшення числа зwoїв і значень власних частот пружини викликає значне збільшення ваги і діаметра.

Із цих рисунків видно, що частота  $\omega^*$  і  $d^*$  збільшуються від збільшення числа  $N$  і  $W_0$ .

## 2.6. Нечітке завдання величини $\omega_0$

Розглянемо наступну інформаційну ситуацію відносно завдання частоти власних коливань пружини:

- а) нехай величина  $\omega_0$  набуває значення "близьке до числа  $m_\omega$ ";
- б) нехай величина  $\omega_0$  набуває значення "трохи більше ніж  $m_\omega$ , або дорівнює...";
- в) нехай величина  $\omega_0$  набуває значення "трохи більше ніж  $m_\omega$ ".

Для опису нечіткої величини  $\omega_0$  використаємо функцію належності трикутного виду  $\mu_\Omega(x)$  з носієм  $\omega_0(a, m_\omega, b)_\Delta$ . Через  $\Omega$  позначено нечітку множину величини  $\omega_0$ :

$$\mu_\Omega(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{m-a}, & 0 \leq x < m \\ \frac{b-x}{b-m}, & m < x \leq b \\ 1, & x = m; 0 \leq \mu \leq 1. \end{cases} \quad (13)$$

Нехай, для визначеності, для першої інформаційної ситуації  $m_\omega = 5$ ;  $a = 4.5$ ;  $b = 5.5$ , число зwoїв дорівнює 10, а число дискретів інтервалу  $[0,1]$  дорівнює  $M$ . У числових розрахунках приймалось  $M = 10$ . Дотримуючись означення (13), побудуємо нечітку множину  $\Omega$  значень частот (етап нечіткого моделювання - фазифікація):

$$\Omega = \sum_{i=0}^{10} \frac{\mu_i}{a_i} + \sum_{i=11}^{2M} \frac{\mu_i}{b_i}, \quad (14)$$

в якому  $\mu_i = i\Delta\mu$ ;  $\bar{\mu}_i = 2M - i$ ;  $\Delta\mu = \frac{1}{M}$ ;  
 $a_i = m_\omega \mu_i + a(1 - \mu_i)$ ;  $b_i = m_\omega \mu_i + b(1 - \mu_i)$ ,

тобто:

$$\Omega = \frac{0}{4.5} + \frac{0.1}{4.55} + \frac{0.2}{4.60} + \frac{0.3}{4.65} + \frac{0.4}{4.70} + \frac{0.5}{4.75} + \frac{0.6}{4.80} + \frac{0.7}{4.85} + \frac{0.8}{4.9} + \frac{0.9}{4.95} + \frac{1}{5.00} + \frac{0.9}{5.05} + \frac{0.8}{5.10} + \frac{0.7}{5.15} + \frac{0.6}{5.20} + \frac{0.5}{5.25} + \frac{0.4}{5.30} + \frac{0.3}{5.35} + \frac{0.2}{5.40} + \frac{0.1}{5.45} + \frac{0}{5.50}. \quad (15)$$

Для елементів  $a_i$ ,  $b_i$  множини (15) обчислюються значення  $W^*$  і  $d^*$  за формулою (9), отримуємо такі множини  $W^*_{fuzzy}$  та  $d^*_{fuzzy}$  (етап нечіткого моделювання - розрахунок (аналіз)):

$$W^*_{fuzzy} = \frac{0}{36.71} + \frac{0.1}{37.54} + \frac{0.2}{38.36} + \frac{0.3}{39.20} + \frac{0.4}{40.05} + \frac{0.5}{40.91} + \frac{0.6}{41.77} + \frac{0.7}{42.65} + \frac{0.8}{43.53} + \frac{0.9}{44.43} + \frac{1}{45.33} + \frac{0.9}{46.24} + \frac{0.8}{47.15} + \frac{0.7}{48.09} + \frac{0.6}{49.03} + \frac{0.5}{49.97} + \frac{0.4}{50.93} + \frac{0.3}{51.89} + \frac{0.2}{52.87} + \frac{0.1}{53.85} + \frac{0}{54.84}.$$

$$d^*_{fuzzy} = \frac{0}{1.261} + \frac{0.1}{1.275} + \frac{0.2}{1.289} + \frac{0.3}{1.303} + \frac{0.4}{1.317} + \frac{0.5}{1.331} + \frac{0.6}{1.345} + \frac{0.7}{1.359} + \frac{0.8}{1.373} + \frac{0.9}{1.387} + \frac{1}{1.401} + \frac{0.9}{1.415} + \frac{0.8}{1.429} + \frac{0.7}{1.443} + \frac{0.6}{1.457} + \frac{0.5}{1.475} + \frac{0.4}{1.485} + \frac{0.3}{1.499} + \frac{0.2}{1.513} + \frac{0.1}{1.527} + \frac{0}{1.541}.$$

Перетворення нечітких чисел  $W^*_{fuzzy}$  і  $d^*_{fuzzy}$  на детерміновані виконується за методом центру [5] (операція дефазифікації):

$$W^*_{def} = \frac{\sum_{i=1}^{21} \mu_i W_i}{\sum_{i=1}^{21} \mu_i} = 46.34,$$

$$d^*_{def} = \frac{\sum_{i=1}^{21} \mu_i d_i}{\sum_{i=1}^{21} \mu_i} = 1.42$$

Порівняння отриманих результатів із розв'язками  $W^*_{det} = 45.33$  і  $d^*_{det} = 1.40$  за детермінованого значення  $\omega_0 = 5$  дає такі похибки:

$$\varepsilon_W = \frac{|W^*_{def} - W^*_{det}|}{W^*_{det}} 100\% = 2.24\%;$$

$$\varepsilon_d = \frac{|d^*_{def} - d^*_{det}|}{d^*_{det}} 100\% = 1.43\%,$$

тобто урахування нечіткості спричинює збільшення на 2.24% параметра  $W^*_{det}$  і на 1.43% параметра  $d^*_{det}$ .

**Висновки.** В результаті розв'язання прямої та двоїстої оптимізаційної динамічної задачі для гвинтової циліндричної пружини отримано, що залежність оптимальної ваги від заданої частоти власних поздовжніх коливань і числа активних звоїв є нелінійною.

Залежність оптимальної частоти власних коливань і діаметра дроту від заданої ваги є нелінійною. Отримано оцінки впливу нечіткого завдання вихідних даних  $W_0$ ,  $\omega_0$  на результати проекту. Зі збільшенням власної частоти коливань  $\omega_0$  (пряма задача) реакція оптимального значення ваги  $W^*$  пружини на збільшення кількості звоїв стає більш чутливою (вага значно зростає).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. Т. 3 / В. И. Анурьев. – 8-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2001. – 864 с.

2. Бараненко В. А. Оптимальное проектирование цилиндрических пружин в условиях нечёткой информации / В. А. Бараненко, М. В. Иванец, С. Н. Чаплыгина // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки : зб. наук. ст. – Запоріжжя, 2015. – № 3. – С. 23–27.
3. Маркина М. В. Нахождение паретовского множества многоэкстремальных задач / М. В. Маркина // Прикладные проблемы прочности и пластичности : всесоюз. межвуз. сб. / Горьков. гос. ун-т. – Горький, 1982. – С. 137–143. – (Исследование и оптимизация конструкций).
4. Пономарев С. Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / С. Д. Пономарев, Л. Е. Андреева. – Москва : Машиностроение, 1980. – 326 с.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2008. – 383 с.
6. Belegundu Ashok D. A study of mathematical programming methods for structural optimization. Part II: Numerical Results / Ashok D. Belegundu, Jasbir S. Arora // International journal for numerical methods in engineering. – 1995. – Vol. 21, iss. 9. – P. 1601–1623.
7. Haug Edward J. Applied Optimal Design: Mechanical and Structural Systems / Edward J. Haug, Jasbir. S. Arora – New York : Wiley-Interscience, 1979. – 520 p.
8. Shigley J. E. Mechanical engineering design / J. E. Shigley – 3rd Ed. – New York : McGraw-Hill, 1977. – 695 p.

## REFERENCES

1. Anur'ev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya: v 3 tomakh* [Reference book of the machine-builder designer: in 3 volumes]. Ed 8, Moskva: Mashinostroenie, 2001, no. 3, 864 p. (in Russian)
2. Baranenko V.A., Ivanec M.V. and Chaplygina S.N. *Optimal'noe proektirovanie cilindricheskix pruzhin v usloviyax nechetkoj informacii* [Optimal design of cylindrical springs under conditions of fuzzy information] *Zbirnyk naukovykh prats fizyko-matematychni nauky №3* [Collection of scientific Physics and Mathematics works no. 3]. Zaporizhzhya, 2015, pp. 23 – 27 (in Russian)
3. Markina M.V. *Naxozhdenie paretovskogo mnozhestva mnogoekstremal'nyx zadach* [Finding a Pareto set of multi-extremum problems] *Prikladnye problemy prochnosti i plastichnosti: vsesojuz. mezhvuz. sb.* [Applied problems of durability and plasticity: All-Union Interuniversity Collection]. *Issledovanie i optimizaciya konstrukcij* [Investigation and optimization of structures]. Gor'kij, 1982, pp. 137 – 143 (in Russian)
4. Ponomarev S.D. and Andreeva L.E. *Raschet uprugix elementov mashin i priborov* [Calculation of elastic elements of machines and instruments]. Moskva: Mir, 1980, 326 p. (in Russian)
5. Rutkovskaya D., Pilinskij M. and Rutkovskij L. *Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moskva: Goryachaya liniya-Telekom. 2008, 383 p. (in Russian)
6. Belegundu Ashok D. and Jasbir S. Arora *A study of mathematical programming methods for structural optimization. Part II: Numerical Results*. International journal for numerical methods in engineering. 1995, vol. 21, iss. 9, pp. 1601–1623.
7. Haug Edward J. and Jasbir. S. Arora *Applied Optimal Design: Mechanical and Structural Systems*. New York: Wiley-Interscience, 1979, 520 p.
8. Shigley J. E. *Mechanical engineering design*. 3rd Ed. New York: McGraw-Hill, 1977, 695 p.

Рецензент: Єгоров Є. А., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 20.12.2017 р.

УДК 624.953-027.45

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.52.40

## РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

СЕМЕНЕЦ С. Н.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
НАСОНОВА С. С.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ВЛАСЕНКО Ю. Е.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
КРИВЕНКОВА Л. Ю.<sup>4</sup>, ст. препод.

<sup>1</sup>Кафедра прикладной математики и информационных технологий, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днипро, 49600, Украина, тел. +380676396064, e-mail: semenets.serg@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0477-8795

<sup>2</sup>Кафедра высшей математики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, Днипро, 49005, Украина, тел. +380979409856, e-mail: ms.nasonova.s@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0920-7417

<sup>3</sup>Кафедра прикладной математики и информационных технологий, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днипро, 49600, Украина, +38 (056) 756-34-10

<sup>4</sup>Кафедра прикладной математики и информационных технологий, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днипро, 49600, Украина, +38 (056) 756-34-10, e-mail: lyuk2406@i.ua.

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* С точки зрения надежности большинство строительных конструкций можно рассматривать после декомпозиции как систему с логически последовательным соединением элементов. Для нормального функционирования такой системы все ее элементы должны быть работоспособными. Отказ же хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы. В случае независимости отказов отдельных элементов вероятность безотказной работы системы легко определяется по известному правилу умножения вероятностей. Если же отказы элементов рассматриваемой системы статистически зависимы, то адекватно отобразить зависимость показателей надежности всей системы от вероятностных характеристик ее элементов значительно сложнее. Известный в теории вероятностей подход к решению этой задачи основан на синтезе функций (интегральной или плотности) совместного распределения вероятностей наработок до отказа отдельных элементов системы. Однако для решения практических задач такой подход крайне неудобен и фактически не используется. В данной статье рассматриваются вопросы моделирования показателей надежности стальных резервуаров для нефтепродуктов на основе гипотезы «слабейшего звена». *Цель статьи* – показать правомерность применения гипотезы «слабейшего звена» при разработке моделей оценки надежности нефтяных резервуаров, находящихся в эксплуатации. *Выводы.* Полученные результаты подтверждают правомерность применения гипотезы «слабейшего звена» при моделировании показателей надежности стальных резервуаров для длительного хранения нефтепродуктов. Предложенные модели позволяют получить комплексную вероятностную оценку технического состояния резервуаров. Параметры этих моделей могут корректироваться по данным натурных обследований, что повышает точность оценки в каждом отдельном случае. Кроме того, данные модели могут использоваться как прогнозные модели на стадии проектирования резервуаров и как модели управления надежностью в период эксплуатации этих сооружений. В итоге рассмотренные модели могут служить достаточно эффективным математическим инструментом при исследовании проблем надежности и долговечности нефтяных резервуаров.

**Ключевые слова:** нефтяные резервуары; надежность; поврежденность; индекс обеспеченности; «слабейшее звено»

## РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ НАФТОВИХ РЕЗЕРВУАРІВ

СЕМЕНЕЦЬ С. М.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
НАСОНОВА С. С.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ВЛАСЕНКО Ю. Є.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
КРИВЕНКОВА Л. Ю.<sup>4</sup>, ст. викл.

<sup>1</sup>Кафедра прикладної математики та інформаційних технологій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +380676396064, e-mail: semenets.serg@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0477-8795

<sup>2</sup>Кафедра вищої математики, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, Дніпро, 49005, Україна, тел. +380979409856, e-mail: ms.nasonova.s@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0920-7417

<sup>3</sup>Кафедра прикладної математики та інформаційних технологій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, +38 (056) 756-34-10

<sup>4</sup>Кафедра прикладної математики та інформаційних технологій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, +38 (056) 756-34-10, e-mail: lyuk2406@i.ua.

**Анотація.** *Постановка проблеми.* З точки зору надійності більшість будівельних конструкцій можна розглядати після декомпозиції як систему з логічно послідовним з'єднанням елементів. Для нормального



функціонування такої системи усі її елементи мають бути працездатними. Відмова ж хоча б одного елемента спричинює відмову усій системі. У разі незалежності відмов окремих елементів вірогідність безвідмовної роботи системи легко визначається за відомим правилом множення вірогідності. Якщо ж відмови елементів системи, що розглядається, статистично залежні, то адекватно відобразити залежність показників надійності усій системі від імовірнісних характеристик її елементів значно складніше. Відомий в теорії вірогідності підхід до розв'язання цієї задачі ґрунтується на синтезі функцій (інтегральної або щільності) спільного розподілу вірогідності напрацьовань окремих елементів системи. Проте для розв'язання практичних задач такий підхід у край незручний і фактично не використовується. У статті розглядаються питання моделювання показників надійності сталевих резервуарів для нафтопродуктів на основі гіпотези «слабкої ланки». **Мета статті** - показати правомірність застосування гіпотези «слабкої ланки» для розроблення моделей оцінки надійності нафтових резервуарів, що перебувають в експлуатації. **Висновки.** Отримані результати підтверджують правомірність застосування гіпотези «слабкої ланки» для моделювання показників надійності сталевих резервуарів для тривалого зберігання нафтопродуктів. Запропоновані моделі дозволяють отримати комплексну імовірнісну оцінку технічного стану резервуарів. Параметри цих моделей можуть коригуватися за даними натурних обстежень, що підвищує точність оцінки у кожному окремому випадку. Крім того, ці моделі можуть застосовуватися як прогнозні на стадії проектування резервуарів і як моделі управління надійністю в період експлуатації цих споруд. У результаті розглянуті моделі можуть служити досить ефективним математичним інструментом у дослідженні проблем надійності і довговічності нафтових резервуарів.

**Ключові слова:** нафтові резервуари; надійність; пошкодженість; індекс забезпеченості; «слабка ланка»

## CALCULATION MODELS OF RELIABILITY OF PETROLEUM RESERVOIRS

SEMENETS S. N.<sup>1</sup>, *PhD, Assoc. Prof.*,  
NASONOVA S. S.<sup>2</sup>, *PhD, Assoc. Prof.*,  
VLASENKO Yu. E.,<sup>3</sup> *Cand. Sc.(Tech), Assoc. Prof.*,  
KRIVENKOVA L. Yu.<sup>4</sup>, *senior lect.*

<sup>1</sup>Department of Applied Mathematics and Information Technology, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +380676396064, e-mail: semenets.serg@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0477-8795

<sup>2</sup>Department of higher mathematics, State Higher Education Establishment «Ukrainian state chemical - technological university», Gagarin str., 8, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +380979409856, e-mail: ms.nasonova.s@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0920-7417

<sup>3</sup>Department of Applied Mathematics and Information Technology, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, +38 (056) 756-34-10

<sup>4</sup>Department of Applied Mathematics and Information Technology, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, +38 (056) 756-34-10, e-mail: lyuk2406@i.ua.

**Abstract. Raising of problem.** From the point of view of reliability most building constructions can be examined after a decoupling as a system with logically successive connection of elements. For the normal functioning of such system all its elements must be capable of working. The refuse of even one element results in the refuse of all system. In case of independence of refuses of separate elements probability of faultless work of the system is easily determined by well-known rule of increase of probabilities. If the refuses of elements of the examined system are statistically dependent, then it is adequate to represent dependence of reliability of all system indexes on probabilistic descriptions of its elements considerably more difficult. The well-known in the theory of chances going near the decision of this task is based on the synthesis of functions (integral or closenesses) of joint probability of works completely of separate elements of the system distribution. However for the decision of practical tasks such approach is extremely uncomfortable and not used actually. In this article the questions of design of reliability of steel reservoirs indexes are examined for oil products on the basis of hypothesis of the "weakest link". **Purpose of the article** - to show legitimacy of application of hypothesis of the "weakest link" at development of models of estimation of reliability of petroleum reservoirs being in exploitation. **Conclusions.** The gotten results confirm legitimacy of application of hypothesis of the "weakest link" at the design of reliability of steel reservoirs indexes for standing oil product storing. Offer models allow to get the complex probabilistic estimation of the technical state of reservoirs. The parameters of these models can be corrected from data of model inspections, that promotes exactness of estimation in every special case. In addition, these models can be used as prognosis models on the stage of planning of reservoirs and as case frames by reliability in the period of exploitation of these building. The models considered in the total can serve as an effective enough mathematical instrument at research of problems of reliability and longevity of petroleum reservoirs.

**Keywords:** petroleum reservoirs; reliability; damaged; index of material well-being; "weakest link"

**Постановка проблеми.** Стальні нафтопродуктові (РВС), складаючи вертикальні циліндричні резервуари значительную часть резервуарного парка для долгосрочного хранения України, в настоящее время находятся в

состоянии активного физического износа. В связи с этим в последние годы в значительной мере повысился фактический риск отказов и, тем самым, возросла роль фактора своевременного и эффективного восстановления их работоспособности. Все это требует уточнения действующих нормативных документов по эксплуатации указанных объектов в части сроков ревизий технического состояния, что связано, прежде всего, с адекватным математическим описанием показателей их надежности и с разработкой новых моделей и методов управления надежностью в условиях физического износа. Соответствующие вопросы тем более актуальны применительно к объектам, относящимся к сооружениям высокой степени ответственности, для которых обеспечение надежности имеет решающее значение [5; 6].

С точки зрения надежности большинство строительных конструкций можно рассматривать после декомпозиции как систему с логически последовательным соединением элементов. Для нормального функционирования такой системы все ее элементы должны быть работоспособными. Отказ же хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы. Под отказом понимается переход объекта из работоспособного состояния в неработоспособное состояние.

В разнообразных прикладных задачах, связанных с оценкой и прогнозированием надежности строительных конструкций, возникает проблема моделирования показателей надежности всей системы в зависимости от вероятностных характеристик ее конструктивных элементов. В случае статистической независимости отказов отдельных элементов вероятность безотказной работы системы легко определяется по известному правилу умножения вероятностей. Если же отказы элементов рассматриваемой системы статистически зависимы, то адекватно отобразить зависимость показателей надежности всей системы от вероятностных характеристик ее элементов значительно сложнее. Известный в теории вероятностей подход к решению этой задачи основан на

синтезе функций (интегральной или плотности) совместного распределения вероятностей наработок до отказа отдельных элементов системы. Однако для решения практических задач такой подход крайне неудобен и фактически не используется. В данной статье рассматриваются вопросы моделирования показателей надежности стальных резервуаров для нефтепродуктов на основе гипотезы «слабейшего звена» [3; 4].

**Цель статьи** - показать правомерность применения гипотезы «слабейшего звена» при разработке моделей оценки надежности нефтяных резервуаров, находящихся в эксплуатации.

**Основной материал.** Нефтяной резервуар рассматривается как сложная система, состоящая из четырех логически последовательно соединенных подсистем (основных конструктивных элементов): днища, узла сопряжения стенки с днищем (моментная область корпуса резервуара, называемая еще уторным узлом), цилиндрической стенки (нижние и верхние пояса безмоментной области корпуса резервуара) и кровли. Общая схема резервуара показана на рисунке 1, а его структурная схема надежности изображена на рисунке 2. Сварные соединения принимаются равнопрочными основному металлу резервуара.

Считается, что резервуар выполняет свойственные ему функции по приему, хранению и отпуску нефтепродуктов в нормальных режимах работы в соответствии с действующими нормативными документами и с проектным уровнем залива, а ухудшение технического состояния резервуара в период эксплуатации происходит постепенно и обуславливается физическим износом его металлоконструкций. Форс-мажорные ситуации типа катастроф, грубых ошибок проектирования, изготовления и монтажа и т. д. не рассматриваются.

РВС проектируются с определенным запасом толщины конструктивных элементов, что обуславливает соответствующие начальные запасы прочности, устойчивости и герметичности. В период эксплуатации техническое

состояние резервуарных конструкций объективно ухудшается. Вследствие коррозионного износа толщина конструктивных элементов РВС уменьшается, накапливаются и развиваются другие повреждения, что неминуемо приводит к повышению риска отказов этих сооружений.

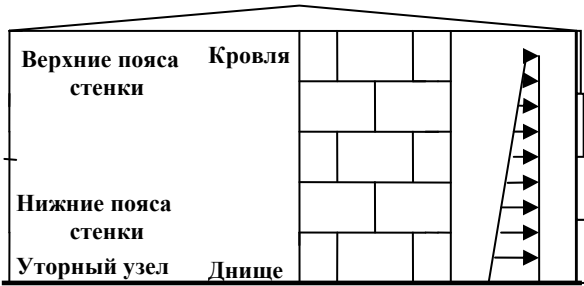


Рис. 1. Общая схема РВС / A general chart RVS

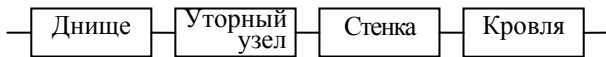


Рис. 2. Структурная схема надежности РВС / The flow diagram of reliability RVS

Согласно действующим нормативным документам [5; 6], РВС на протяжении всего срока службы должны отвечать следующим нормативным требованиям прочности, устойчивости и герметичности:

1) условию прочности цилиндрической стенки

$$\gamma_c R_y \delta_i(t) \geq p_i r, i = \overline{1, n}; \quad (1)$$

2) условию устойчивости цилиндрической стенки

$$\frac{\sigma_1(t)}{\sigma_{cr1}(t)} + \frac{\sigma_2(t)}{\sigma_{cr2}(t)} \leq 1; \quad (2)$$

3) условию прочности узла сопряжения цилиндрической стенки с днищем

$$\gamma_c R_y \delta_1^2(t) \geq 6M_0; \quad (3)$$

4) условию герметичности (ненаступления предельного состояния) днища

$$\delta_{дн}(t) \geq \frac{\delta_{дн0}}{2}; \quad (4)$$

5) условию герметичности (ненаступления предельного состояния) кровли

$$\delta_{кр}(t) \geq \frac{\delta_{кр0}}{2}. \quad (5)$$

В приведенных формулах обозначено:  $n$  – число поясов цилиндрической стенки;  $\delta_i(t) (i = \overline{1, n})$  – текущая толщина  $i$ -го пояса;  $\delta_{дн}(t), \delta_{кр}(t)$  – текущая толщина, соответственно, днища и кровли;  $r$  – радиус срединной поверхности резервуара;  $R_y$  – расчетное сопротивление стали;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы (для нижнего пояса  $\gamma_c = 0.6$ ; для остальных поясов цилиндрической стенки  $\gamma_c = 0.9$ ; для уторного узла  $\gamma_c = 1.2$ );  $p_i$  – гидростатическое давление на  $i$ -й пояс;  $\sigma_1(t), \sigma_2(t)$  – текущие значения меридиональных и кольцевых напряжений, возникающих в стенке от, соответственно, продольных и радиальных внешних нагрузок;  $\sigma_{cr1}(t), \sigma_{cr2}(t)$  – критические значения напряжений при сжатии, соответственно, в осевом и радиальном направлении;  $M_0$  – изгибающий момент в зоне сопряжения стенки и днища.

Полагая, что локальные коррозионные повреждения конструктивных элементов резервуара устраняются на основе текущих ремонтов, выполняемых в период эксплуатации в рамках действующей системы технического обслуживания и ремонтов, текущую толщину любого конструктивного элемента  $\delta(t)$  можно описать соотношением

$$\delta(t) = \delta_0 - \Delta(t), \quad (6)$$

где  $\delta_0$  и  $\Delta(t)$  – соответственно, проектное значение толщины и текущая величина необратимого коррозионного износа конструктивного элемента.

Введем следующие обозначения:

$$Z_i(t) = \gamma_c R_y \delta_i(t) - p_i r$$

– запас прочности  $i$ -го пояса цилиндрической стенки;

$$Z_c(t) = 1 - \left( \frac{\sigma_1(t)}{\sigma_{cr1}(t)} + \frac{\sigma_2(t)}{\sigma_{cr2}(t)} \right)$$

– запас устойчивости цилиндрической стенки;

$$Z_{yc}(t) = \gamma_c R_y \delta_1^2(t) - 6M_0$$

– запас прочности узла сопряжения стенки с днищем;

$$Z_{kp}(t) = \delta_{kp}(t) - \frac{\delta_{kp0}}{2}$$

– запас герметичности кровли;

$$Z_{dn}(t) = \delta_{dn}(t) - \frac{\delta_{dn0}}{2}$$

– запас герметичности днища.

В процессе эксплуатации проектные запасы прочности, устойчивости и герметичности резервуара объективно уменьшаются, что так или иначе приводит к наступлению нормативного отказа (нарушению хотя бы одного из неравенств (1) – (5)). Если своевременно не устранить такой отказ (выполнить соответствующий ремонт), наступает отказ физический, который применительно к нефтяным резервуарам обычно сопряжен с огромными экономическими, экологическими и другими потерями. Поэтому прогнозирование наступления нормативных отказов резервуаров вследствие деградации их конструктивных элементов, своевременное обнаружение и устранение эксплуатационных повреждений резервуарных конструкций – это важнейшие задачи технического обслуживания нефтяных резервуаров, находящихся в эксплуатации.

Имеющиеся данные многочисленных натурных обследований [2] показывают, что главный механизм отказов РВС – коррозионный износ конструктивных элементов - имеет случайный характер, а его величина достаточно хорошо описывается нормальным законом распределения вероятностей. Поэтому все указанные выше запасы  $Z(t)$  далее рассматриваются как случайные функции величины необратимого коррозионного износа, зависящие от времени как от параметра, а также принимается, что в любой фиксированный момент времени их значения распределяются по нормальному закону.

Введем в рассмотрение понятия индексов обеспеченности прочности, устойчивости и герметичности резервуарных конструкций как отношение математического ожидания к

среднеквадратичному отклонению соответствующих запасов. Индексом обеспеченности прочности  $i$ -го пояса цилиндрической стенки в текущий момент времени  $t$  будем называть функцию времени следующего вида:

$$w_i(t) = \frac{\gamma_c R_y \bar{\delta}_i(t) - p_i r}{\gamma_c R_y \tilde{\delta}_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где надстрочная черта и волнистая линия обозначают, соответственно, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение толщины пояса.

Аналогично определяются:

- индекс обеспеченности прочности уторного узла в текущий момент времени  $t$ :

$$w_{yc}(t) = \frac{\gamma_c R_y \bar{\delta}_1^2(t) - 6M_0}{\gamma_c R_y \tilde{\delta}_1^2}; \quad (8)$$

- индекс обеспеченности устойчивости цилиндрической стенки в текущий момент времени  $t$ :

$$w_c(t) = \frac{\bar{Z}_c(t)}{\tilde{Z}_c(t)}; \quad (9)$$

- индексы обеспеченности герметичности днища и кровли в текущий момент времени  $t$ :

$$w_{dn}(t) = \frac{\bar{\delta}_{dn}(t) - \delta_{dn0}/2}{\tilde{\delta}_{dn}(t)}; \quad (10)$$

$$w_{kp}(t) = \frac{\bar{\delta}_{kp}(t) - \delta_{kp0}/2}{\tilde{\delta}_{kp}(t)}. \quad (11)$$

Следует отметить, что все приведенные выше индексы являются безразмерными детерминированными функциями времени и выражаются через математические ожидания и среднеквадратические отклонения толщин основных конструктивных элементов резервуара. Их значения могут прогнозироваться во времени и корректироваться по фактическим замерам толщины конструктивных элементов при технических обследованиях резервуара.

Учитывая принятый нормальный закон распределения вероятностей всех указанных выше запасов, а также то, что критерием отказа резервуара является исчерпание (отрицательность) хотя бы одного из этих запасов, вероятности сохранения прочности,

устойчивости и герметичности резервуара в процессе эксплуатации можно выразить через соответствующие индексы обеспеченности следующим образом:

Вероятность сохранения прочности  $i$ -го пояса на протяжении времени  $t$

$$P_i(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{w_i} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du. \quad (12)$$

Вероятность сохранения устойчивости цилиндрической стенки на протяжении времени  $t$

$$P_{cm}^y(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{w_c} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du. \quad (13)$$

Вероятность сохранения прочности уторного узла на протяжении времени  $t$

$$P_{yc}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{w_{yc}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du. \quad (14)$$

Вероятности сохранения герметичности (ненаступления предельного состояния) днища и кровли:

$$P_{дн}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{w_{дн}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du; \quad (15)$$

$$P_{кр}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{w_{кр}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du. \quad (16)$$

Заметим, что для того, чтобы по заданному значению индекса обеспеченности  $w$  найти соответствующую ему вероятность  $P$  (или наоборот), можно воспользоваться известной в теории вероятностей табуляционной таблицей функции нормированного нормального распределения вероятностей. Фрагмент этой таблицы приведен ниже (табл. 1).

Таблица 1

Значения  $P$  в зависимости от параметра  $w$  /  
Values of probability of  $P$  depending on a parameter  $w$

$P$	0,5	0,8413	0,9332	0,9773	0,9934	0,9987	0,9997	0,9999
$w$	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

При определении вероятности безотказной работы всего резервуара будем исходить из следующих положений.

1. Отказ резервуара наступает при переходе в неработоспособное состояние хотя бы одного из его основных конструктивных элементов.

2. Поскольку коррозия является общим и главным механизмом физического износа металлоконструкций нефтяного резервуара, их отказы нельзя рассматривать как статистически независимые события.

3. Отказы основных конструктивных элементов резервуара являются следствием их физического износа, а первым в процессе эксплуатации отказывает наиболее поврежденный (слабейший) элемент (аналогично механической цепи, работающей на растяжение в агрессивной среде).

Учитывая данные положения (их справедливость достаточно очевидна) и принимая в качестве меры поврежденности металлоконструкций резервуара на том или ином этапе эксплуатации индексы обеспеченности прочности, устойчивости и герметичности, можно считать, что первым в процессе эксплуатации отказывает тот конструктивный элемент, который соответствует наименьшему из указанных индексов. Однако, чем меньше индекс обеспеченности, тем больше вероятность отказа соответствующего конструктивного элемента. Поэтому вероятность безотказной работы резервуара (как системы, состоящей из четырех конструктивных элементов, соединенных логически последовательно) на протяжении времени  $t$  от начала эксплуатации может быть найдена на основе модели «слабейшего звена». Эта вероятность определяется следующим образом:

$$P_p(t) = \min\{P_{cm}(t), P_{yc}(t), P_{дн}(t), P_{кр}(t)\} \quad (17)$$

где вероятность безотказной работы цилиндрической стенки  $P_{cm}(t)$  вычисляется по формуле

$$P_{cm}(t) = \min\{P_i(t), \dots, P_n(t), P_{cm}^y(t)\}, \quad (18)$$

а вероятности безотказной работы узла сопряжения, днища и кровли – по формулам (14) – (16).

Заметим, что вероятность  $P_p(t)$  рассматривается нами как вероятность сохранения работоспособности резервуара в рамках действующей системы технического обслуживания и ремонтов. Эту вероятность еще можно трактовать как вероятность того, что на протяжении времени  $t$  не потребуется капитальный ремонт резервуара.

Численные расчеты проводились применительно к типовому проекту РВС –5000 со следующими геометрическими характеристиками: высота стенки – 1 490 см; диаметр стенки – 2 092 см; толщина днища – 5 мм; толщина кровли – 3 мм; количество поясов стенки – 10; толщина поясов стенки, начиная с нижнего, – соответственно 9, 7, 7, 6, 5, 5, 4, 4, 4, 4 мм.

Плотность хранимого нефтепродукта принималась равной  $0.0009 \text{ кг/см}^3$ , величина избыточного давления в газовом пространстве резервуара – 2.0 кПа, вакуум – 0.25 кПа, высота залива 1420 см, расчетное сопротивление стали – 230 МПа.

Величина необратимого коррозионного износа конструктивных элементов резервуара вычислялась по упрощенной формуле

$$\Delta = v_s t,$$

где  $v_s$  – средняя скорость поверхностной коррозии конструктивного элемента, которая рассматривалась как случайная величина, распределенная по нормальному закону. Статистические характеристики этой скорости для отдельных элементов принимались по [2].

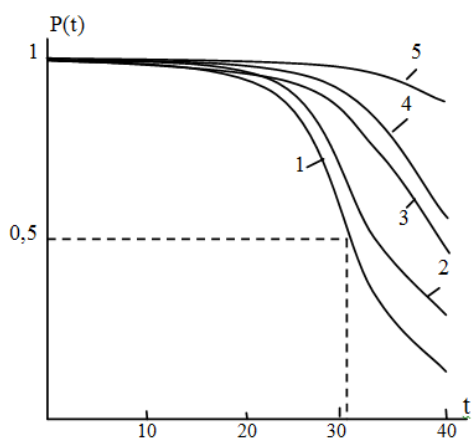


Рис. 3. Графики изменения вероятностей безотказной работы / Charts of change of probabilities of faultless work

На рисунке 3 приведены графики изменения во времени (на протяжении 40 лет эксплуатации) вероятностей безотказной работы основных конструктивных элементов резервуара. На этом рисунке обозначено: 1 и 3 – соответственно, вероятности ненаступления предельного состояния днища и кровли; 2 – вероятность безотказной работы узла сопряжения стенки с днищем; 4 и 5 – соответственно, вероятности сохранения прочности и устойчивости цилиндрической стенки. Эти графики показывают, в частности, что средняя наработка резервуара до первого капитального ремонта (замены днища) составляет немногим более 30 лет, а потеря устойчивости цилиндрической стенки для данного типа резервуаров не характерна, что полностью согласуется с данными натурных обследований [2] и статистикой капитальных ремонтов нефтяных резервуаров. Тем самым, гипотеза «слабейшего звена» в целом правильно отражает процессы деградации нефтяных резервуаров в процессе эксплуатации.

**Выводы.** Полученные результаты подтверждают правомерность применения гипотезы «слабейшего звена» при моделировании показателей надежности стальных резервуаров для длительного хранения нефтепродуктов. Предложенные модели (7)-(18) позволяют получить комплексную вероятностную оценку технического состояния резервуаров. Параметры этих моделей могут корректироваться по данным натурных обследований, что повышает точность прогноза в каждом отдельном случае. Кроме того, данные модели могут использоваться как прогнозные на стадии проектирования резервуаров и как модели управления надежностью в период эксплуатации этих сооружений. В итоге рассмотренные модели могут служить достаточно эффективным математическим инструментом при исследовании проблем надежности и долговечности нефтяных резервуаров.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обеспечение надежности сложных технических систем : учеб. для вузов / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов, О. Л. Шестопалова. – Санкт Петербург : Лань, 2011. – 352 с.
2. Егоров Е. А. Исследования и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных резервуаров, находящихся в эксплуатации : монография / Е. А. Егоров. – Днепропетровск : ПГАСА, 1996. – 99 с.
3. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон ; пер. с англ. Коваленко Е. Г., под ред. Ушакова И. А. – Москва : Мир, 1980. – 604 с.
4. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем : учеб. пособие / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – 2-е изд., перераб. – Москва : Физматлит, 2010. – 606 с.
5. Правила технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту : [змінені розділи та пункти розділів] / ДПІ УкрДІПРОнафтотранс. – [Чинні від 03.07.1999]. – Київ : Укрнафтопродукт, 1997. – 297 с.
6. Будинки і споруди. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93.3 кПа : ВБН 2.2-58.2-94 / Держ. ком. України по нафті і газу. – Чинні від 01.10.1994. – Київ : Держкомнафтогаз, 1994. – 98 с.
7. Семенец С. Н. Оценка фактора восстановления нефтяных резервуаров в процессе эксплуатации / С. Н. Семенец, С. С. Насонова // Інформаційні технології в освіті, науці та управлінні : зб. наук. праць / ДВНЗ "Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури", Укр. асоціація "Жінки в науці та освіті" (Дніпропетр. вид-ня) ; голов. ред. В. В. Кулябко. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2015. – Вип. 3. – С. 72–77.

## REFERENCES

1. Dorokhov A.N., Kernozhickij V.A., Mironov A.N. and Shestopalova L.O. *Obespechenie nadezhnosti slozhnykh texnicheskix sistem* [Ensuring the reliability of complex technical systems]. Sankt Peterburg: Lan', 2011, 352 p. (in Russian).
2. Egorov E.A. *Issledovanie i metody raschetnoj ocenki prochnosti, ustojchivosti i ostatochnogo resursa stalnykh rezervuarov, naxodyashixsya v ekspluacii* [Research and methods of calculation estimation of durability, stability and remaining resource of steel reservoirs being in exploitation]: Dnepropetrovsk: PGASA, 1996, 99 p. (in Russian).
3. Kapur K. and Lamberson L., ed. by Ushakov I.A. *Nadezhnost' i proektirovanie sistem* [Reliability and designing systems]. Moskva: Mir, 1980, 604 p. (in Russian).
4. Kashtanov V.A. and Medvedev A.I. *Teoriya nadezhnosti slozhnykh system* [Theory of reliability of complex system]. Ed. 2, Moskva: Fizmatlit, 2010, 606 p. (in Russian).
5. *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii rezervuariv ta instruksii po ikh remontu: [zmineni rozdily ta punkty rozdily]* [Rules of technical operation of tanks and instructions for their repair: [sections and subsections were changed]]. *PI UkrDIPRONaftotrans* [The State Project Institute UkrDIPRONaftotrans]. Dated on 03.07.1999. Kyiv: Ukrnaftoprodukt, 1997, 297 p. (in Ukrainian).
6. *Reservuary vertikalni stalevi dlia sberigannia nafty i naftoproduktiv s tyskom nasychenykh pariv ne vyshche 93.3 kPa: VBN 2.2-58.2-94* [Reservoirs are vertical steel for storage oils and oil products with pressure of saturated парів not higher 93.3 kPa: the Departmental Building Regulations 2.2-58.2-94]. *Derzh. kom. Ukrainy po nafti i gazu* [State companies on fuel and gas]. Dated on 01.10.1994. Kyiv: Derzhkomnaftogaz, 1994, 98 p. (in Ukrainian).
7. Semenets S.N. and Nasonova S.S., ed. by Kulyabko V.V. *Otsenka faktora vosstanovleniia neftianykh rezervuarov v protsesse ekspluatatsii* [Estimation of factor of renewal of petroleum reservoirs in the process of exploitation]. *Informazhiini tekhnolohii v osviti, nauzhi ta upravlinni* [Information technologies in education, science and management]. DVNZ "Prydnipr. derzh. akad. bud-va ta arkhitektury", Ukr. asotsiatsiia "Zhinky v nautsi ta osviti" [SHEE "Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", Ukrainian Association "Women in science and education"]. Dnipropetrovsk: PDABA, 2015, iss. 3, pp. 72–77. (in Russian).

Рецензент: Красовський В. Л., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 20.12.2017 р.



УДК 699.86

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.60.41

## АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ

ГОЛОВАТИЙ В. Д.<sup>1</sup>, студ.,  
ЮРЧЕНКО Є. Л.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
КОВАЛЬ О. О.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, с. н. с.,  
МАМОН С. А.<sup>4</sup>, директор

<sup>1</sup>Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (099) 237-36-86, e-mail: vlad.holovaty@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2796-9386

<sup>2</sup>Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-10-36, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

<sup>3</sup>Придніпровський науково-освітній інститут інноваційних технологій в будівництві, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-10-55, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

<sup>4</sup>ТОВ «Будівельна компанія «КИТОВРАС»», вул. Січових стрільців 37/41, Київ, 04053, Україна, e-mail: sam.midgard@gmail.com тел. +380503201948

**Анотація.** Одне з головних завдань будівельного сектора - енергозбереження, а саме: зменшення витрат теплоти на опалення житлового фонду. Запропоновано аналіз розрахунків теплотехнічних параметрів огорожувальної оболонки будівлі за діючими будівельними нормами. **Мета статті** - на прикладі різних конструктивних схем огорожувальних конструкцій визначити оптимальні параметри теплового захисту будівель. **Методика.** Реалізовано методику розрахунку тепловтрат будівлі з урахуванням її архітектурно-конструктивних особливостей. **Результати.** Досліджено відмінність у розрахунках систем утеплення за різними нормами. **Наукова новизна.** Отримано чисельні дані стосовно результатів вибору параметрів утеплювача в системах із вентиляваним фасадом та з індустріальним опорядженням. **Практична значимість.** Надано практичні рекомендації щодо утеплення існуючих будівель для умов України.

**Ключові слова:** енергоефективність; огорожувальні конструкції; приведений опір теплопередачі; лінійний коефіцієнт теплопередачі; точковий коефіцієнт теплопередачі

## АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

ГОЛОВАТЫЙ В. Д.<sup>1</sup>, студ.,  
ЮРЧЕНКО Е. Л.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.  
КОВАЛЬ Е. А.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, с.н.с.  
МАМОН С. А.<sup>4</sup>, директор

<sup>1</sup>Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (099) 237-36-86, e-mail: vlad.holovaty@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2796-9386

<sup>2</sup>Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-10-36, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

<sup>3</sup>Приднепровский научно-образовательный институт инновационных технологий в строительстве, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-10-55, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

<sup>4</sup>ООО «Строительная компания «КИТОВРАС»», ул. Сичовых стрелцов 37/41, Киев, 04053, Украина, e-mail: sam.midgard@gmail.com тел. +380503201948

**Аннотация.** Одной из главных целей строительного сектора является энергосбережение, а именно: уменьшение потерь тепла на отопление жилого фонда. В работе предложен анализ расчета теплотехнических параметров ограждающей оболочки здания по действующим строительным нормам. **Цель статьи** - на примере различных конструктивных схем ограждающих конструкций зданий определить оптимальные параметры тепловой защиты зданий. **Методика.** Реализована методика расчета теплотерь здания с учетом его архитектурно-конструктивных особенностей. **Результаты.** Исследовано различие в расчетах систем утепления по разным нормам. **Научная новизна.** Получены числовые данные, касательно результатов выбора параметров утеплителя в системах с вентилируемым фасадом и индустриальной отделкой. **Практическая значимость.** Представлены практические рекомендации утепления существующих зданий в Украине.

**Ключевые слова:** энергоэффективность; ограждающие конструкции; приведенное сопротивление теплопередачи; линейный коэффициент теплопередачи; точечный коэффициент теплопередачи

## THE ANALYSIS OF HEAT ENGINEERING PARAMETERS OF BUILDING'S THERMAL PROTECTION

HOLOVATYI V. D.<sup>1</sup>, student of group PCB-16m

YURCHENKO Yev. L.<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Ass.-prof.

KOVAL O. O.<sup>3</sup>, Cand. Sc. (Tech.)

MAMON C. A.<sup>4</sup>, director

<sup>1</sup>Department of Reinforce-Concrete and Stone Construction, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevsky st. 24a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (099) 237-36-86, e-mail: vlad.holovaty@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2796-9386

<sup>2</sup>Department of Reinforce-Concrete and Stone Structures, State Higher Education Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevsky St. 24a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-10-36, e-mail: yel@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9356-3261

<sup>3</sup>Pridneprovsky Research and Educational Institute for Innovation Technology in Construction, State Higher Education Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevsky St. 24a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-10-55, e-mail: 13koval@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7805-6811

<sup>4</sup>LLC «Construction company «KITOVRAS»», st. Sichovyh strelchov 37/41, Kiev, 04053, Ukraine, e-mail: sam.midgard@gmail.com тел. +380503201948

**Abstract.** Energy efficiency is a one of most important goals in a building sector, namely reduction of heat losses for heating of housing stock. The article presents the results of analysis of heat engineering parameters calculation of building's enclosing sheath by applicable building codes. **Purpose.** To define an optimal parameters of heat resistance of constructions on an example different design schemes of building walling. **Methodology.** The calculation method of building heat losses with considering its architectural and design features was implemented. **Conclusion.** The difference in calculations of thermal insulation systems in a different codes was researched. **Originality.** The numerical data concerning results of the insulation parameters selection in systems with a ventilated facade and industrial finishes was received. **Practical value.** The practical recommendations concerning insulation of existing building in the Ukraine's conditions was represented.

**Keywords:** energy efficiency; the protecting designs; reduced resistance to heat transfer; linear coefficient of thermal conductivity; point coefficient of thermal conductivity

**Постановка проблеми.** Введені у дію з 01.05.2017 року ДБН В.2.6-31:2016 [1] «Теплова ізоляція будівель» змінили підходи до визначення класу енергетичної ефективності будинку порівняно з ДБН В.2.6-31:2006 [2]. Клас енергоефективності визначається вже не за питомими тепловитратами на опалення будинків, а за річною енергопотребною будівлі в опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні.

Ще одна принципова відмінність полягає у застосуванні системного принципу проектування за вимогами до енергоефективності будівлі. Вимоги до опору теплопередачі елементів теплоізоляційної оболонки будівлі альтернативні до системного принципу проектування огорожувальних конструкцій. У разі застосування системного принципу проектування за вимогами до енергоефективності будівлі, вимоги до показників мінімально допустимої температури внутрішньої

поверхні огорожувальних конструкцій, температурного перепаду між температурою внутрішнього повітря і наведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, вологісного режиму, повітропроникності огорожувальної конструкції, показників теплостійкості перевіряються обов'язково.

Також треба зазначити, що в ДСТУ В.2.6-31:2013 [3], на котрий для розрахунку приведенного опору огорожувальної конструкції посилається ДБН В.2.6-31:2016 [1], був змінений підхід до розрахунку приведенного опору огорожувальної конструкції порівняно з розрахунком, приведеним у ДБН В.2.6-31:2006 [2].

**Мета статті** – шляхом розрахунку приведенного опору фрагмента стінової конструкції житлового панельного будинку з фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляваним повітряним прошарком за методикою розрахунку, наведеною в ДСТУ В.2.6-

31:2013 [3] та ДБН В 2.6.-31:2006 [2], виявити різницю у для подальшого розрахунку.

**Виклад матеріалу.** Для розрахунку обрано типовий фрагмент стінової конструкції житлового панельного будинку з фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляльованим повітряним прошарком. Як типовий фрагмент розглядається рядова залізобетонна стінова панель розмірами 3,0 м × 3,75 м (висота × ширина), що по горизонталі та вертикалі примикає до аналогічних стінових панелей. Товщина стінової панелі складає 160 мм, теплоізоляційний шар передбачається влаштувати зі спінених пінополістирольних плит з густиною 25 кг/м<sup>3</sup>. Пінополістирольні плити кріпляться до несної стіни за допомогою пластикових дюбелів із металевим стрижнем. Кількість дюбелів із розрахунку 8 шт на 1 м<sup>2</sup>. Із внутрішнього боку зовнішніх стін влаштовується цементно-піщана штукатурка товщиною 15 мм. Несні елементи підсистеми вентиляльованого фасаду кріпляться до стінової панелі з розрахунку 2 шт на 1 м<sup>2</sup>. Стінова панель має віконний проріз розмірами 1,5 м × 1,5 м. Загальна площа непрозорої частини фрагмента фасаду дорівнює 9 м<sup>2</sup>.

Кліматичні умови м. Дніпро.

Необхідно визначити мінімально допустиму товщину теплоізоляційного шару для забезпечення нормативних вимог ДБН В.2.6-31:2016 [1].

Нормативні вимоги згідно з ДБН В.2.6-31:2016 [1]: мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для непрозорих частин зовнішніх стін в I температурній зоні експлуатації України (м. Дніпро) становить  $R_{q\min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

**Розрахунок згідно з ДСТУ В.2.6-189:2013 [3]:**

- Товщину теплоізоляційного шару приймають рівною 150 мм.
- Визначають опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою 1 ДСТУ В.2.6-189:2013 [3]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (1)$$

де  $\alpha_B, \alpha_3$  - коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/м<sup>2</sup>×К, приймають згідно з Додатком Б ДСТУ В.2.6-189:2013 [8], і дорівнюють:  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\alpha_3 = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\delta_i$  - товщина  $i$ -го шару зовнішніх стін, м;  $\lambda_{ip}$  - розрахункова теплопровідність матеріалу  $i$ -го шару зовнішніх стін в розрахункових умовах, Вт/м<sup>2</sup>×К, приймають згідно з Додатком А, для умов експлуатації «Б».

Отже, характеристики шарів стінової конструкції:

- 1)  $\delta_1 = 0,015 \text{ м}$ ,  
 $\lambda_1 = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - характеристика внутрішньої штукатурки;
- 2)  $\delta_2 = 0,16 \text{ м}$ ,  
 $\lambda_2 = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - характеристика залізобетонної панелі;
- 3)  $\delta_3 = 0,15 \text{ м}$ ,  
 $\lambda_3 = 0,053 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - характеристика спінених пінополістирольних плит густиною 25 кг/м<sup>3</sup>.

Тоді:

$$R_{\Sigma} = 3,123025 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}].$$

Визначають характерні ділянки та типи теплопровідних включень.

На фрагменті, що розглядається, присутні такі теплопровідні включення, що належать до непрозорої огорожувальної конструкції:

- a) відкоси віконних прорізів у зоні надвіконної перемички, підвіконня, рядового примикання-лінійні елементи;
- b) дюбелі для кріплення пінополістирольних плит-точкові елементи;
- c) несні кронштейни для кріплення елементів підсистем вентиляльованого фасаду - точкові елементи.

Для вищезазначених теплопровідних включень за проектними даними та даними Додатків Г та Д ДСТУ В.2.6-189:2013 [3] визначають кількісні показники та характеристики лінійних та точкових

коефіцієнтів теплопередачі. Результати наведені в таблиці 1.

На підставі даних таблиці 1 визначають приведенний опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою 2 ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [3]:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^i \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^j k_j L_j + \sum_{k=1}^k \psi_k N_k}; \quad (2)$$

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^i \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^j k_j L_j + \sum_{k=1}^k \psi_k N_k} =$$

$$= 2,364799 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}]$$

Установлена величина не задовольняє нормативним вимогам ДБН Б В.2.6-31.

Збільшимо товщу утеплювача до 250 мм, тоді:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^i \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^j k_j L_j + \sum_{k=1}^k \psi_k N_k} =$$

$$= 3,3088 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}]$$

Таблиця 1

Теплопровідні включення та їх кількісне вираження / Thermal conductors and their quantitative expression

Найменування теплопровідного включення	Протяжність, м	Кількість, шт	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, $k$ , Вт/(м·К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі, $\psi$ , Вт/К
Віконний відкос у зоні перемички	1,5	-	0,063	-
Віконний відкос у зоні підвіконня	1,5	-	0,035	-
Віконний відкос у зоні рядового примикання	3,0	-	0,049	-
Дюбелі для кріплення пінополістирольних плит	-	72	-	0,005
Несні кронштейни для кріплення елементів підсистеми вентиляваного фасаду	-	18	-	0,015

Таким чином, мінімально необхідна товщина теплоізоляції стінової конструкції з залізобетонної плити товщиною 160 мм з

спінених пінополістирольних плит густиною 25 кг/м<sup>3</sup> становить 250 мм.

**Розрахунок згідно з ДБН В.2.6-31:2006 [2]:**

Товщину теплоізоляційного шару приймають рівною 150 мм.

Визначають опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою 3 ДБН В.2.6-31:2006 [2]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (3)$$

де  $\alpha_B, \alpha_3$  - коефіцієнти тепловіддачі

внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/м<sup>2</sup>·К, приймають згідно з Додатком Е ДБН В.2.6-31:2006 [2], і дорівнюють:

$\alpha_B = 8,7$  [Вт/(м<sup>2</sup>·К)];  $\alpha_3 = 23$  [Вт/(м<sup>2</sup>·К)];

$\delta_i$  - товщина  $i$ -го шару зовнішніх стін, м;

$\lambda_{ip}$  - розрахункова теплопровідність матеріалу  $i$ -го шару зовнішніх стін у розрахункових умовах, Вт/м<sup>2</sup>·К, приймають згідно з Додатком Л, для умов експлуатації «Б».

Отже, характеристики шарів стінової конструкції:

а)  $\delta_1 = 0,015$  м,

$\lambda_1 = 0,93$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) - характеристика внутрішньої штукатурки;

б)  $\delta_2 = 0,16$  м,

$\lambda_2 = 2,04$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) - характеристика залізобетонної панелі;

в)  $\delta_3 = 0,15$  м,

$\lambda_3 = 0,053$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) - характеристика спінених пінополістирольних плит густиною 25 кг/м<sup>3</sup>.

Тоді:

$$R_{\Sigma} = 3,08317 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}].$$

Установлена величина не задовольняє нормативним вимогам ДБН Б В.2.6-31-2006 [2].

Збільшимо товщу утеплювача до 200 мм, тоді:

$$R_{\Sigma} = 4,027 [\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}].$$

Таким чином, мінімально необхідна товщина теплоізоляції стінової конструкції з залізобетонної плити товщиною 160 мм зі спінених пінополістирольних плит густиною  $25 \text{ кг/м}^3$  становить 200 мм.

Аналогічним методом також було розраховано та порівняно приклад фрагмента стінової конструкції будинку з фасадною теплоізоляцією та з індустріальним опорядженням. Несна конструкція виконана із силікатної цегли густиною  $1800 \text{ кг/м}^3$  та товщиною 510 мм із віконним прорізом розмірами  $1.3 \text{ м} \times 1.4 \text{ м}$ . Теплоізоляційний шар передбачається влаштовувати з пінополістирольних плит з густиною  $25 \text{ кг/м}^3$ .

Порівняння результатів наведені в таблиці 2, також у вигляді діаграм на рисунках 1 і 2.

Таблиця 2

Зведена таблиця порівняння методів розрахунку / Summary table of calculation methods

Нормативний документ	1-й приклад		2-й приклад	
	$R_{\Sigma}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$\delta_{\text{утепл}}$ , мм	$R_{\Sigma}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$\delta_{\text{утепл}}$ , мм
ДСТУ В.2.6-189:2013	3,31	250	3,22	200
ДБН В.2.6-31:2006	4,03	200	3,6	150

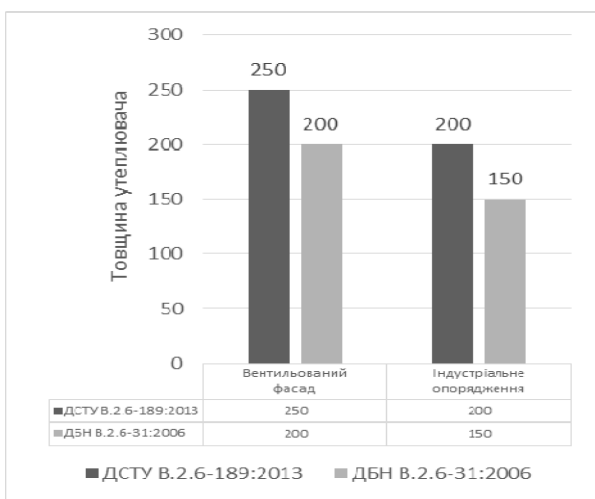


Рис. 1. Порівняння товщин утеплювача / Comparison of the thickness of the heater

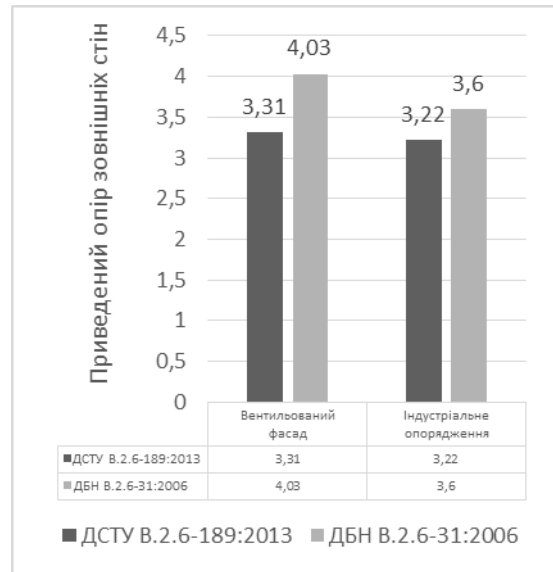


Рис. 2. Порівняння приведеного опору теплопередачі / Comparison of reduced resistance to heat transfer

**Висновки.** В результаті проведених розрахунків приведеного опору фрагмента стінової конструкції житлового панельного будинку із фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляваним повітряним прошарком виявлено розбіжність в отриманих результатах, розрахованих за методиками ДСТУ В.2.6-189:2013 та ДБН В.2.6-31:2006.

Розраховуючи приведений опір за ДСТУ В.2.6-189:2013, ми отримали значення приведеного опору в розмірі  $3,31 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  у першому випадку та  $3,22 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  - у другому і в результаті товщу утеплювача в розмірі 250 мм та 200 мм, а розраховуючи за методикою, наведеною в ДБН В.2.6-31:2006, ми отримали значення приведеного опору в розмірі  $4,03 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  в першому випадку і  $3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  - у другому і відповідно товщу утеплювача в розмірі 200 мм та 150 мм.

Цю розбіжність пояснює новий підхід, наведений в ДСТУ В.2.6-189:2013, в якому визначають та застосовуються характерні ділянки та типи теплопровідних включень. Для практикуючих проектувальників розраховані товщини ефективного утеплювача в найпоширеніших системах утеплювача. Розрахунками доведено, що мінімальна товщина утеплювача для ефективного енергозбереження в умовах України становить від 200 мм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2016. – Чинні від 2017-05-01 ; на заміну ДБН В.2.6-31:2006. – Київ : Мінрегіон України. – 2017. – 30 с.
2. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006. – Чинні з 2007-04-01 ; на заміну СНиП II-3-79. – Київ : Мінбуд України. – 2006. – 71 с.
3. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель : ДСТУ Б В.2.6-189:2013. – Чинні від 2014-01-01. – Київ : Мінрегіон України. – 2014. – 51 с.
4. Economic Feasibility Evaluation of Building Passive / Ievgenii Iurchenko, Olena Koval, Mykola Savytskyi and Karim Limam // Journal of Energy and Power Engineering Houses. – 2014. – Vol. 8. – P. 1047–1053. – Режим доступу: <http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/5526295498503.pdf>. – Проверено: 05.06.2018.
5. Development of low-rise energy-efficient construction in Ukraine / M. Savytskyi, Iev. Iurchenko, O. Koval, M. Babenko // Seismic resistance and rehabilitation of buildings : International Conferens Seismics-2014 (Tbilisi, 29-30 May 2014) / ECCE, GSCE, WCCE, Ministry of Regional Development and Infrastructure of Georgia. – Tbilisi, 2014. – P. 5–11. – Режим доступу: [http://www.ecceengineers.eu/news/2014/59\\_Intl\\_Conf\\_Seismic\\_design\\_papers.pdf](http://www.ecceengineers.eu/news/2014/59_Intl_Conf_Seismic_design_papers.pdf). – Проверено: 05.06.2018.

## REFERENCES

1. *Tplova izoliatsiia budivel: DBN V 2.6-31-2016* [Thermal insulation of buildings: the State Building Regulations V.2.6-31: 2016]. Dated on 2016-01-10. Kyiv: Minregion Ukraine, 2017, 30 p. (in Ukrainian).
2. *Konstruktzii budynkiv i sporud. Tplova izoliatsiia budivel: DBN V.2.6-31:2006* [Structures of buildings and structures. Thermal insulation of buildings: the State Building Regulations V.2.6-31: 2006.]. Dated on 2007-04-01. Kyiv: Minbud Ukraine, 2006, 71 p. (in Ukrainian).
3. *Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel: DSTU B V.2.6-189:2013* [Methods of choosing insulation material for insulation of buildings: the State Standards of Ukraine V.2.6-189: 2013.]. Dated on 2014-01-01. Kyiv: Minregion Ukraine, 2014, 51 p. (in Ukrainian).
4. Yurchenko Ye., Koval O., Savytskyi M. and Limam K. *Economic Feasibility Evaluation of Building Passive*. Journal of Energy and Power Engineering Houses. 2014, vol. 8, pp.1047–1053. Available at: <http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/5526295498503.pdf>. (Accessed on Jun 05, 2018).
5. Savytskyi M., Yurchenko Ye., Koval O. and Babenko M. *Development of low-rise energy-efficient construction in Ukraine*. Seismic resistance and rehabilitation of buildings : International Conferens Seismics-2014 (Tbilisi, 29-30 May 2014). ECCE, GSCE, WCCE, Ministry of Regional Development and Infrastructure of Georgia. Tbilisi, 2014, pp. 5–11. Available at: [http://www.ecceengineers.eu/news/2014/59\\_Intl\\_Conf\\_Seismic\\_design\\_papers.pdf](http://www.ecceengineers.eu/news/2014/59_Intl_Conf_Seismic_design_papers.pdf) (Accessed on Jun 05, 2018).

*Рецензент: Савицький М. В., д-р техн. наук, проф.*

Надійшла до редколегії: 12.12.2017 р.

УДК 504:711.582.5

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.66.42

## ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ «ЗЕЛЕНОЇ» РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРИМАГІСТРАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ

ТИМОШЕНКО О. А.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,

ЖЕРДЕВА М. І.<sup>2</sup>, магістр,

ЧЕРЕПОВСЬКА А. Г.<sup>3</sup>, магістр.

<sup>1</sup>Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail : timshenkelena09121969@gambler.ru, ORCID ID : 0000-0003-3114-9820

<sup>2</sup>Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (063) 932-73-80, e-mail : madam.zherdeva@mail.ru

<sup>3</sup>Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (063)145-99-18, e-mail : alina.petka@mail.ru

**Анотація. Постановка проблеми.** Частка відпрацьованих газів автомобілів у забрудненні атмосферного повітря м. Дніпро змінюється залежно від часу та пропорційна інтенсивності руху транспортних засобів. Максимальна концентрація відмічається в години пік. В умовах руху з однією і тією ж інтенсивністю найбільше забруднення повітря спостерігається в районах, щільно забудованих високими будинками, і вздовж доріг із вузькою проїжджою частиною. Граничні концентрації шкідливих або токсичних компонентів у повітрі встановлюються як гігієнічні норми, тобто з точки зору безпосередньої охорони здоров'я людини. Особливо небезпечні для здоров'я людини окис вуглецю і оксиди азоту. Незалежно від існуючої відмінності думок щодо ступеня шкідливості відпрацьованих газів, у всьому світі з метою охорони здоров'я людини проводяться серйозні заходи, спрямовані на обмеження забруднення повітря автомобільними викидами. **Мета статті** – визначити екологічний та економічний ефекти від застосування заходів, що знижують ступінь загазованості примігистральної території лінійними джерелами забруднення. **Виклад основного матеріалу.** Реконструкція примігистральної території передбачає закладання вздовж магістральних вулиць газозахисних смуг зелених насаджень. Запропоновано варіанти таких смуг. Визначено екологічний та економічний ефекти від застосування спеціальних смуг озеленення в житловому районі, а також економічні збитки від загазованості примігистральних територій вихлопними газами автомобілів без урахування смуг озеленення та з урахуванням. **Результати дослідження.** Екологічний ефект склав 40...50 % залежно від досліджуваної вулиці, а економічний ефект – 3,424 млрд грн/рік (у цілому по всіх вулицях). Економічні збитки склали: в умовах існуючої житлової забудови – 17,616 млрд грн/рік, в умовах облаштування газозахисних смуг – 13,583 млрд грн/рік.

**Ключові слова:** еколого-економічне оцінювання; рівень загазованості; газозахисна смуга озеленення; примігистральна територія; реконструкція житлового району

## ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ «ЗЕЛеноЙ» РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИМАГИСТРАЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ

ТИМОШЕНКО Е. А.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,

ЖЕРДЕВА М. И.<sup>2</sup>, магистр,

ЧЕРЕПОВСКАЯ А. Г.<sup>3</sup>, магистр

<sup>1</sup>Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, г. Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-05, e-mail : timshenkelena09121969@gambler.ru, ORCID ID : 0000-0003-3114-9820

<sup>2</sup>Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, г. Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (063) 932-73-80, e-mail : madam.zherdeva@mail.ru

<sup>3</sup>Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, г. Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (063)145-99-18, e-mail : alina.petka@mail.ru

**Аннотация. Постановка проблемы.** Доля отработанных газов автомобилей в загрязнении атмосферного воздуха г. Днепро меняется в зависимости от времени и пропорциональна интенсивности движения транспортных средств. Максимальная концентрация отмечается в часы пик. При движении автотранспорта с одинаковой интенсивностью максимальный уровень загрязнения воздуха наблюдается в районах, плотно застроенных высокими домами, и вдоль дорог с узкой проезжей частью. Предельные концентрации вредных или токсичных компонентов в воздухе устанавливаются в качестве гигиенических норм, то есть с точки зрения

непосредственной охраны здоровья человека. Особенно опасными для здоровья человека являются окись углерода и окислы азота. Независимо от существующих различий во мнениях относительно степени вредности отработанных газов во всем мире с целью охраны здоровья человека проводятся серьезные мероприятия, направленные на ограничение загрязнения воздуха автомобилями. **Цель статьи** – определить экологический и экономический эффекты от применения мер, снижающих степень загазованности примагистральной территории линейными источниками загрязнения. **Изложение основного материала.** Реконструкция примагистральной территории предусматривает устройство вдоль магистральных улиц газозащитных полос зеленых насаждений. Предложены варианты именно таких полос. Определены экологический и экономический эффекты от применения специальных полос озеленения в жилом районе, а также экономический ущерб от загазованности примагистральных территорий выхлопными газами автомобилей без учета полос озеленения и с их учетом. **Результаты исследования.** Экологический эффект составил 40...50 % в зависимости от исследуемой улицы, а экономический эффект – 3,424 млрд грн/год (в целом по всем улицам). Экономический ущерб составил: в условиях существующей жилой застройки – 17,616 млрд грн/год, в условиях обустройства газозащитных «зеленых» полос – 13,583 млрд грн/год.

**Ключевые слова:** *эколого-экономическая оценка; уровень загазованности; газозащитная полоса озеленения; примагистральная территория; реконструкция жилого района*

## THE JUSTIFICATION OF PRIMAGISTRAL TERRITORY'S "GREEN" RECONSTRUCTION

TYMOSHENKO O. A.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

ZHERDEVA M. I.<sup>2</sup>, *Master*,

CHEREPVSKA A. G.<sup>3</sup>, *Master*

<sup>1</sup>Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-05, e-mail : timshenkeleno9121969@rambler.ru, ORCID ID : 0000-0003-3114-9820

<sup>2</sup>Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (063) 932-73-80, e-mail : madam.zherdeva@mail.ru

<sup>3</sup>Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (063)145-99-18, e-mail : alina.petka@mail.ru

**Abstract. Statement of the problem.** The proportion of exhaust gases of vehicles in air pollution Dnipro varies with time and is proportional to the intensity of movement of vehicles. The maximum concentration observed at peak hours. When driving with the same intensity, the greatest pollution is observed in areas densely built tall buildings, and along roads with narrow carriageway. The maximum concentration of harmful or toxic components in the air are set as the hygienic norms, that is, from the point of view of protection of human health. Particularly dangerous to human health are carbon monoxide and oxides of nitrogen. Regardless of the existing differences of opinion regarding the degree of hazard of the exhaust gases around the world with the aim of protecting human health carried out extensive activities aimed at limiting air pollution from cars. **The purpose of this article** is to determine environmental and economic effects of measures that reduce the degree of contamination premastering areas of linear sources of pollution. **Presentation of the basic material.** Reconstruction premastering territory provides a Foundation along the main streets hatsuhana strips of green space. The proposed variants of such bands. Determined environmental and economic effects from the use of special strips of greenery in a residential area, as well as economic losses arising from the contamination of territories premastering exhaust gases of vehicles without regard to lanes landscaping and accounting. **The results of the study.** The environmental effect was 40...50% depending on the study street, and the economic effect – 3,424 billion/year (in all streets). Economic losses amounted to: in the context of existing residential development – 17,616 billion/year, in terms of arrangement hatsuhana stripes – 13,583 billion/year.

**Keywords:** *ecological-economic assessment; level of contamination; hatsuhana landscaped; premastering the territory; reconstruction of the residential area*

**Постановка проблеми.** У загальному забрудненні атмосферного повітря токсичними викидами частка двигунів з іскровим запалюванням становить 96,2 %, а частка дизельних двигунів – 3,8 % [1]. Відносно мала частка дизельних двигунів у загальному забрудненні пояснюється тим, що викиди цих двигунів характеризуються

значно меншою концентрацією токсичних компонентів, а також тим фактом, що частка дизельних автомобілів у загальному автомобільному парку відносно невелика. Однак необхідно враховувати, що їх кількість буде зростати, оскільки наразі спостерігається все ширше використання



дизельних двигунів як силових установок для різного виду транспортних засобів.

Частка відпрацьованих газів автомобілів у забрудненні атмосферного повітря м. Дніпро змінюється залежно від часу і пропорційна інтенсивності руху транспортних засобів. Мінімальна концентрація шкідливих речовин спостерігається в нічні години, коли їх зміст у повітрі в кілька разів менший, ніж удень. Максимальна концентрація відмічається в години пік. Атмосферне повітря вулиць самоочищується в результаті провітрювання. У випадку руху з однією і тією ж інтенсивністю найбільше забруднення повітря спостерігається в районах, щільно забудованих високими будинками, і вздовж доріг із вузькою проїзною частиною.

Граничні концентрації шкідливих або токсичних компонентів у повітрі встановлюються як гігієнічні норми, тобто з точки зору безпосередньої охорони здоров'я людини. Однак не слід забувати про велику шкоду для здоров'я людини тривалого впливу малих концентрацій шкідливих речовин і загального впливу декількох токсичних компонентів. Точно визначити ступінь і діапазон шкідливого впливу забрудненого повітря на здоров'я людей дуже складно, тим більше що в різних умовах вони часто бувають різними.

Причиною багатьох подразнень і захворювань служать шкідливі викиди автомобільних двигунів. Спостереження показують, що такі подразнення виникають тільки у сонячну безвітряну погоду, і що за інших умов навіть відносно велика концентрація відпрацьованих газів у повітрі не викликає сильного подразнення [2]. За впливу сонячних променів, головним чином ультрафіолетового випромінювання, відбуваються фотохімічні реакції за участю деяких компонентів відпрацьованих газів, у результаті чого утворюються речовини, що сильно подразнюють слизову оболонку.

У таких реакціях поряд із різними вуглеводнями та іншими органічними сполуками беруть участь і оксиди азоту. В результаті фотохімічних процесів

утворюються озон і сполуки, які мають сильні оксидувальні властивості. Ці сполуки навіть у дуже малих кількостях чинять сильну токсичну дію на організм людини.

Вивчено також наслідки впливу на організм людини окремих компонентів токсичних викидів. Особливо небезпечні для здоров'я людини окис вуглецю і оксиди азоту. Окис вуглецю викликає гальмування функцій активних центрів утворення гемоглобіну, внаслідок чого порушуються окиснювальні процеси в організмі, що може призвести до смерті.

Окис вуглецю за концентрації його в повітрі близько 1 500 ... 2 000 часток на мільйон може стати причиною смерті. Близько 95 % окису вуглецю, що вдихають пішоходи, потрапляє в повітря з відпрацьованими газами автомобілів.

Незалежно від існуючої відмінності думок щодо ступеня шкідливості відпрацьованих газів, у всьому світі з метою охорони здоров'я людини проводяться серйозні заходи, спрямовані на обмеження забруднення повітря автомобілями [3].

**Мета статті** – визначити екологічний та економічний ефекти від застосування заходів, що знижують ступінь загазованості примігстральної території лінійними джерелами забруднення, а також визначити економічні збитки від загазованості примігстральних територій викидами автотранспорту з урахуванням наявності спеціальних газозахисних смуг озеленення та без їх наявності.

#### **Виклад основного матеріалу**

### **1. Розроблення варіантів газозахисних «зелених» смуг, висаджуваних уздовж магістральних вулиць житлового району**

Підбір видів зелених насаджень залежить від цільового призначення об'єкта, що озеленюється. Так, із метою декоративного озеленення для різних ґрунтово-кліматичних зон доцільно підбирати рослини відповідно до важливих властивостей: зимо-, жаро- та посухостійкості. Світлолюбні рослини, як правило, розміщують на відкритих сонячних

місцях розрідженими групами і масивами або поодинокі.

У затінених північних і західних боках будівель, споруд, у зімкнутих групах і масивах розташовують тіньовитривалі види. У напівтінистих місцях бажано висаджувати маложаростійкі породи, які страждають від надмірної сухості повітря. Потужні високорослі дерева з широкою кроною придатні для одиночних посадок або в центрі груп. Невисокими чагарниками облямовують узлісся масивів і групових посадок.

Декоративність насадженням надає поєднання в змішаних насадженнях рослин, що розрізняються величиною і формою крони, забарвленням стовбурів, осіннім, весняним та літнім забарвленням листя. Деревя і чагарники можуть служити непоганим колірним фоном для архітектурних ансамблів, скульптурних груп, спеціальних садових споруд.

Для шкіл та навчальних закладів біологічного або сільськогосподарського напряму бажано застосовувати ботанічну різноманітність видів озеленення; для дитячих установ необхідні породи, які огорожують внутрішню територію від пилу, диму, міського шуму; для лікарень, санаторіїв – рослини, що володіють фітонцидними властивостями [4–9].

Реконструкція примігстральної території передбачає закладання вздовж магістральних вулиць газозахисних смуг зелених насаджень. Для таких смуг підбирають високорослі швидкокорослі породи – тополю, гледичію, маклюру, березу, клен, білу акацію.

З навітряного боку (зазвичай з півночі і сходу) такі посадки роблять дво-, трирядними, з підвітряного – однорядними (відстань від будівель і споруд до зелених насаджень див. табл.).

Таблиця

**Відстань від зелених насаджень до будівель та споруд [9] / Distance from green space to buildings and structures [9]**

Будівлі та споруди	Відстань від будівлі/споруди/об'єкта до осі, м	
	стовбура дерева	чагарнику
Зовнішня стіна будівлі та споруди	5,0	1,5
Край трамвайного полотна	5,0	3,0
Край тротуару й садової доріжки	0,7	0,5
Край проїжджої частини (кромка укріпленої смуги)	4,0	1,5
Щогла та опора освітлювальної мережі, трамвая, бруківки опору й естакади	4,0	–
Підшва укусу, тераси та ін.	1,0	0,5
Підшва або внутрішня грань підпірної стінки	3,0	1,0

У міських умовах захисні ряди рослин виконують і функцію зеленого бар'єру для вуличного шуму. У таких насадженнях використовують ялину, тую, ялицю, ялівець, тополю, клен, іргу, глід, кизильник, скумпію, аморфу, бирючину.

В лінійних посадках відстані між деревами повинні складати 3...4 м, якщо крони зімкнуті, і 5...8 м - якщо розімкнуті. У групових посадках деревинні породи висаджують на відстані 2...3 м одна від одної. У захисних і протипожежних смугах проміжки між рослинами в ряду скорочують

до 1...1,5 м, а міжряддя залишають шириною 2,5...3 м [10–12].

Чагарникові породи в куртинах та інших групових посадках розміщують через 0,5...2 м, в захисних смугах – 0,5...2 м. Живоплоти (в тому числі бордюри) створюють із двох-трьох рядів чагарників. Відстань між рядами 25...30 см, а між рослинами в ряду – 15...20 см [10–12].

Вибір ескізу смуги озеленення здійснюємо виходячи з фактичної ширини контактної-стикової зони (відстань від проїжджої частини до червоної лінії

забудови) без урахування ширини тротуарної доріжки.

Ширина досліджуваних вулиць в м. Дніпро в лініях забудови становить: вулиці Воскресенська, Михайла Грушевського – 31,5 м; вул. Святослава Хороброго та пр. Дмитра Яворницького – 35,5 м.

Ширина контактної-стикової зони на цих вулицях складає: вулиці Воскресенська та

Михайла Грушевського – 12,25 м; вул. Святослава Хороброго та пр. Дмитра Яворницького – 10,25 м.

Смуги озеленення з газозахисною функцією визначені відповідно до ескізів смуг озеленення (рис. 1). Таким чином, на всіх досліджуваних вулицях доцільно виконати реконструкцію приміагістральної території шляхом облаштування газозахисних смуг відповідно до ескізу № 4.

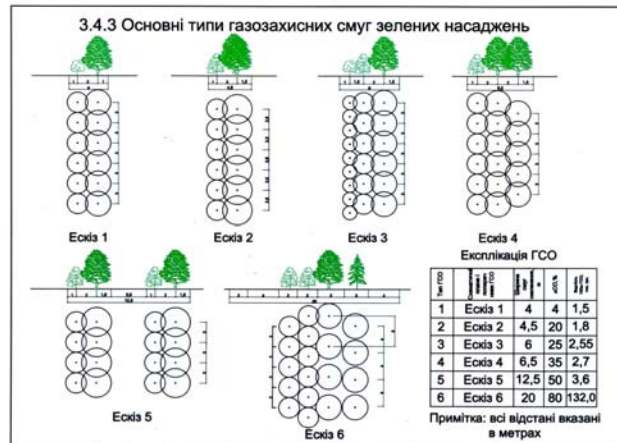


Рис. 1. Ескізи смуг зелених насаджень / Fig. 1. Sketches of strips of green space

## 2. Визначення екологічного ефекту від застосування спеціальних смуг озеленення в житловому районі

На рисунках 2–5 показано зони активного забруднення приміагістральної території для дійсної ситуації і з урахуванням застосування спеціальних смуг зелених насаджень із газозахисною функцією. Також на рисунках наведено розрахунки екологічного ефекту від застосування рекомендованих зелених смуг.

## 3. Визначення економічного збитку від загазованості приміагістральних територій вихлопними газами автомобілів

Визначення економічного збитку  $U$  пов'язане з негативним впливом відпрацьованих газів на низку реципієнтів [13; 14]:

1) проживаючого і транзитного населення;

2) елементів основних фондів комунального господарства.

Величину річного економічного збитку визначаємо за формулою:

$$U = \gamma \square G, \quad \text{у.г.о./рік}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – величина нормативної оцінки одиниці умовного навантаження від атмосферних забруднень, яка встановлюється виходячи з принципу самокупності природоохоронних заходів;  $\gamma = 150$  у. г. о. (умовних грошових одиниць) на 1 т умовного навантаження;  $G$  – зведений показник наведеного навантаження від атмосферних забруднень, що виходять від магістральної вулиці, тонни наведеного навантаження (т. н. н.), для кожного типу реципієнтів, які опинилися в зоні активного забруднення (ЗАЗ):

$$G = \frac{f}{S_{\text{ЗАЗ}}} [\sigma^{(1)} \square H \square M^{(1)} + \sigma^{(2)} \square \Phi \square M^{(2)}] \quad (2)$$

де  $\sigma^{(1),(2)}$  – коефіцієнт, що визначає відносну соціальну значимість величин навантажень для кожного реципієнта і приводить їх до єдиної розмірності:  $\sigma^{(1)} = 1$ ;  $\sigma^{(2)} = 20$ ;  $H$  – кількість людей, що мешкають у ЗАЗ і перебувають на вулиці (транзитний рух, прогулюються тощо). Останні приймаються, виходячи з розрахунку 60 осіб на 1 га ЗАЗ (для центру міста):

$$H = H_{\text{диск}} + H_{\text{трн}} \quad (3)$$

$$H_{\text{диск}} = S_{\text{ЗАЗ}} * 270; \quad (4)$$

де 270 – щільність населення для центральних районів міста, чол/га;

$$H_{\text{трн}} = 60 * S_{\text{ЗАЗ}}; \quad (5)$$

$M^{(1),(2)}$  – приватна (частинна) оцінка умовного викиду для кожного реципієнта, т/рік;

$$M^1 = 0,244 * L_{\text{ул}} * N_{\text{пр,Т/ГОД}}; \quad (6)$$

$$M^2 = 0,28 * L_{\text{ул}} * N_{\text{пр,Т/ГОД}}; \quad (7)$$

$f$  – інтегральний чинник забруднення приземного шару атмосфери в ЗАЗ від транспортного потоку:

$$f = 0,102 / (1 + 5/V_B), \quad (8)$$

де  $V_B$  – середньозважена швидкість вітру на вулиці, м/с;  $\Phi$  – поточна вартість усіх основних фондів та витрати на житловий фонд.

Поточна вартість основних фондів  $\Phi$  складається з витрат на зелені насадження, що ростуть у ЗАЗ, і з витрат на житловий фонд, розташований у ЗАЗ:

$$\Phi = C_{\text{зн}} + C_{\text{жф}}, \text{ млн грн/рік.} \quad (9)$$

Витрати на зелені насадження слід приймати виходячи з розрахунку

88 тис. у. г. о. = 0,09 млн у. г. о. = 0,225 млн грн на 1 га території (ЗАЗ):

$$C_{\text{зн}} = 0,225 (S_{\text{заз}} - S_{\text{жз}}), \text{ млн. грн/рік,} \quad (10)$$

де  $S_{\text{ЗАЗ}}$  та  $S_{\text{ЖЗ}}$  – площі ЗАЗ і житлової забудови відповідно, га.

Витрати на житловий фонд визначаються вартістю житлового фонду, розташованого в ЗАЗ, виходячи з вартості 20 тис. грн за 1 м<sup>2</sup> загальної площі житлової забудови, знаючи, що площа одного поверху однієї рядової секції серії 087 становить 255 м<sup>2</sup>.

#### 4. Результати дослідження

Проаналізувавши ситуацію із загазованістю приміагістральних територій житлового району м. Дніпро за двома варіантами – без застосування газозахисних смуг та із застосуванням уздовж вулиць Воскресенської, Михайла Грушевського, Святослава Хороброго та проспекту Дмитра Яворницького, робимо висновок, що річний економічний ефект від застосування газозахисних смуг зелених насаджень склав 3,424 млрд грн/рік., тобто заходи економічно обґрунтовані та доцільні.

Ул. Воскресенская

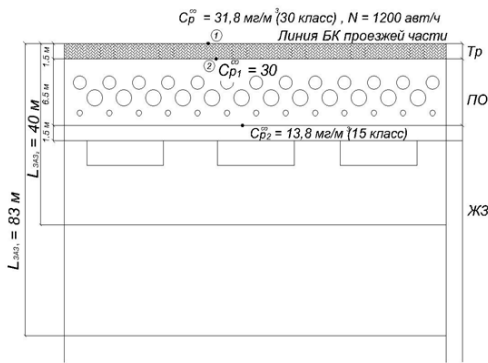


Рис. 2. Изменение глубины зоны загрязнения на ул. Воскресенская после применения газозащитной полосы озеленения.

Эффективность полосы озеленения(см. эскиз 4) - 60%.

Расчёт концентрации СО в конце полосы озеленения:

$$C_{\text{р}2}^{\text{до}} = 31,8 - 0,6 \times 30 = 13,8 \text{ мг/м}^3$$

Глубина зоны активного загрязнения до мер:

$$L_{\text{ЗАЗ}1} = 83 \text{ м, а после мер - } L_{\text{ЗАЗ}2} = 35 \text{ м.}$$

Тогда экологический эффект составляет:

$$\Delta L_{\text{ЗАЗ}} = 83 - (40 + 6,5 + 1,5) = 35 \text{ м (или 42\%).}$$

Рис. 2. Зміна глибини зони забруднення на вул. Воскресенській після насадження газозахисної смуги озеленення / Fig. 2. Change the depth of the contaminated zone on the Voskresenskaya Street after the application of gas-protective green areas

Ул. Михаила Грушевского

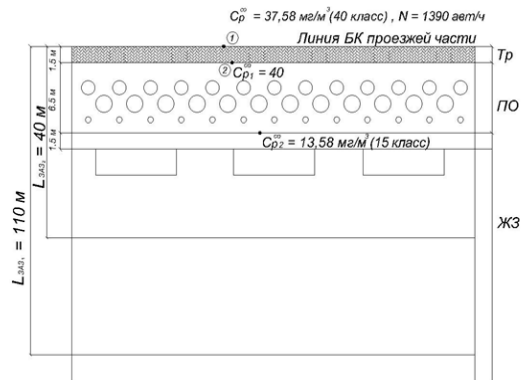


Рис. 3. Изменение глубины зоны загрязнения на ул. Михаила Грушевского после применения газозащитной полосы озеленения.

Эффективность полосы озеленения(см. эскиз 4) - 60%.

Расчёт концентрации СО в конце полосы озеленения:

$$C_{\text{р}2}^{\text{до}} = 37,58 - 0,6 \times 40 = 13,58 \text{ мг/м}^3$$

Глубина зоны активного загрязнения до мер:

$$L_{\text{ЗАЗ}1} = 110 \text{ м, а после мер - } L_{\text{ЗАЗ}2} = 62 \text{ м.}$$

Тогда экологический эффект составляет:

$$\Delta L_{\text{ЗАЗ}} = 110 - (40 + 6,5 + 1,5) = 62 \text{ м (или 56\%).}$$

Рис. 3. Зміна глибини зони забруднення на вул. Михайла Грушевського після насадження газозахисної смуги озеленення / Fig. 3. Change the depth of the contaminated M. Grushevskogo Street after the application of gas-protective green areas



Рис. 4. Изменение глубины зоны загрязнения на ул. Святослава Храброго после применения газозащитной полосы озеленения.

Эффективность полосы озеленения (см. эскиз 4) - 60%.  
 Расчёт концентрации СО в конце полосы озеленения:  
 $C_{р2} = 18 - 0,6 \times 18 = 7,2 \text{ мг/м}^3$   
 Глубина зоны активного загрязнения до мер:  
 $L_{зз1} = 42 \text{ м}$ , а после мер -  $L_{зз2} = 16 \text{ м}$ .  
 Тогда экологический эффект составляет:  
 $\Delta L_{зз} = 50 - (6,5 + 3) = 40,5 \text{ м}$  (или 39,5%).

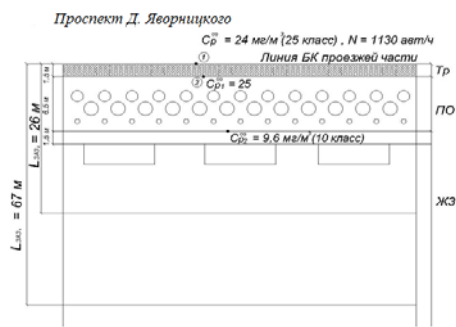


Рис. 5. Изменение глубины зоны загрязнения на проспекте Д. Яворницкого после применения газозащитной полосы озеленения.

Эффективность полосы озеленения (см. эскиз 4) - 60%.  
 Расчёт концентрации СО в конце полосы озеленения:  
 $C_{р2} = 24 - 0,6 \times 24 = 9,6 \text{ мг/м}^3$   
 Глубина зоны активного загрязнения до мер:  
 $L_{зз1} = 67 \text{ м}$ , а после мер -  $L_{зз2} = 33 \text{ м}$ .  
 Тогда экологический эффект составляет:  
 $\Delta L_{зз} = 67 - (26 + 6,5 + 1,5) = 33 \text{ м}$  (или 50%).

Рис. 4. Зміна глибини зони забруднення на вул. Святослава Хороброго після насадження газозахисної смуги озеленення / Fig. 4. Change the depth of the contaminated zone on the Svyatoslava Khrabrogo Street after the application of gas-protective green areas

Рис. 5. Зміна глибини зони забруднення на пр. Д. Яворницького після насадження газозахисної смуги озеленення / Fig. 5. Change the depth of the contaminate D. Yavornitskogo Street after the application of gas-protective green areas

## Висновки

1. Виконано еколого-економічне оцінювання забруднення викидами окису вуглецю автотранспорту території житлового району в Соборному районі м. Дніпро, який обмежений вул. Воскресенською, пр. Дмитра Яворницького, вул. Михайла Грушевського та вул. Святослава Хороброго.

2. Запропоновано шість типів газозахисних смуг зелених насаджень, які можна використати з метою реконструкції житлової забудови.

3. Екологічний ефект, тобто скорочення глибини зони активного забруднення примігстральної території, від однорядної

посадки середнього чагарнику та дворядної посадки широколистяних дерев, запропонованих для застосування на вулицях житлового району, склав 39,5... 56 %.

4. Річний економічний збиток від загазованості примігстральної території вихлопними газами автомобілів склав 17,616 млн грн/рік.

5. Річний економічний збиток від загазованості викидами автотранспорту з урахуванням газозахисних смуг озеленення склав 13,583 млрд грн/рік.

6. Економічний ефект від запропонованих заходів склав 3,424 млрд грн/рік (20 %).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белов С. В. Оздоровление воздушной среды : учеб. пособ. / С. В. Белов, И. В. Переездчиков, А. А. Строкин ; под ред. С. В. Белова. – Москва : Тип. Моск. высш. технич. училища им. Н. Баумана, 1988. – 58 с.
2. Боговая И. О. Озеленение населенных мест : учеб. пособ. по спец. "Лесное и садово-парковое хоз-во" / И. О. Боговая, В. С. Теодоронский. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 239 с. – (Учеб. и учеб. пособие для студ. вузов).
3. Боков В. А. Основы экологической безопасности : учеб. пособ. / В. А. Боков, А. В. Лущик. – Симферополь : СОНАТ, 1998. – 224 с.
4. Методические рекомендации по формированию озелененных пространств города / ЦНИИП градостроительства ; сост. Н. Н. Бочарова. – Москва : Стройиздат, 1980. – 118 с.
5. Бурдянін Б. Г. Навколишнє середовище та його охорона : навч. посіб. для студ. неприродн. спец. пед. ВНЗ / Б. Г. Бурдянін, В. О. Дерев'янка, А. І. Кривульченко. – Київ : Вища школа, 1993. – 227 с.

6. Вронский В. А. Прикладная экология : учеб. пособ. / В. А. Вронский. – Ростов-на-Дону : Феникс, 1996. – 512 с.
7. Генералова С. В. Основы градостроительной экологии : [учеб. пособ.]. / С. В. Генералова. – Куйбышев : [Б. и.], 1989. – 75 с.
8. Горохов В. А. Городское зеленое строительство / В. А. Горохов. – Москва : Стройиздат, 1991. – 416 с. – (Специальность «Архитектура»).
9. Саньков П. Н. Озеленение городских и рекреационных территорий : учеб. пособ. / П. Н. Саньков, Е. П. Кашченко. – Днепропетровск : ПГАСА, 1999. – 117 с.
10. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень : ДБН 360-92\*\*. – [Чинні від 19-03-2002]. – Київ : Укрархбудінформ, 2002. – 126 с.
11. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП 173-96. – [На заміну : СН 245-71 ; чинні з 19.06.1996 р.]. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1996. – 65 с.
12. Ресурсные элементные сметные нормы на строительные работы. Сборник 47 : Озеленение. Защитные лесонасаждения. Многолетние плодовые насаждения : ДБН Д.2.2-47-99. – [С изм. и доп. от 06.12.2002 г.]. – Киев : Госстрой Украины, 2000. – 157 с. – Режим доступа: [https://msmeta.com.ua/open\\_norma\\_dbn\\_sbornik\\_sou.php?id=198&kat=8](https://msmeta.com.ua/open_norma_dbn_sbornik_sou.php?id=198&kat=8).
13. Елагин Б. Т. Основы экологии городской застройки : учеб. пособ. / Б. Т. Елагин. – Киев : Наукова думка, 1990. – 56 с.
14. Корсак К. В. Основы экологии : навч. посіб. / К. В. Корсак, О. В. Плахотник. – Київ : МАУП, 1998. – 228 с.

#### REFERENCES

1. Belov S.V., Pereezdov I.V. and Strokin A.A. *Ozdorovlenie vozduшной sredy* [Improvement of the air environment]. Moskva: Tip. Mosk. vyssh. texnich. uchilishha im. N. Baumana, 1988, 58 p. (in Russian).
2. Bogovaya I.O. and Todorovsky V.S. *Ozelenenie naseleennykh mest* [Greening of urban areas]. Moskva: Agropromizdat, 1990, 239 p. (in Russian).
3. Bokov V.A. and Lushchik V.A. *Osnovy ekologicheskoy bezopasnosti* [Basics of environmental security]. Simferopol': SONAT, 1998, 224 p. (in Russian).
4. Bocharova N.N., Vergunov A.P. and Krasnoshchekova N.S. *Metodicheskie rekomendacii po formirovaniyu ozelenennykh prostranstv goroda* [Methodical recommendations on the formation of green spaces in the city]. CNIIP gradostroitel'stva [Central Research Institute of Urban Development]. Moskva: Strojizdat, 1980, 118 p. (in Russian).
5. Burdiyan B.G., Derevyanko V.A., Krivenchenko A.I. and etc. *Navkolyshne seredovyshhe ta yogo okhorona* [Environment and its protection]. Kyiv: Vyshha shkola, 1993, 227 p. (in Ukrainian).
6. Vronsky V.A. *Prikladnaya ekologiya* [Applied ecology]. Rostov-na-Dony: Feniks, 1996, 512 p. (in Russian).
7. Generalova S.V. *Osnovy gradostroitel'noj ekologii* [Foundations of urban ecology]. Kuibyshev: [s.n.], 1989, 75 p. (in Russian).
8. Goroxov V.A. *Gorodskoe zelenoe stroitel'stvo* [Urban green construction]. *Special'nost' "Arxitektura"* [Specialty "Architecture"]. Moskva: Strojizdat, 1991, 416 p. (in Russian).
9. Sankov P.N. and Kashchenko E.P. *Ozelenenie gorodskih i rekreacionnykh territorij* [The greening of urban and recreational territories]. Dnepropetrovsk: PGASA, 1999, 117 p. (in Russian).
10. *Mistobudivnictvo. Planuvannia ta zabudova miskykh i selyschnykh poselen: DBN 360-92\*\**. [The urban development. The planning and construction of urban and rural settlements: The State Building Regulations: DBN 360-92\*\*]. Dated on March, 19, 2002. Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2002, 126 p. (in Ukrainian).
11. *Derzhavni sanitarni pravyla planuvannia ta zabudovy naseleenykh punktiv: DSP 173-96* [State Sanitary Rules of Planning and Development of Settlements: The State Sanitary Rules for Planning and Building Settlements 173-96.]. Kyiv: Ministerstvo okhoroni zdorovia Ukrainy, 1996, 65 p. (in Ukrainian).
12. *Resursnye elementnye smetnye normy na stroitel'nye raboty. Sbornik 47: Ozelenenie. Zashhitnye lesonasazhdeniya. Mnogoletnie plodovye nasazhdeniya: DBN D.2.2-47-99*. [Resource elemental estimates for construction work. Collection 47. The Landscaping. Protective Forests. Fruitful Spaces: The State Building Regulations: D.2.2-47-99.]. Dated on December 06, 2002. Kiev: Gosstroj Ukrainy, 2000, 157 p. Available at: [https://msmeta.com.ua/open\\_norma\\_dbn\\_sbornik\\_sou.php?id=198&kat=8](https://msmeta.com.ua/open_norma_dbn_sbornik_sou.php?id=198&kat=8). (in Ukrainian).
13. Elagin B.T. *Osnovy ekologii gorodskoj zastrojki* [Fundamentals of ecology of urban development]. Kiyv: Naukova Dumka, 1990, 56 p. (in Russian).
14. Korsak K.V. and Plakhotnik A.V. *Osnovi ekologii* [Fundamentals of ecology]. Kyiv: MAUP, 1998, 228 p. (in Ukrainian).

Рецензент: Поліщук С. З., д-р техн. наук, проф.,  
Шматков Г. Г., д-р біол. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 12.12.2018 р.



УДК 624.042

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.74.43

## РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНУСНЫХ КРОВЕЛЬ ПРИ СИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ

МАХИНЬКО Н. А., канд. техн. наук

Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, Киев, 02000, Украина, тел. +38(050)3045072, e-mail: pasargada1985@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8120-6374

**Аннотация. Постановка проблемы.** Статья посвящена исследованию внутренних усилий, возникающих в ребрах конусных кровель вертикальных цилиндрических емкостей от воздействия наиболее вероятных нагрузок – собственного веса, веса технологического оборудования, скоростного напора ветра и снеговой нагрузки. В частности, интерес представляет возможность рассчитать все элементы кровли по плоским расчетным схемам, используя формулы в удобной аналитической форме, что позволит уменьшить трудоемкость вычислений и даст возможность установить ряд общих закономерностей распределения внутренних усилий. Для анализа использованы два типа конструкций – кровля, состоящая только из главных радиальных ребер, и кровля с одним промежуточным кольцом жесткости, без второстепенных балок, а также при их наличии. При этом можно применять несколько вариантов расчетных схем, в зависимости от выбранного элемента – главной радиальной балки, второстепенной балки или кольцевого ребра. Все соединения ребер между собой и корпусом принимаются шарнирными. Влияние второстепенных элементов, обеспечивающих дополнительную пространственную жесткость (растяжки, подкосы), на распределение усилий в ребрах не учитывается. Предполагается, что опорное кольцо в месте сопряжения кровли и стенки емкости достаточно жесткое для того, чтобы радиальные перемещения его точек считались достаточно малыми. Определение напряженно-деформированного состояния конструкции кровли рассматривается в контексте проверочного расчета несущей способности поперечных сечений, с четко оговоренными геометрическими размерами всех элементов, а также для случая поиска оптимального отношения геометрических характеристик кровли, при котором достигнут критерий необходимой несущей способности. **Цель статьи** – определить основные внутренние усилия для главных радиальных и кольцевых ребер конусных кровель различной конструкции при симметричных нагрузках и сформулировать простые аналитические зависимости с точки зрения практики конструирования. **Вывод.** Путем последовательного анализа получены выражения для функций внутренних усилий элементов конусной кровли и выявлены критические расчетные сечения для рассматриваемых вариантов. Приведены аналитические выражения и таблицы значений координат, которые однозначно определяют положение потенциально опасных сечений, а также формулы для расчета в них максимальных значений силы сжатия и изгибающего момента.

**Ключевые слова:** цилиндрическая емкость; конусная кровля; внутренние усилия; главные радиальные ребра; кольцо жесткости

## РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНУСНИХ ПОКРІВЕЛЬ ЗА СИМЕТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

МАХІНЬКО Н. О., канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 02000, Україна, тел. +38(050)3045072, e-mail: pasargada1985@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8120-6374

**Анотація. Постановка проблеми.** Стаття присвячена дослідженню внутрішніх зусиль, що виникають у ребрах конусних покрівель вертикальних циліндричних ємностей від дії найбільш вірогідних навантажень – власної ваги, ваги технологічного обладнання, швидкісного напорі вітру та снігового навантаження. Зокрема, становить інтерес можливість розрахувати всі елементи покрівлі за плоскими розрахунковими схемами, використовуючи формули в зручній аналітичній формі, що дасть змогу зменшити трудомісткість обчислень та встановити ряд загальних закономірностей розподілу внутрішніх зусиль. Для аналізу використано два типи конструкцій – покрівля, що складається лише з головних радіальних ребер, та покрівля з одним проміжним кільцем жорсткості, без другорядних балок, а також за їх присутності. При цьому можливо застосовувати декілька варіантів розрахункових схем, залежно від обраного елемента – головної радіальної балки, другорядної балки і кільцевого ребра. Всі з'єднання ребер між собою і корпусом приймаються шарнірними. Вплив другорядних елементів, що забезпечують додаткову просторову жорсткість (розтяжки, підкоси) на розподіл зусиль у ребрах не враховується. Припускається, що опорне кільце в місці спряження покрівлі та стінки ємності достатньо жорстке для того, щоб радіальні переміщення його точок вважалися достатньо малими. Визначення напружено-деформованого стану конструкції покрівлі розглядається у контексті перевірного розрахунку несної здатності поперечних перерізів, із чітко обумовленими геометричними розмірами всіх елементів, а також для випадку пошуку оптимального відношення геометричних характеристик покрівлі, за якого досягнуто критерію необхідної несної здатності. **Мета статті** – визначити основні

внутрішні зусилля для головних радіальних та кільцевих ребер конусних покрівель різної конструкції за симетричних навантажень та сформулювати прості аналітичні залежності з точки зору практики конструювання. **Висновок.** Шляхом послідовного аналізу отримано вирази для функцій внутрішніх зусиль елементів конусної покрівлі та виявлено критичні розрахункові перерізи для розглянутих варіантів. Наведено аналітичні вирази та таблиці значень координат, що однозначно визначають положення потенційно небезпечних перерізів, а також формули для розрахунку в них максимальних значень сили стиску та згинального моменту.

**Ключові слова:** *циліндрична ємність; конусна покрівля; внутрішні зусилля; головні радіальні ребра; кільце жорсткості*

## CALCULATION OF THE DEFLECTED MODE OF CONICAL ROOFS UNDER THE SYMMETRIC LOAD

MAKHINKO N. A., *Cand. Sc. (Tech.)*.

National Aviation University, Kosmonavt Komarova Avenue 1, Kyiv, 02000, Ukraine tel. +38(050)3045072, e-mail: pasargada1985@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8120-6374

**Summary. Problem statement.** This paper deals with the studying of internal forces which appear in ribs of conical roofs of vertical cylindrical capacities because of the influence of the most possible loads such as their own weight, weight of manufacturing equipment, velocity head of wind and snow pressure. Particularly, interest gives an opportunity to calculate all elements of the roof according to flat design models, using equations in a convenient analytical form. It will allow reducing complexity of the calculation and setting up a number of general regularities of internal efforts distribution. It was used two types of constructions for the analysis. They are the roof that have only the main radial ribs and the roof with one distance stiffening washer with or without secondary beams. Meanwhile, we can use several variants of the design model, which depend on the selected element such as the main radial beam, secondary beam and strengthening ring. All connections of ribs between themselves and the body are hinged. The influences of the secondary elements which provide an additional spatial rigidity (extensions, struts) on the distribution of efforts in ribs are not considered. It is allowed that the body of shield is rigid enough in the place of connection of the roof and the capacity's wall in order to radial displacements of its points is considered to be small enough. Definition of the deflected mode of the roof construction is considered in the context of checking calculation of cross-section bearing capability with clearly conditioned geometries of all elements, and also in case of search optimal ratio of geometry of all elements of the roof when the necessary bearing capability is achieved. **Purpose.** To define the main internal efforts for the main radial and strengthening ring of conical roofs of different constructions under the symmetric loads and to form simple analytical dependences from the point of view of the design practice. **Conclusion.** By using the sequential analysis it was obtained expressions to equations of internal efforts of elements of the conical roof and revealed critical design sections to analyzed variants. It was given analytical expressions and tables of coordinate values, which uniquely defines position of potentially dangerous sections, and also equations to calculate maximum values of compression force and bending moment.

**Keywords:** *cylindrical capacity; conical roof; internal efforts; the main radial ribs; stiffening washer*

**Постановка проблеми.** Одним из неотъемлемых этапов при расчете вертикальных цилиндрических ёмкостей хранения является определение напряжённо-деформированного состояния конструкций кровли. При этом интерес представляет как вариант поверочного расчета, когда все геометрические размеры кровли определены и результатом должна быть констатация факта о достаточной или недостаточной несущей способности поперечных сечений элементов, так и вариант конструкторского поиска, связанный с определением оптимального соотношения геометрических размеров кровли, при котором достигаются критерии достаточной несущей способности.

Важно отметить, что наиболее точной проверкой несущей способности кровли как пространственной системы являются методы конечноэлементного анализа. Однако возможность рассчитать все элементы кровли по плоским расчётным схемам, используя формулы внутренних усилий в удобной аналитической форме, позволяет, во-первых, на порядок сократить трудоёмкость итерационных вычислений, во-вторых, установить ряд общих закономерностей распределения внутренних усилий в элементах кровли.

**Анализ публикаций.** Расчет кровли стальных емкостей хранения в большинстве случаев занимает второстепенное место в практике исследования напряженно-



деформированного состояния для данного типа объектов. Однако ряд теоретических и экспериментальных работ по изучению работы конической кровли под действием нагрузок разного вида раскрывает некоторые новые аспекты и свидетельствует о более сложном поведении конусной кровельной системы [5-8].

**Цели и задачи** определить основные внутренние усилия для главных радиальных ребер и кольцевых ребер конусных кровель разной конструкции при симметричной нагрузке, а также сформулировать удобные аналитические предложения с точки зрения практики конструирования кровель данного типа.

**Изложение материала.** Рассмотрение начнём с конструкции кровли, состоящей только из главных радиальных ребер, которая характерна для ёмкостей малого диаметра (до 7 000 мм). Расчётную схему ребра можно представить в виде наклонной балки с шарнирно неподвижной опорой у основания и шарнирно подвижной по вертикали у центрального кольца жёсткости (см. рис. 1).

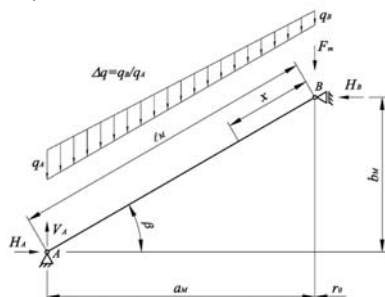


Рис. 1. Расчётная схема главного радиального ребра жёсткости для кровель без колец жёсткости

Нагрузка на ребро – распределённая трапециевидная, описывающая собственный вес конструкций и вес снегового покрова, и сосредоточенная на правой опоре, схематизирующая вес термоподвески. Отметим, что для ёмкостей малого диаметра используется, как правило, одна термоподвеска, прикреплённая к центральному кольцу жёсткости, поэтому рассматривать вариант с силой в пролёте нет смысла. Величина трапециевидной погонной нагрузки вычисляется исходя из грузовой площади ребра, которая на левой и правой опоре принимается соответственно

как соотношение диаметра ёмкости  $D_w$  или диаметра центрального кольца жёсткости  $d_0$  и количества главных радиальных балок  $n_M$  ( $\pi D_w / n_M$  и  $\pi d_0 / n_M$ ). Определение неизвестных внутренних усилий, ввиду статической определимости расчётной схемы, выполняем непосредственно с определения опорных реакций, а результаты сводим в таблицу 1.

Таблица 1

**Внутренние усилия в главной радиальной балке кровли без колец жёсткости**

Функция усилия	Выражение для усилия
$V_A, H_A, H_B$	$V_A = \frac{q_A l_M}{2} (1 + \Delta q) + F_m,$ $H_A = -H_B = \frac{6F_m(1 - \Delta H) + q_A l_M (1 + 2\Delta q)}{6 \operatorname{tg} \beta}$
$N_{q,F}(y)$	$-\sin \beta \left[ \frac{H_A}{\operatorname{tg} \beta} + F_m + q_A l_M y \left( \Delta q + \frac{y}{2} (1 - \Delta q) \right) + \Delta N \right]$
$Q_{q,F}(y)$	$q_A l_M \cos \beta \left[ y \Delta q - \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} + \Delta q \right) + \frac{y^2}{2} (1 - \Delta q) + \Delta Q \right]$
$M_{q,F}(y)$	$\frac{q_A l_M^2}{6} y \cos \beta (1 - y) [1 + y(1 - \Delta q) + 2\Delta q] + \Delta M$
Максимальный изгибающий момент в точке: $y_{M,\max} = \frac{f_M - \Delta q}{1 - \Delta q}$	
$f_M = \sqrt{\frac{1 + \Delta q + \Delta q^2}{3}} - \Delta f$	
Принятые условные обозначения: $N_{q,F}(y), Q_{q,F}(y), M_{q,F}(y)$ – функции внутренних усилий; $V_A, H_A, H_B$ – опорные реакции; $\beta$ – угол наклона кровли к горизонту; $l_M$ – длина главных радиальных балок; $a_M, b_M$ – проекции ребра жёсткости; $F_m$ – сила, создаваемая весом термоподвески.	

Из таблицы можно видеть, что функция поперечной силы и изгибающего момента не зависит от величины сосредоточенной силы, поэтому изгибные характеристики ребра будут продиктованы исключительно собственным весом и весом снегового покрова. Максимальная сжимающая сила действует на левой опоре балки, а максимальный изгибающий момент в сечении, расположенном на расстоянии  $y_{M,\max}$  от правой опоры (координата отсчитывается вдоль балки). В этом сечении

будет действовать также немалая продольная сила, поэтому для ребра оно будет расчётным. Усилия в сечении определяются по следующим формулам:

$$N_M = \frac{6F_m + q_A l_M (1 + 2\Delta q)}{6 \sin \beta},$$

$$M_{q, \max} = \frac{q_A l_M^2 \cos \beta}{18} \left( \frac{2f_M^3 - 3f_M^2 + 1}{f_M^2 - \Delta q} \right). \quad (1)$$

Заметим, что безразмерные величины  $\Delta q$  и  $f_M$  хотя и относятся к параметрам трапецевидной нагрузки, выражаются сугубо через геометрические параметры кровли, так как  $\Delta q$  это не что иное как отношение диаметров  $\Delta_D = d_0 / D_w$ . Таким образом, поперечное сечение ребра должно быть подобрано как для сжато-изогнутого стержня.

В практике конструирования кровель данного типа чаще всего используется ребро из гнутого швеллера заданной и наперёд известной толщины  $t_M$ . Отношение высоты швеллера  $h_M$  к ширине его полочки  $b_M$  также может быть принято известным, так как зачастую продиктовано технологическими требованиями прокатки или гнутья. Обозначим это отношение  $\beta_M$  и запишем приближённые формулы для площади и момента сопротивления поперечного сечения из известного справочника [3]:

$$A_M = h_M t_M c_A, \quad W_M = h_M^2 t_M c_W, \quad (2)$$

где  $c_A = 1 + 2 / \beta_M$  и  $c_W = 1 / \beta_M + 1 / 6$  – безразмерные коэффициенты площади и момента сопротивления поперечного сечения.

Подставим эти выражения в формулу для проверки прочности сжато-изогнутого элемента [4], прочность которого характеризуется величиной  $R$ . В результате получим уравнение:

$$h_M^2 R t_M c_A c_W - h_M N_M c_W - M_{\max} c_A = 0. \quad (3)$$

Решением уравнения является аналитическое и удобное для практики выражение для искомой высоты  $h_M$ :

$$h_M = \frac{|N_M| + \sqrt{N_M^2 + 4M_{\max} R t_M c_A^2 / c_W}}{2R t_M c_A}. \quad (4)$$

Если это решение подставить в формулу площади (2) и продифференцировать по  $\beta_M$ , потребовав тем самым выполнения требования минимальной массы, получим очень простой результат, не зависящий ни от нагрузки, ни от прочности  $\beta_M = 6$ , т. е. радиальная балка в виде швеллера минимальной массы должна иметь высоту в шесть раз превышающую ширину полки (вопросы местной потери устойчивости здесь, конечно же, не рассматриваются).

При рассмотрении кровли с одним кольцом жёсткости вначале полагаем, что присутствуют только главные радиальные ребра. Расчётная схема радиального ребра имеет вид рамы, в которой промежуточные кольца жёсткости заменены затяжками с приведенной продольной  $EA_3$  и изгибной  $EJ_3$  жёсткостью:

$$EA_3 = 2\pi EA_k / n_M, \quad EJ_3 = 2\pi EJ_k / n_M. \quad (5)$$

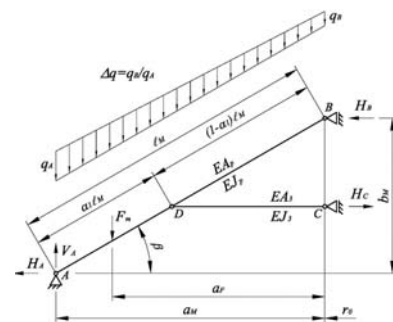


Рис. 2. Расчётная схема главного радиального ребра жёсткости для кровель с одним промежуточным кольцом жёсткости и без второстепенных балок

Затяжка в уровне основания отсутствует и заменена шарнирно неподвижной опорой в силу допущения о достаточной жёсткости опорного кольца. Отметим, что не редкостью являются схемы с шарнирно подвижной опорой и затяжкой у основания [1; 2]. Однако наши исследования показали, что для кровель цилиндрических ёмкостей рассмотрение такой расчётной схемы большого смысла не имеет, так как приведенная продольная жёсткость опорной затяжки получается достаточно большой,

что равносильно постановке шарнирно неподвижной опоры. Принятая расчётная схема показана на рисунке 2.

По этой схеме ребро может быть рассчитано на собственный вес, симметричное воздействие снегового покрова и вес термоподвески, схематизирующейся силой  $F_m$ . Приведенная схема является один раз статически неопределимой. Поиск неизвестных внутренних усилий выполняем методом сил, где в качестве основной системы принимаем схему с отброшенной опорной реакцией в точке С. После некоторых преобразований и приведения подобных получим выражения для функций усилий и перемещений в основной системе, сведённые в таблицу 2.

Искомая реакция  $H_C$  на основе данных таблицы вычисляется как отношение перемещений в основной системе по направлению отброшенной связи, вызванное фактической нагрузкой  $\Delta_{1p}$  и единичной  $\delta_{11}$ , взятое с обратным знаком. Сами перемещения вычисляются по классической формуле Мора. При этом в оценке перемещений  $\Delta_{1p}$  и  $\Delta_{1F}$  ввиду малости можно не учитывать влияние поперечных и продольных сил, а в оценке  $\delta_{11}$  – поперечных. В большинстве практически важных случаев при оценке  $\delta_{11}$  можно также отбросить влияние и продольных сил, но их вклад в суммарное перемещение может быть существенен при малой продольной жёсткости кольцевых рёбер.

Поэтому пренебрегать жёсткостными характеристиками кольцевых рёбер уместно тогда, когда они не известны, т. е. на этапе проектного расчёта.

После определения реакции условной затяжки  $H_C$  функции внутренних усилий в главном радиальном ребре описываются единым выражением:

$$R_q(y) = R_{p,q}(y) + H_{C,q} R_X(y), \quad (6)$$

$$R = N \vee Q \vee M.$$

Таблица 2  
Усилия для главных радиальных рёбер кровель с одним кольцом жёсткости

Усилие	Выражение для усилия
Общие выражения для неравномерно распределённой нагрузки и сосредоточенной силы	
$N_{X,q}(y)$	$0 \leq y \leq 1 - \alpha_1, \quad -\alpha_1 \cos \beta;$ $1 - \alpha_1 \leq y \leq 1, \quad (1 - \alpha_1) \cos \beta$
$Q_{X,q}(y)$	$0 \leq y \leq 1 - \alpha_1, \quad -\alpha_1 \sin \beta;$ $1 - \alpha_1 \leq y \leq 1, \quad (1 - \alpha_1) \sin \beta$
$M_{X,q}(y)$	$0 \leq y \leq 1 - \alpha_1, \quad \alpha_1 y l_M \sin \beta;$ $1 - \alpha_1 \leq y \leq 1, \quad (1 - \alpha_1)(1 - y) l_M \sin \beta$
$\delta_{11}$	$\frac{[\alpha_1(1 - \alpha_1) l_M \sin \beta]^2 l_M}{3EJ_M} + \frac{l_3}{EA_3}$
Неравномерно распределённая нагрузка	
$N_{p,q}(y)$	$-q_A l_M \sin \beta \left( \frac{1 + 2\Delta q}{6 \operatorname{tg}^2 \beta} + y \Delta q + y^2 \frac{1 - \Delta q}{2} \right)$
$Q_{p,q}(y)$	$q_A l_M \cos \beta \left( \frac{1 + 2\Delta q}{6} + y \Delta q + y^2 \frac{1 - \Delta q}{2} \right)$
$M_{p,q}(y)$	$\frac{q_A l_M^2 \cos \beta}{6} y [1 + 2\Delta q - y(3\Delta q + y - y \Delta q)]$
$\Delta_p$	$\frac{q_A l_M^4}{720EJ_M} \sin 2\beta \alpha_1 (1 - \alpha_1) \times$ $\times [8(1 + \alpha_1) + 3\alpha_1^2(\alpha_1 - 4) + \Delta q(1 + \alpha_1)(7 - 3\alpha_1^2)]$
Сосредоточенная сила	
$N_{p,F}(y)$	$0 \leq y \leq y_F, \quad -F_m \cos \beta (1 - y_F) / \operatorname{tg} \beta;$ $y_F \leq y \leq 1, \quad -F_m (1 - y_F \cos^2 \beta) / \sin \beta$
$Q_{p,F}(y)$	$0 \leq y \leq y_F, \quad -F_m (1 - y_F) \cos \beta;$ $y_F \leq y \leq 1, \quad F_m y_F \cos \beta$
$M_{p,F}(y)$	$0 \leq y \leq y_F, \quad F_m l_M y (1 - y_F) \cos \beta;$ $y_F \leq y \leq 1, \quad F_m l_M y_F (1 - y) \cos \beta$
$\Delta_{1F}$	$\frac{F_m l_M^3}{12EJ_M} y_F \alpha_1 \sin 2\beta (1 - \alpha_1^2 - y_F^2), \text{ если } y_F \leq \alpha_1$
$\Delta_{1F}$	$\frac{F_m l_M^3}{12EJ_M} (y_F - 1)(1 - \alpha_1) \sin 2\beta \times$ $\times [1 - \alpha_1(2 - \alpha_1) - y_F(2 - y_F)], \text{ если } y_F > \alpha_1$
Принятые обозначения	
$y_F = \frac{a_F}{l_M \cos \beta},$ $\alpha_1 = l_1 / l_M$	$y$ – координата, отсчитываемая от центрального кольца жёсткости (точки В), вдоль главной радиальной балки

Проверка несущей способности ребра выполняется на совместное действие продольного усилия и изгибающего момента. Если сосредоточенная сила отсутствует, то потенциально опасными являются три сечения: в месте примыкания кольцевого ребра жёсткости и в обоих пролётах.

При фиксированном уклоне кровли позиция экстремумов эпюры моментов определяется только двумя параметрами: положением кольцевого ребра жёсткости  $\alpha_1$  и отношением  $\Delta_D = \Delta q$ . С учетом того, что

на практике уклон кровель мало отличается от  $30^\circ$ , в таблице 3 вычислены значения относительной координаты  $u$  для этих двух параметров.

В случае наличия сосредоточенной силы опасным следует полагать сечение на нижней опоре ребра и сечение под силой. Справедливости ради подчеркнём, что расчёты, выполненные в таблице 3, не учитывают дополнительного влияния на положение экстремумов условной затяжки, которое в данном случае невелико.

Таблица 3

*Относительные координаты экстремумов эпюры моментов радиального ребра*

$\Delta q = \Delta_D$	$\alpha_1$								
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
0	0,378	0,356	0,331	0,301	0,265	0,217	0,144	н	н
	н	0,976	0,925	0,885	0,853	0,826	0,804	0,784	0,766
0,10	0,364	0,343	0,319	0,291	0,258	0,217	0,162	н	н
	н	0,988	0,933	0,891	0,857	0,829	0,805	0,784	0,765
0,20	0,354	0,333	0,310	0,284	0,254	0,217	0,171	0,110	н
	н	н	0,942	0,897	0,861	0,831	0,806	0,784	0,764
0,30	0,346	0,326	0,304	0,279	0,250	0,217	0,176	0,124	–
	–	–	0,950	0,903	0,865	0,833	0,807	0,784	0,763

Для поиска критического сечения ребра можно предложить ещё один вариант, связанный с использованием в качестве главной радиальной балки гнутого швеллера. Для этого запишем формулу напряжений сжато-изогнутого элемента для двух сечений, которые расцениваются как критические. Используя выражения (2), сможем записать:

$$N_1 \left[ 1 + \frac{M_1}{N_1} \frac{6(2 + \beta_M)}{h_M(6 + \beta_M)} \right] > N_2 \left[ 1 + \frac{M_2}{N_2} \frac{6(2 + \beta_M)}{h_M(6 + \beta_M)} \right]. \quad (7)$$

После введения обозначений  $c_N = N_2 / N_1$ ,  $c_M = M_2 / M_1$  и приведения подобных окончательно получим:

$$\frac{1}{6} \frac{N_1 h (1 - c_N)}{M_1 (c_M - 1)} > \frac{2 + \beta_M}{6 + \beta_M}. \quad (8)$$

Формула (8) однозначно устанавливает условие, при котором усилия  $N_2$  и  $M_2$  могут считаться более неблагоприятными для ребра, чем усилия  $N_1$  и  $M_1$ .

В кольцевых рёбрах возникают только продольные усилия сжатия. К слову сказать, растяжение рёбер также может иметь место в случае недостаточной жёсткости опорной обечайки, но в сформулированных выше допущениях мы приняли, что последняя достаточно жёсткая. Величину усилия легко найти из рассмотрения равновесия узла примыкания кольцевых рёбер к главному радиальному. Проецируя все продольные усилия на ось радиального ребра и учитывая, что при больших значениях  $n_M$  справедливо приближённое равенство  $\sin(\pi / n_M) \approx \pi / n_M$ , получим:

$$N_p = \frac{n_M}{2\pi} (N_b - N_t), \quad (9)$$

где  $N_b$  и  $N_t$  – продольные усилия в главном радиальном ребре ниже и выше кольцевого ребра жёсткости.

Если в конструкции кровли, кроме главных радиальных рёбер, присутствуют и второстепенные, расчёт рёбер немного усложняется. Это связано с тем, что на кольцевые рёбра возлагаются дополнительные функции подстропильных элементов, передающих на главные радиальные рёбра опорное давление от второстепенных.

Дополнительные трудности вызывает изгиб главных рёбер под нагрузкой, что влечёт за собой перемещение точек примыкания кольцевых рёбер к главным и, соответственно, точек примыкания второстепенных рёбер к кольцевым, а также изгибная податливость кольцевых рёбер из своей плоскости (в плоскости наименьшей жёсткости). С достаточной для практики точностью расчёт второстепенных радиальных рёбер можно вести только на изгиб, принимая в качестве основной расчётной схемы наклонную однопролётную балку с шарнирно защемлёнными концами. Распор в такой системе отсутствует, а опорное давление, передаваемое на главные радиальные балки, равно:

$$\begin{aligned} V_{S\downarrow} &= q_A l_S (2 + \Delta_S) / 6, \\ V_{S\uparrow} &= q_A l_S (1 + 2\Delta_S) / 6, \\ \Delta_S &= 1 - \alpha_1 (1 - \Delta_D). \end{aligned} \quad (10)$$

Максимальный изгибающий момент будет действовать в сечении близком к середине балки, т. е.  $y_{M,\max} \approx 0.5$ . Более точное значение можно найти по соответствующей формуле таблицы 1 при  $\Delta q \equiv \Delta_S$ . Значения изгибающего момента могут быть вычислены по формуле формулы:

$$\begin{aligned} M_{S,q}(y) &= q_A l_S^2 \cos(\beta) y \times \\ &\times \left[ 1 + 2\Delta_S - 3y\Delta_S - y^2(1 - \Delta_S) \right] / 6. \end{aligned} \quad (11)$$

Кольцевое ребро дополнительно догружается моментом и работает на сжатие с изгибом, при этом напряжения изгиба определяются как для однопролётной шарнирной балки, нагруженной центральной

сосредоточенной силой  $V_{S\uparrow}$ . Усилия сжатия определяются, как и раньше, из расчёта главного радиального ребра. Само ребро может быть рассчитано по одному из вариантов рис 3.

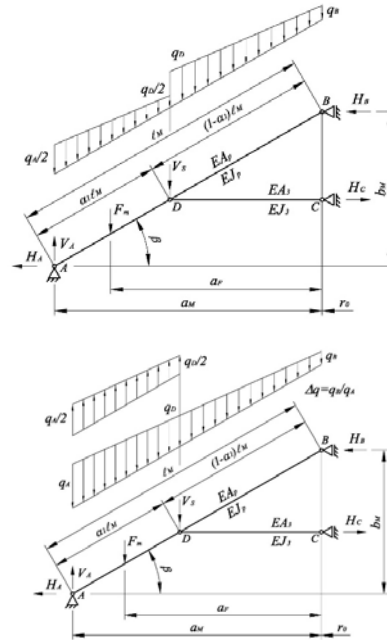


Рис. 3. Расчётная схема главного радиального ребра жёсткости для кровель с одним промежуточным кольцом жёсткости и второстепенными балками

Наиболее предпочтительным является второй вариант, так как он позволяет использовать полученные ранее зависимости из таблицы 2.

### Выводы

1. Приведены расчетные формулы для определения внутренних усилий в главной радиальной балке кровли без колец жесткости.

2. Определено местоположение критического сечения для данной кровли и предложена формула для нахождения усилия в данном сечении.

3. Установлено, что радиальная балка в виде швеллера минимальной массы должна иметь высоту в шесть раз превышающую ширину полки.

4. Получены выражения для функций усилий и перемещений, а также произведен расчет относительных координат экстремумов для определения потенциально опасных сечений в главных радиальных

рёбрах кровель с одним кольцом жёсткости и без второстепенных ребер. усилий для главного радиального ребра жёсткости в кровлях с одним

5. Предложены расчетные схемы и формульные процедуры по определению промежуточным кольцом жёсткости и второстепенными балками.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липницкий М. Е. Купола (расчет и проектирование) / М. Е. Липницкий. – Ленинград : Изд-во лит. по стр-ву, 1973. – 127 с.
2. Металлические конструкции : в 3 т. / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов [и др.] ; под. ред. В. В. Горева. – Москва : Высш. школа, 2004. – Т. 1 : Элементы конструкций. – 551 с. ; т. 2 : Конструкции зданий. – 528 с. ; т. 3 : Специальные конструкции и сооружения. – 544 с.
3. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений : в 2 кн. / под ред. А. А. Уманского. – Москва : Изд-во лит. по стр-ву, 1972-1973. – Кн. 1. – 1972. – 599 с. ; кн. 2 – 1973. – 415 с.
4. Сталеві конструкції. Норми проектування : ДБН В.2.6-198:2014. – Чинний від 2015-01-01. – Київ : Міністерство України, 2014. – 199 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Briassoulis D. Behavior of empty steel grain silos under wind loading: part 2: the stiffened conical roof shell / D. Briassoulis, D. A. Pecknold // *Engineering Structures*. – 1988. – Vol. 10, iss. 1. – P. 57–64. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014102968890017X?via%3Dihub>.
6. Effects of different snow load arrangements on steel silo roof structures / E. Gallego, J. M. Fuentes, A. Ramírez-Gómez, F. Ayuga // *Advances in Structural Engineering*. – 2017. – Published online. – Режим доступа: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1369433217742526#>.
7. Portela G. Wind pressures and buckling of cylindrical steel tanks with a conical roof / G. Portela, L. A. Godoy // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2005. – Vol. 61, iss. 6. – P. 786–807. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X04001713>.
8. Full-scale tests to measure stresses and vertical displacements in an 18.34 m-diameter agricultural steel silo roof / Á. Ramírez-Gómez, E. Gallego, J. M. Fuentes, C. González-Montellano, C. J. Porrás-Prieto, F. Ayuga // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2014. – Vol. 106. – P. 56–65. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169914001318>.

### REFERENCES

1. Lipnickij M.E. *Kupola (raschet i proektirovanie)* [Domes (calculation and design)]. Leningrad, Izdatelstvo literaturyi po stroitelstvu, 1973, 127 p. (in Russian).
2. Gorev V.V., Uvarov B.Yu. and Filippov V.V. *Metallicheskie konstruksii: v 3 t.* [Metal constructions: in 3 volumes]. T. 1: *Elementy konstrukcij*. – 551 s. [Vol. 1: Elements of constructions. – 551 p.]. T. 2: *Konstrukcii zdaniy*. – 528 s. [Vol. 2: Constructions of buildings]. T. 3: *Special'nye konstruksii i sooruzheniya*. – 544 s. [Vol. 3: Special designs and structures]. Moskva, Vysshaya shkola, 2004. (in Russian).
3. Umanskij A.A. *Spravocchnik proektirovshhika promyshlennyx, zhilyx i obschestvennyx zdaniy i sooruzhenij: v 2 knigax* [Directory of the designer of industrial, residential and public buildings and structures: in 2 books]. Moskva: Izd-vo lit. po str-vu, 1972-1973. Book 1. – 1972. – 599 p., book 2. – 1973. – 415 p. (in Russian).
4. Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia: DBN V.2.6-198:2014 [Steel structures. Design standards: The State Building Regulations V.2.6-198:2014]. Dated on 2015-01-01. Kyiv, Minrehion Ukrainy, 2014, 199 p. (in Ukrainian).
5. Briassoulis D. and Pecknold D.A. *Behavior of empty steel grain silos under wind loading: part 2: the stiffened conical roof shell*. *Engineering Structures*. 1988, vol. 10, iss. 1, pp. 57–64. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/014102968890017X?via%3Dihub>.
6. Gallego E., Fuentes J.M., Ramírez-Gómez A. and Ayuga F. *Effects of different snow load arrangements on steel silo roof structures*. *Advances in Structural Engineering*. 2017. Published online. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1369433217742526#>.
7. Portela G. and Godoy L.A. *Wind pressures and buckling of cylindrical steel tanks with a conical roof*. *Journal of Constructional Steel Research*. 2005, vol. 61, iss. 6, pp. 786–807. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X04001713>.
8. Ramírez-Gómez Á., Gallego E., Fuentes J.M., González-Montellano C., Porrás-Prieto C.J. and Ayuga F. *Full-scale tests to measure stresses and vertical displacements in an 18.34 m-diameter agricultural steel silo roof*. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014, vol. 106, pp. 56–65. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169914001318>. 18.04.2018

Рецензент: Савицький М. В., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 16.12.2017 р.

UDC 528.71/73:71.72.02

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.82.44

## 3D PHOTOGRAMMETRY APPLICATION FOR BUILDING INSPECTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

MARKOVA M.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,

KRAVCHENKO D.<sup>2</sup>, *engineer*

<sup>1</sup>Nastroj LLC, 27 Omelchenka str., Zaporizhia city, 69068, Ukraine, email: markova.mari@gmail.com

<sup>2</sup>Nastroj LLC, 27 Omelchenka str., Zaporizhia city, 69068, Ukraine, email: dmitriykravchenko93@gmail.com

**Abstract.** Landmarked buildings require periodic inspection and restoration. Numerous techniques are known that allow engineers to perform detailed inspection of buildings and structures. In recent decades, 3D scanning and photogrammetry application for building inspection spread around. *The purpose* of the study is to develop the most effective approach to aerial photography with the use of UAV to create precise model of the building. *Methodology.* The technique is based on the creation of three-dimensional model out of 2-dimensional photographs with the help of dedicated software. *Scientific novelty* can be considered as the development of an algorithm for programming the UAV flight along the most optimal trajectory in order to obtain a sufficient number of images, and consequently constructing a model with the least number of distorted sections. The *result* of the work is a three-dimensional model of a building or structure with all actual sizes and textures preserved. Obtained model can be later used for a detailed study of the damages of the existing structural and architectural elements of building; also, it can be used as a background model for the reconstruction or restoration project design, depending on the research objectives. The *practical significance* of this method is demonstrated by the inspection of the actual landmarked building: the Mennonite school in Zaporizhia city. The inspected building was built in the late nineteenth century and has not changed its functional purpose until today. The building is one of the few well-preserved examples of authentic Mennonite architecture in the region, therefore a great deal of attention was paid for inspection and elaboration the measures for its restoration. A complex inspection was performed using 3D photogrammetric survey and creation of a three-dimensional model. Using the model, the places that need to be restored are precisely identified, and the defects that need to be eliminated are identified. The technical condition of the structures is estimated even in hard-to-reach places. Thus, it is clearly shown that the presented inspection technique significantly reduces labor intensity and raises the efficiency of building and structures inspection.

**Keywords:** *building inspection; 3D modeling; 3D photogrammetry; 3D scanning; landmarked buildings preservation; heritage objects capturing*

## ЗАСТОСУВАННЯ 3D ФОТОГРАМЕТРІЇ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

МАРКОВА М.<sup>1</sup>, *канд. техн. наук*,

КРАВЧЕНКО Д.<sup>2</sup>, *інж.*

<sup>1</sup>ТОВ «Настрой», вул. Омельченка, 27, Запоріжжя, 69068, Україна, email: markova.mari@gmail.com

<sup>2</sup>ТОВ «Настрой», вул. Омельченка, 27, Запоріжжя, 69068, Україна, email: dmitriykravchenko93@gmail.com

**Анотація.** Пам'ятки архітектури вимагають періодичного обстеження і реставрації. Існують численні методики, що дозволяють детально обстежити будівлі і споруди. В останні десятиліття великого поширення набув спосіб обстеження із застосуванням 3D сканування і фотограмметрії. *Мета* дослідження - розроблення найбільш ефективного підходу до аерофотозйомки із застосуванням БПЛА для побудови найбільш точної моделі будівлі. *Методологія.* Методика будується на побудові з двовимірних фотознімків за допомогою спеціального програмного забезпечення тривимірної моделі. *Науковою новизною* можна вважати розробку алгоритму для програмування польоту БПЛА по найбільш оптимальній траєкторії з метою отримання достатньої кількості знімків і, отже, побудови моделі з найменшою кількістю спотворених ділянок. *Результат роботи* - тривимірна модель будівлі або споруди зі збереженням усіх фактичних розмірів і текстур. Модель у подальшому може бути застосована як для детального дослідження дефектів існуючих конструкцій і елементів будівлі, так і як підоснова для розроблення креслень для проекту реконструкції або реставрації залежно від мети дослідження. *Практичне значення* цієї методики продемонстровано під час обстеження реального об'єкта культурної спадщини: це менонітська школа в м. Запоріжжя. Будівля, що обстежувалась побудована в кінці XIX століття і донині не змінила функціонального призначення. Ця споруда - один із небагатьох добре збережених зразків автентичної менонітської архітектури в цьому регіоні, тому було приділено велику увагу обстеженню і розробленню заходів з її відновлення. Виконано комплексне обстеження із застосуванням фотограмметричної зйомки і побудовою тривимірної моделі. З використанням моделі точно встановлено місця, що потребують відновлення, визначено дефекти, які потребують усунення. Оцінено стан конструкцій навіть у важкодоступних місцях. Таким чином наочно показано, що наведена методика обстеження істотно знижує трудомісткість і підвищує ефективність робіт з обстеження конструкцій.

**Ключові слова:** обстеження; 3D моделювання; 3D фотограмметрія; 3D сканування; пам'ятки архітектури

## ПРИМЕНЕНИЕ 3D ФОТОГРАММЕТРИИ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

МАРКОВА М.<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
КРАВЧЕНКО Д.<sup>2</sup>, инж.

<sup>1</sup>ООО «Настрой», ул. Омельченко 27, Запорожье, 69068, Украина, email: markova.mari@gmail.com

<sup>2</sup>ООО «Настрой», ул. Омельченко 27, Запорожье, 69068, Украина, email: dmitriykravchenko93@gmail.com

**Аннотация.** Памятники архитектуры требуют периодического обследования и реставрации. Известны многочисленные методики, позволяющие детально обследовать здания и сооружения. В последние десятилетия большое распространение получил способ обследования с применением 3D сканирования и фотограмметрии. **Целью** исследования является разработка наиболее эффективного подхода к аэрофотосъемке с применением UAV для построения наиболее точной модели здания. **Методика** основывается на построении из двумерных фотоснимков при помощи специального программного обеспечения трехмерной модели. **Научной новизной** можно считать разработку алгоритма для программирования полета БПЛА по наиболее оптимальной траектории с целью получения достаточного количества снимков, и, следовательно, построения модели с наименьшим количеством искаженных участков. **Результатом** работы является трехмерная модель здания или сооружения с сохранением всех фактических размеров и текстур, которая впоследствии может быть применена как для детального исследования дефектов существующих конструкций и элементов здания, так и в качестве подложки для разработки чертежей для проекта реконструкции или реставрации в зависимости от целей исследования. **Практическое значение** данной методики продемонстрировано при обследовании реального объекта культурного наследия: менонитской школы в г. Запорожье. Обследуемое здание построено в конце XIX века и до сегодняшних дней не поменяло функционального назначения. Здание является одним из немногих хорошо сохранившихся образцов аутентичной менонитской архитектуры в этом регионе, поэтому было уделено большое внимание обследованию и разработке мероприятий по его восстановлению. Выполнено комплексное обследование с применением фотограмметрической съемки и построением трехмерной модели. С использованием модели точно установлены места, требующие восстановления, определены дефекты, требующие устранения. Оценено состояние конструкций даже в труднодоступных местах. Таким образом наглядно показано, что представленная методика обследования существенно снижает трудоемкость и повышает эффективность работ по обследованию конструкций.

**Ключевые слова:** обследование; 3D моделирование; 3D фотограмметрия; 3D сканирование; сохранение архитектурных памятников; объекты культурного наследия

**Introduction.** There are not many landmarked buildings preserved in Zaporizhia region, Ukraine. Therefore, they especially need preservation and, consequently, periodic inspection and restoration.

Detailed measurements of buildings and structures - an integral part of the building inspection. Landmarked buildings often have a complex geometric shape, complex architectural forms of facades, complex crack and damage patterns that requires capturing as well in order to analyze their potential causes. Furthermore, a detailed survey is required to determine the technical state of all structural and architectural elements of the building for the restoration of the landmarked building.

It could be challenging to perform detailed measurements manually in practice, especially at height and in hard-to-reach elements of roofs, towers, etc. In addition, manual collecting of geometrical dimensions of elements are labor-intensive and the human

factors error could occur which increases the cost and duration of surveys especially when big projects are concerned.

In comparison to a traditional manual approach, modern digital methods of 3D capturing provide very accurate representations of building's properties including the following: surface, structure, realistic visual presentation (textures). As far as landmarked building inspection is concerned, 3D capturing of building's elements using different methods has its wide practical use.

Currently, there are two main approaches to 3D virtual modeling that are used to create digital models of different subjects: 3D scanning and photogrammetry. 3D scanning based on using highly specialized equipment that measures and reconstructs the surface of an object using technology based on stereo vision, light wave, or sound wave distance measurement. Alternatively, photogrammetry



methods extract information from 2D photographs to reconstruct objects in 3D.

Recently, low altitude unmanned aerial vehicles (UAV) expanded its practical application area in the construction industry. These vehicles fully meet the needs of 3D photogrammetry capturing of building-sized objects.

During the last decade, many studies concerning the use of 3D photogrammetry for building inspection were carried out. Practical use of 3D photogrammetry and 3D laser scanning combination is described in the case study of ancient theatre inspection [1]. Decreasing the time needed for documentation was shown. Comparison of two terrestrial photogrammetric methods - semiautomatic and automatic was provided in [2] - the case study of old military building capturing. In [3] the accuracy of the UAV-derived 3D models was assessed. The experiment showed that besides the Laser Scanner Systems, even the lowest cost systems based on UAV image processing and photogrammetric analysis with Structure from Motion algorithms are able to produce 3D models, with a good level of accuracy. In [4] practical use of Photogrammetry and aerial photography in the field of building inspection, as well as disaster assessment, is considered. Automated masonry crack detection using pictures taken by UAV is described in [5].

In this study, practical use of 3D photogrammetry capturing in the field of heritage objects inspection using an example of the monument of Mennonite architecture in Zaporizhia city is described.

To reconstruct a 3D model Autodesk ReCap Photo software was used. The main features of the obtained three-dimensional model are high geometrical accuracy, the presence of the textures, which allowed us to analyze in detail the technical state of structural elements, as well as various architectural details and assemblies. Such an analysis makes it possible to identify damage and structural defects that cannot be captured by visual inspection due to the inaccessibility and complexity of particular elements.

## **2. The methodology of a building inspection: the case study of the monument of Mennonite architecture**

In order to illustrate the inspection methodology an example of a monument of Mennonite architecture is given. Mennonites appeared in Ukraine in the last decades of the XVIII century and made a significant contribution to the development of the region [6]. They developed highly productive agriculture, contributed to the development of industry, trade, and finance of the region. One of the few buildings that have retained their functional purpose is the building of the women's school (now Zaporozhia Comprehensive School No. 81) in the village of Rosenthal. The village was founded in 1790, had one main street, which ran parallel to the river Khortitsa. Currently, Rosenthal is part of the of Zaporozhia city and is informally known as Verhnya Khortytsya.

The building was built in 1895 and at the time of the inspection, it fully functions as a school (Fig. 1). Since its construction, a minor architectural replanning, replacement of roofing materials, replacement of the heating system have been implemented. Basement, in general, remained unchanged. In this case, structural elements of the building were not affected. However, over a long period of time, destruction occurred: the structures underwent some damage and deformation, the finishing layers were dilapidated.



*Fig. 1. Aerial overview of the building*

A complex of inspection works was carried out, including a detailed visual inspection [7], determination of the strength of the material of some load-bearing structures, geodetic

measurements, and model building using photogrammetric methods.

### 3. 3D Photogrammetry process

Photogrammetry methods extract information from 2D photographs to reconstruct objects in 3D. This technique, also known as image-based 3D modeling, uses structure-from-motion and stereo reconstruction algorithms to identify and match shared points from overlapping photographs to create point clouds and meshes representing the surface of an object.

Depending on the position (point of view) of a camera, photogrammetry can be classified as a terrestrial or aerial.

Each part of the building should be photographed from at least three distinct – but not radically different – viewpoints. The overlap between consecutive photographs should typically exceed two thirds. For aerial photography, a longitudinal overlap of 80% and lateral overlap of 50% or more are recommended. Preparing a flight plan by preprogramming flight trajectory helps to achieve capturing pictures with sufficient and systematic overlap [8].

There are two major phases while acquiring a 3D model out of 2D pictures:

- *Aerotriangulation* that represents the mathematical process of establishing precise and accurate relationships between the individual image coordinate systems and a defined datum and projection (Fig. 2) [9]. One of the most fundamental processes in photogrammetry is to identify and measure tie points in several photographs, which is a part of the aerotriangulation process. The camera positions coordinates are determined during this process as well.

- *Reconstruction of a 3D model.* Through this phase, a 3D model (polygonal mesh or point cloud) is constructed using data acquired during aerotriangulation (tie points coordinates, camera positions).

The end-product of 3D photogrammetry is a precise 3D virtual model of a particular subject. An output model could be represented in different variations such as textured polygon mesh or point cloud depending on the purposes for the further use.

For school capturing the combination of aerial and terrestrial photogrammetry was chosen. Because of a high density of buildings, trees, power lines in surrounding area application of aerial capturing only would not have provided sufficient amount of pictures and overlap required for accurate result model.

The aerial images were taken with the UAV DJI Phantom, a compact sized quadcopter equipped with a built-in digital camera and active stabilizer (3-axis gimbal).

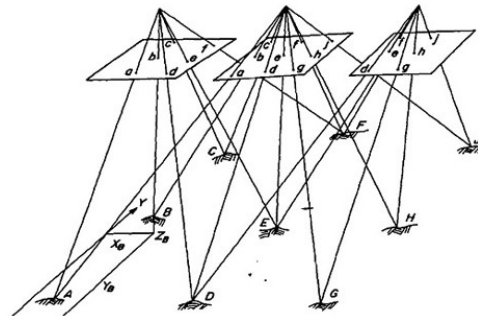


Fig. 2. Simplified scheme of aerotriangulation

Camera has a resolution of 20 megapixels; pictures taken with it contain metadata of GPS coordinates and altitude value from the built-in barometer.

Quadcopter was piloted in the polar coordinate system with the origin in the center of the building (Fig. 3). This made it possible to achieve consistency in picture capturing and sufficient overlap. In total, during the entire flight session, 141 photographic shots were taken.

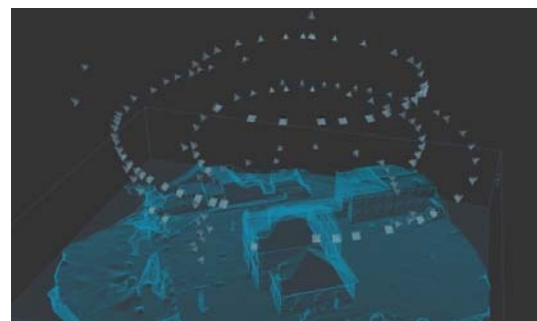


Fig. 3. UAV camera positions

To provide capturing of the lower part of the building as well as to capture architectural elements of the building with geometrically complex form, that is difficult to view from above, terrestrial pictures were taken. Eighty-five pictures were taken with action camera Xiaomi YI 4K.

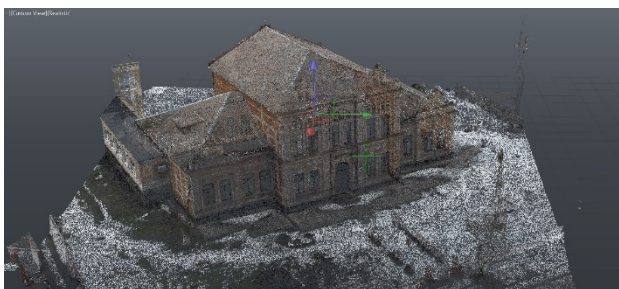


Fig. 4. 3D Point cloud result model. Prospective view



Fig. 5. – Textured and untextured result models

3D model was created with Autodesk Recap Photo software (ex- Autodesk Remake) in two variations – dense point cloud and high accurate polygonal textured mesh (Fig. 4, 5).

The workflow of ReCap photo is completely automated for image orientation, aerotriangulation and for generating and reconstructing the model. All operations that require computing power of computer are performed at cloud service. During this process, the human factor is minimized, i.e. limited on image and control points entering. The entire process of photogrammetry and modeling is automated, and no other human interference is necessary.

#### 4. Results of the inspection

Based on the results of the inspection and capturing, defects were determined for individual structural and architectural elements,

a cracking pattern, and technical measures for eliminating defects were elaborated.

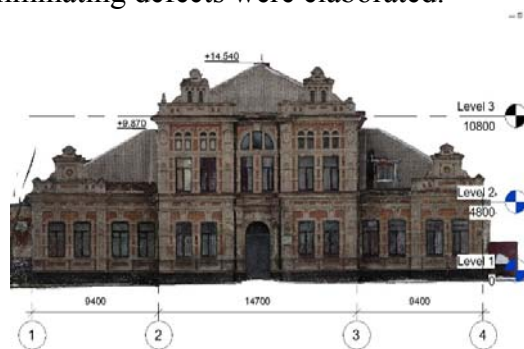


Fig. 6. Front elevation view

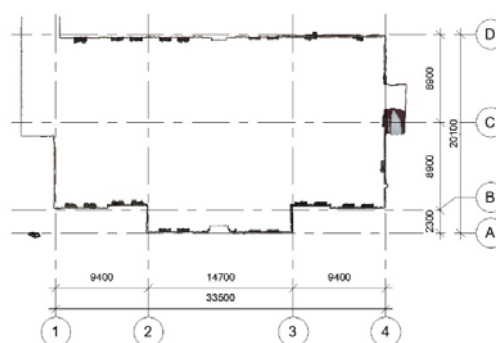


Fig. 7. Plan view

Damaged areas of the roof coating have been precisely identified through studying 3D textured mesh model in terms of both quantity and quality, which is challenging to do with traditional methods of inspection.

The obtained model was successfully used for documentation of structural and architectural elements and the building itself. Main drawings of existing building were semi-automatically created in Autodesk Revit BIM software with the help of background 3D point cloud model (Fig. 6-7). Creation such documentation with traditional methods of inspection would take a great deal of time and human resources with lack of detail and accuracy.

#### 5. Conclusion

Today, the preservation of monuments, the renewal and the restoration of historical buildings and structures is an integral part of the national culture. However, such work requires serious efforts of many specialists to perform proper diagnosis of the causes of destruction and the application of effective repair and finishing materials, as well as the valuation of financial investments.



The application of photogrammetry allowed providing full documentation of the building in a short time with minimum amount of human resources as well as assessing the technical condition of its elements including in hard-to-reach places.

The combined photogrammetry method including aerial and terrestrial capturing has

shown its effectiveness, especially for an inspection of landmarked buildings due to their complexity in form and density of obstacles around.

Thus, it is clearly shown that the presented inspection technique significantly reduces labor intensity and raises the efficiency of building and structures inspection.

## REFERENCES

1. Bilis T., Kouimtzoglou T., Magnisali M. and Tokmakidis P. *The use of 3d scanning and photogrammetry techniques in the case study of the roman theatre of nikopolis. Surveying, virtual reconstruction and restoration study.* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, (1–3 March 2017, Nafplio, Greece). Nafplio, 2017, vol. XLII-2/W3, pp. 97–103.
2. Pejić P., Krsić S., Krstić H., Dragović M. and Akbiyik Y. *3D Virtual Modelling of Existing Objects by Terrestrial Photogrammetric Methods – Case Study of Barutana.* Tehnički vjesnik. 2017, vol. 24, suppl. 1, pp. 233–239.
3. Barrile V., Bilotta G. and Nunnari A. *3D modeling with photogrammetry by uavs and model quality verification.* ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2017, vol. IV-4/W4, pp. 129–134.
4. Murtiyoso A., Remondino F., Rupnik E., Nex F. and Grussenmeyer P. *Oblique Aerial Photography Tool for Building Inspection and Damage Assessment.* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014, vol. XL-1, pp. 309–313.
5. Ellenberg A., Kotsos A., Bartoli I. and Pradhan A. *Masonry crack detection application of an unmanned aerial vehicle.* Computing in civil and building engineering. 2014, vol. 3, pp. 1788–1795.
6. *Архітектура менонітів. Від минулого до майбутнього* [Mennonite architecture. From the past to the future.]. Melitopol: Vydavnychiy budynok Melitopolskoi miskoi drukarni, 2010, 660 p. (in Ukrainian).
7. *Технический осмотр конструктивных элементов здания №18 ул. Истомина, г. Запорожье: отчет: 6360* [Technical inspection of structural elements of building no. 18 Istomin st., Zaporizhia city: report: 6360]. ООО «Настрой» [LLC «Nastroy»]. Zaporozh'e, 2012. (in Russian).
8. *ReCap Learning Support.* Help Home. Autodesk Recap Online Help. Available at: <https://help.autodesk.com/view/RECAP/2018/ENU/>. (Accessed on July 12, 2018)
9. Schenk T. *Introduction to Photogrammetry.* Columbus: The Ohio State University, 2005, 95 p.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The use of 3d scanning and photogrammetry techniques in the case study of the roman theatre of nikopolis. Surveying, virtual reconstruction and restoration study / T. Bilis, T. Kouimtzoglou, M. Magnisali, P. Tokmakidis // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences : 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, (1–3 March 2017, Nafplio, Greece). – Nafplio, 2017. – Vol. XLII-2/W3. – P. 97–103.
2. 3D Virtual Modelling of Existing Objects by Terrestrial Photogrammetric Methods – Case Study of Barutana / P. Pejić, S. Krsić, H. Krstić, M. Dragović, Y. Akbiyik // Tehnički vjesnik. – 2017. – Vol. 24, suppl. 1. – P. 233–239.
3. Barrile V. 3D modeling with photogrammetry by uavs and model quality verification / V. Barrile, G. Bilotta, A. Nunnari // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol. IV-4/W4. – P. 129–134.
4. Oblique Aerial Photography Tool for Building Inspection and Damage Assessment / A. Murtiyoso, F. Remondino, E. Rupnik, F. Nex, P. Grussenmeyer // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2014. – Vol. XL-1. – P. 309–313.
5. Masonry crack detection application of an unmanned aerial vehicle / A. Ellenberg, A. Kotsos, I. Bartoli, A. Pradhan // Computing in civil and building engineering. – 2014. – Vol. 3. – P. 1788–1795.
6. Архітектура менонітів. Від минулого до майбутнього. Пер. з англ. – Мелітополь : Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2010. – 660 с.
7. Технический осмотр конструктивных элементов здания №18 ул. Истомина, г. Запорожье : отчет : 6360 / ООО «Настрой». – Запорожье, 2012.
8. ReCap Learning Support // Help Home. Autodesk Recap Online Help. – Режим доступу: <https://help.autodesk.com/view/RECAP/2018/ENU/>. – Перевірено: 12.07.2018.
9. Schenk T. Introduction to Photogrammetry / T. Schenk. – Columbus : The Ohio State University, 2005. – 95 p.

Рецензент: Шатов С. В., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 07.12.2017 р.

УДК 378

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.96.65

## ЛАБОРАТОРІЯ ПЕДАГОГІЧНОЇ МАЙСТЕРНОСТІ ВИКЛАДАЧА ЯК ІНТЕГРАТИВНА СКЛАДОВА СУЧАСНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЄВСЕЄВА Г. П.<sup>1</sup>, *д-р наук. гос. упр., проф.*,

ЛИСЕНКО Г. І.<sup>2</sup>, *канд. іст. наук, доц.*,

ФЕДИНА В. Г.<sup>3</sup>, *зав. лаб. моніторингу та якості освіти*

<sup>1</sup>Кафедра українознавства, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-94-98, ORCID ID: 0000-0001-9207-6333

<sup>2</sup>Кафедра українознавства, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. 38 (0562) 46-94-98, e-mail: galynalysenko@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6216-5025

<sup>3</sup>Лабораторія моніторингу та якості освіти, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна

**Анотація. Постановка проблеми.** Розуміючи важливість постійного саморозвитку та самовдосконалення, науково-педагогічного працівника, з метою підвищення рівня його професійно-педагогічної компетентності виникла гостра необхідність створити власну Лабораторію педагогічної майстерності, яка має всі можливості стати школою формування професійної компетентності викладачів ДВНЗ ПДАБА. **Мета статті** - проаналізувати рівень розвитку професійно-педагогічної компетентності викладачів сучасних закладів вищої технічної освіти та запропонувати ефективні шляхи підвищення зазначеної компетентності з метою удосконалення педагогічного процесу і підвищення якості навчання в ДВНЗ ПДАБА. **Завдання дослідження:** 1) визначити структуру професійно-педагогічної компетентності сучасного викладача; 2) з'ясувати співвідношення понять «професійно-педагогічна компетентність» і «професійний саморозвиток»; 3) визначити роль і місце Лабораторії педагогічної майстерності в структурі ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» як організації прогресивного викладацького співтовариства у питаннях євроінтеграційних освітніх проблем. **Висновок.** Сучасний викладач як вчений і педагог, повинен виходити за рамки своїх спеціальних дисциплін, постійно розширювати коло своїх компетенцій, бути в курсі інновацій в педагогічній науці. Оскільки, студенти свідомо і несвідомо копіюють своїх викладачів і для того, щоб підготувати висококваліфікованого конкурентоспроможного молодого фахівця, викладачі повинні бути суперпрофесіоналами у своїй галузі, здатними до самоактуалізації в науково-педагогічній діяльності, займаючись постійним саморозвитком і самовдосконаленням.

**Ключові слова:** професійно-педагогічна компетентність; викладачі технічних закладів вищої освіти; самовдосконалення особистості; лабораторія педагогічної майстерності; школа професійного розвитку

## ЛАБОРАТОРИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАК ИНТЕГРАТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

ЄВСЕЄВА Г. П.<sup>1</sup>, *д-р наук. гос. упр., проф.*,

ЛЫСЕНКО Г. И.<sup>2</sup>, *канд. ист. наук, доц.*,

ФЕДИНА В. Г.<sup>3</sup> *зав. лаб. Мониторинга и качества образования*

<sup>1</sup>Кафедра украиноведения, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-94-98, e-mail: evseeva@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-9207-6333

<sup>2</sup>Кафедра украиноведения, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. 38 (0562) 46-94-98, e-mail: galynalysenko@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6216-5025

<sup>3</sup>Лаборатория мониторинга и качества образования, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина

**Аннотация. Постановка проблемы.** Понимая важность постоянного саморазвития и самосовершенствования научно-педагогического работника, с целью повышения уровня его профессионально-педагогической компетентности возникла необходимость создать собственную Лабораторию педагогического мастерства, которая имеет все возможности стать школой формирования профессиональной компетентности преподавателей ДВНЗ ПДАБА. **Цель статьи** – проанализировать уровень развития профессионально-педагогической компетентности преподавателей современных заведений высшего технического образования и предложить эффективные пути повышения указанной компетентности с целью усовершенствования педагогического процесса и повышения качества обучения в ДВНЗ ПДАБА. **Задачи исследования:** 1) определить структуру профессионально-педагогической компетентности современного преподавателя; 2) выяснить соотношение понятий «профессионально-педагогическая компетентность» и «профессиональное саморазвитие»; 3)

определять роль и место Лаборатории педагогического мастерства в структуре ДВНЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» как организации прогрессивного преподавательского сообщества в вопросах евроинтеграционных образовательных проблем. **Вывод.** Современный преподаватель как ученый и педагог, должен выходить за рамки своих специальных дисциплин, постоянно расширять круг своих компетенций, быть в курсе инноваций в педагогической науке. Вообще, студенты сознательно и бессознательно копируют своих преподавателей и для того, чтобы подготовить высококвалифицированного конкурентоспособного молодого специалиста, преподаватели должны быть суперпрофессионалами в своей области, способными к самоактуализации в научно-педагогической деятельности, которые занимаются постоянным саморазвитием и самосовершенствованием.

*Ключевые слова:* профессионально-педагогическая компетентность; преподаватели высших технических учебных заведений; самосовершенствование личности; лаборатория педагогического мастерства; школа профессионального развития

## LABORATORY OF PEDAGOGICAL SKILLS OF TEACHERS AS INTEGRATIVE COMPONENT OF MODERN TECHNICAL HIGHER EDUCATION

YEVSEIEVA G. P.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Public Management), Prof.*,

LYSENKO G. I.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

FEDINA V. G.<sup>3</sup>, *Head of laboratory of Monitoring and Education Quality*

<sup>1</sup>Department of the Ukrainian Studies, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskoho str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-94-98, ORCID ID: 0000-0001-9207-6333

<sup>2</sup>The department of Ukrainian studies, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, phone: 38 (0562) 46-94-98, e-mail: galynalysenko@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-6216-5025

<sup>3</sup> Laboratory of Monitoring and Education Quality, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine

**Annotation.** Realizing the importance of constant self-development and self-improvement of the scientific and pedagogical worker in order to increase his professional and pedagogical competence, we decided to set up our own Laboratory of Pedagogical Skill, which has all the possibilities to become a school for the formation of professional competence of teachers of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture. By the way, our project is not a single phenomenon of modern high school. Similar projects are implemented, as a rule, in higher pedagogical educational institutions; also in Kiev-Mohyla Academy it is organized its own certified School of Professional Development of Teachers. **The purpose of the article** is to analyze the level of development of vocational and pedagogical competence of teachers of modern higher education institutions and to propose effective ways to increase this competence in order to improve the pedagogical process and improve the quality of education at Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture. **Objectives of the research:** 1) to determine the structure of vocational and pedagogical competence of the modern teacher; 2) to find out the correlation between the concepts of "professional-pedagogical competence" and "professional self-development"; 3) to determine the role and place of the Laboratory of Pedagogical Skills in the structure of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture as the center of the progressive teaching community in questions of European integration educational problems. **Conclusion.** A modern teacher as a scientist and a teacher should go beyond the scope of his special disciplines, constantly expand his own competencies, be aware of innovations in pedagogical science. Generally, students knowingly and unknowingly copy their teachers, and in order to prepare a highly skilled, competitive young specialist, teachers must be super professionals in their field, capable to self-actualization in scientific and pedagogical activities that are engaged in constant self-development and self-improvement. Consequently, on the agenda of the modern high school there is a change in the culture of teaching, which requires extraordinary efforts on the part of teachers (who are forced to seek new forms of classes, modern didactic materials, methods of communication, assessment systems), and on the part of the administration of higher education (providing modern information system, educational materials, organization and support of innovative forms of training organization), as well as from students (who are aware of their partner position in the educational process and personal responsibility for the results of learning).

**Keywords:** vocational and pedagogical competence; teachers of technical institutions of higher education; self-perfection of personality; laboratory of pedagogical skills; school of professional development

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В Україні давно назріла необхідність реформи системи освіти в цілому і вищої освіти як її важливої складової. Звісно, це вимагає переосмислення багатьох досі застарілих підходів та відповіді на низку «контрольних запитань»: чому, кого,

як і, головне, навіщо вчити в українських вишах. На практичному рівні вкрай важливим бачиться системний менеджмент вищої освіти: необхідно ґрунтовно оновити навчальні програми, створити систему контролю якості освіти. Але впроваджувати нові інструменти та підходи, підвищувати

якість викладання тощо можна навіть на рівні кожного окремо взятого викладача.

У статті 58 чинного Закону України «Про вищу освіту» наголос зроблено на обов'язку науково-педагогічних працівників забезпечувати викладання на високому науково-теоретичному і методичному рівні, підвищувати свій професійний рівень, педагогічну майстерність, дотримуватись норм педагогічної етики. При цьому заклад вищої освіти забезпечує підвищення кваліфікації та стажування педагогічних, науково-педагогічних працівників не рідше одного разу на п'ять років із збереженням середньої заробітної плати [7].

Але чи зможе викладач, який підвищує кваліфікацію з періодичністю у п'ять років, відповідати сучасним викликам цивілізації і бути взірцем у професійному плані для молодого фахівця? За твердженням деяких джерел, студенти та роботодавці не задоволені якістю вищої освіти – 25 % українських студентів стверджують, що якість навчання погана; 41 % - що навчання не відповідає вимогам роботодавців. Кожен п'ятий роботодавець підтверджує, що знання та кваліфікація випускників вишів недостатні для потреб їх бізнесу [12].

Разом із тим, на освітянському просторі України все більше росте конкуренція серед вишів. На думку освітнього експерта Миколи Скиби, у конкурентній боротьбі переможуть ті виші, яким вдасться **створити власну унікальну пропозицію**. Серед небагатьох успішних прикладів у цьому сенсі Скиба називає НАУКМА і УКУ та зазначає, що «інші виші чекає сумна доля, якщо вони не переформатуються. Українські виші все одно будуть укрупнені, а після цього буде необхідно об'єднати життєздатні заклади на рівні горизонтальних зв'язків. Кожен виш має сформулювати свою унікальну пропозицію – це необхідна умова конкурентоздатності на глобальному ринку.

Сьогодні потрібно конкурувати на рівні рішень, а не просто знань чи технологій», - впевнений Микола Скиба. Запорука міжнародної конкурентоздатності, на думку Скиби, – це усвідомлення своїх унікальних сильних сторін та системна робота над недоліками. «Українські виші можуть бути

цілком конкурентні на зовнішньому ринку, деякі з них можуть дати фору, наприклад, польським навчальним закладам, говорить Скиба. – Але іноземні виші дають диплом міжнародного зразка та можливість стажуватися за кордоном. Українським закладам треба підтягувати якість менеджменту, ставлення до студентів, якість взаємодії з містом, громадою. Стратегія має полягати в тому, як із тим людським капіталом, що ще лишився в університетах, знайти вирішення нагальних викликів» [12]. У цих умовах підвищення професійної компетентності викладачів постає однією з нагальних проблем сучасної вищої школи.

*Професійна компетентність* – це інтегративне утворення особистості, що поєднує в собі сукупність знань, умінь, навичок, досвіду й особистісних якостей, які зумовлюють готовність і здатність особистості діяти у складній ситуації та вирішувати професійні питання з високим ступенем невизначеності. Викладачі сучасних закладів вищої технічної освіти як науково-педагогічні працівники також мають володіти високим рівнем професійної компетентності, яка полягає у здатності швидко реагувати і професійно діяти навіть у кризових умовах розвитку вищої освіти України. Відповідно до вимог Міжнародного співтовариства з інженерної педагогіки (IGIP), для викладача вищої школи однаково вагомими мають бути як науково-технічна, так і педагогічна складова кваліфікації. Взагалі, в країнах Америки та Європи запроваджено чітку систему професійної підготовки майбутніх викладачів до науково-педагогічної діяльності, зокрема, окрім згаданого співтовариства, функціонують факультети підготовки до майбутньої професії (PFF – Preparing Future Faculty).

Педагогічна складова розглядається як основна в структурі професійної компетентності викладача вищої школи, що зумовлює ефективність його професійного розвитку і вдосконалення. На думку дослідників, *професійна компетентність педагога* визначається: професійними знаннями і вміннями, професійно значущими особистими якостями, ціннісними орієнтаціями, мотивацією діяльності,

загальною і професійною культурою, індивідуальним стилем спілкування, здатністю до розвитку свого творчого потенціалу, володінням методикою викладання предмета, здатністю взаємодіяти зі студентами [5]. Професійна компетентність викладача складається з таких обов'язкових *компонентів*: мотиваційний, когнітивний, діяльнісний, ціннісно-рефлексивний та емоційно-вольовий, що дозволяють викладачу впевнено реалізовувати посадові функції адекватно педагогічній ситуації.

У структурі *професійного саморозвитку* викладача дослідники традиційно виокремлюють ціннісно-мотиваційний, когнітивний, операційний і рефлексивний компоненти. Якщо порівняти ці складові із компонентами професійної компетентності викладача, можна помітити майже повний збіг, який дозволяє сформулювати таке припущення: постійний професійний саморозвиток викладача - це запорука формування високого рівня його професійної компетентності.

Оскільки педагогіка вищої школи як наука і навчальна дисципліна належить до гуманітарної сфери знань, цілком логічний той факт, що зацікавлення педагогічною проблематикою, підготовка й організація науково-педагогічних заходів відбувається саме з ініціативи викладачів гуманітарних дисциплін, зокрема, кафедри українознавства ДВНЗ ПДАБА.

Спираючись на концепцію формування національної гуманітарно-технічної еліти, розроблену у Харківському політехнічному інституті, спрямовану на розвиток високої професійної компетентності молодих фахівців у гармонійному поєднанні з їх належною світоглядною і соціально-гуманітарною підготовкою, та досвід інших ЗВО України, представляємо власний досвід організації роботи в рамках діяльності наукової Лабораторії педагогічної майстерності ДВНЗ ПДАБА.

Наразі роль та функції освіти та навчального закладу зазнають справді фундаментальних змін. Змінилася сама суть освіти – це більше не колекціонування дат та назв, а, в першу чергу, формування поглядів і світогляду студента. Раніше опція «записати і вивчити» була вкрай важливою у навчанні, а

екзамени перевіряли саме обсяг та рівень засвоєної студентом інформації. У сучасному світі необхідність запам'ятовувати величезні обсяги інформації відпала, а викладач вже не є ексклюзивним носієм знання. Для сучасного вишу сьогодні стає все більш важливо, зберігаючи всі академічні компетенції, бути також майданчиком для відкритої комунікації та обміну думками.

Створенню цієї лабораторії передувала достатньо копітка робота викладачів кафедри українознавства та співробітників Лабораторії моніторингу якості освіти та організації й планування навчально-методичної роботи. Чітко усвідомити, як змінилося поняття освіти в сучасному світі, якими сьогодні постають її ролі та функції, та враховувати це у своїй роботі або навчальному процесі. Відкритість до нового та постійне оновлення – запорука відповідності часу.

Мета діяльності Лабораторії педагогічної майстерності така:

- спрямування викладачів і студентської молоді на формування і вдосконалення загальнопедагогічної компетентності, підвищення професійно-педагогічної майстерності, забезпечення творчого підходу до виконання своїх професійних обов'язків;

- висвітлення і поширення результатів науково-дослідницьких робіт із проблем педагогіки вищої школи;

- зв'язок із навчальним процесом, залучення викладачів, докторантів, аспірантів, магістрантів до виконання важливих науково-педагогічних завдань.

Серед найважливіших завдань лабораторії виокремлюємо такі:

1. Організація і проведення науково-педагогічних семінарів, круглих столів, науково-практичних конференцій, що забезпечить удосконалення педагогічної майстерності викладачів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.

2. Сприяння підвищенню якості підготовки науково-педагогічних кадрів ПДАБА – магістрів, аспірантів, докторантів та викладачів як представників національної гуманітарно-технічної еліти України.



3. Поглиблене вивчення досягнень сучасної педагогічної науки з проблем педагогічної майстерності та розроблення рекомендацій щодо впровадження їх у практику викладачів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.

4. Вивчення, узагальнення та впровадження у навчальний процес ПДАБА перспективного педагогічного досвіду з розвитку педагогічної майстерності викладача вищої школи завдяки застосуванню інноваційних методів і прийомів навчання у закладі вищої освіти технічного профілю.

5. Моделювання та апробація індивідуальних творчих дидактичних та виховних проєктів, спрямованих на підвищення рівня педагогічної майстерності викладачів ДВНЗ ПДАБА.

6. Публікація наукових статей, монографічних досліджень та підготовка навчально-методичних посібників із проблем удосконалення педагогічної майстерності викладача вищої школи; створення бібліотечного фонду з основ педагогічної майстерності педагога.

7. Надання доступу до найкращих світових практик у галузі педагогіки та можливості для професійного розвитку.

8. Допомога у вдосконаленні навчальних курсів на основі фахових компетенцій та сучасних навичок, необхідних для працевлаштування студентів.

9. Підвищення розуміння важливості академічного викладання та престижності професії.

10. Розвиток навичок для забезпечення інклюзивності та толерантності під час навчання.

11. Запровадження інноваційних інструментів організації навчального процесу.

12. Утворення співтовариства викладачів академії – лідерів позитивних змін та організація обміну досвідом, орієнтуючись на міждисциплінарні зв'язки і студентоцентричний підхід.

Важливо пам'ятати, що як наслідок змін функцій і формату освіти змінюється також і роль викладача: він сьогодні не лише передає

студентам знання, а і дає їм цілу систему практичних навичок, навичок дослідницької роботи, розвитку власної кар'єри тощо. Викладачі стають усе менш прив'язані до одного навчального закладу, і в цьому сенсі можуть бути рольовою моделлю для власних студентів, демонструючи приклад успішної експертної та наукової кар'єри. Викладач сьогодні має бути ментором, фасилітатором, створювати оптимальні умови для прогресу студентів. Ключова функція ментора у тому, аби розкрити когнітивні здібності студентів до навчання: знайти внутрішні мотиватори студентів до навчання, і сформувані навчальний графік так, аби розподілити час, коли студент споживає знання, коли працює самостійно, з викладачем та з іншими студентами. Виходячи із цих позицій, ми визначили основні напрями роботи лабораторії.

Діяльність лабораторії відбувається за двома напрямками:

1) дидактичний, суть якого полягає в розробленні та впровадженні в навчальний процес активних методів навчання, спрямованих на формування педагогічної майстерності викладачів ДВНЗ ПДАБА та реалізації їх творчого потенціалу;

2) мовленнєвий, спрямований на вдосконалення комунікативних якостей викладачів і реалізацію виховного потенціалу їх професійної діяльності засобами мовної комунікації.

Лабораторія активно популяризує результати своєї роботи різними способами: по-перше, шляхом постійної участі викладачів, що входять до її складу, в різноманітних науково-педагогічних заходах регіонального, всеукраїнського та міжнародного рівня. По-друге, результати науково-педагогічних розвідок працівники Лабораторії щодо розвитку професійної майстерності викладача вищої школи, регулярно публікуються: зокрема, у науковому збірнику «Вісник ПДАБА», фахових збірниках, посібниках із педагогіки вищої школи. По-третє, шляхом популяризації науково-педагогічних заходів загальноукраїнської освітянської ниви, спрямованих на підвищення педагогічної майстерності викладачів.

У рамках діяльності лабораторії ще у грудні 2014 року було проведено міжвузівський науково-педагогічний семінар на тему «Культура взаємин суб'єктів педагогічного процесу в умовах сучасного освітнього середовища», у якому взяли участь викладачі Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара, Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені В. Лазаряна, ДВНЗ ПДАБА. Серед рішень семінару було визначено нагальну потребу щорічної організації подібних заходів, які сприяють підвищенню професійно-педагогічної компетентності викладачів вишів.

Продовженням закладеної традиції організації подібних заходів став організований у травні 2015 року науково-практичний семінар завідувачів гуманітарних кафедр технічних вищих навчальних закладів м. Дніпропетровськ на тему «Актуальні проблеми викладання українознавчих дисциплін у вищих технічних навчальних закладах». Участь у ньому взяли викладачі Національного гірничого університету, Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, Українського державного хіміко-технологічного університету, Дніпропетровського державного інституту фізичної культури і спорту, ДВНЗ ПДАБА. Учасники заходу поділились досвідом пошуку шляхів удосконалення професійної майстерності викладача вищої технічної школи у викладанні дисциплін українознавчого циклу.

У лютому 2016 року в рамках діяльності Лабораторії відбулося засідання Круглого столу «Інноваційні інструменти викладання». Основна доповідь доцента кафедри українознавства Галини Іванівни Лисенко з педагогіки вищої школи на тему «Сучасні технології навчання у ВНЗ», на яку відгукнулись викладачі технічних кафедр ДВНЗ ПДАБА, представники ради молодих учених ПДАБА, магістри, викликала жваву дискусію. Учасники заходу активно дискутували з приводу співвідношення традиційних та інноваційних технологій навчання в сучасному освітньому процесі і

дійшли висновку щодо необхідності постійно удосконалювати власну педагогічну майстерність із метою поліпшення якості освітнього процесу у виші, бо особистісне спілкування викладача зі студентом дає аби значний професійно-науковий досвід.

Наступним заходом, організованим співробітниками Лабораторії педагогічної майстерності, став у травні 2017 року методичний науково-практичний семінар «Підвищення якості навчального процесу та запровадження новітніх освітніх технологій в умовах інформаційного суспільства». Захід відбувся на базі економічного факультету ДВНЗ ПДАБА і став підсумком пілотного проекту, спрямованого на виявлення найрезультативніших технологій навчання, які застосовують викладачі економічних і гуманітарних дисциплін ПДАБА.

Найближчі плани наукової Лабораторії педагогічної майстерності полягають в активізації роботи з організації науково-педагогічних семінарів всеукраїнського рівня на тему підвищення професійно-педагогічної компетентності викладачів сучасних ЗВО, а також у проведенні регіональної науково-практичної конференції магістрів, аспірантів і викладачів із проблем формування педагогічної майстерності викладача закладу вищої технічної освіти. Серед найактуальніших тем, запланованих на найближчий час, такі: «Компетентнісний підхід та працевлаштування студентів»; «Інтеграція онлайн навчання»; «Зворотний зв'язок та оцінка»; «Активне навчання»; «Студентоцентричне навчання», «Професійна етика викладача» тощо.

**Висновок.** Сучасний викладач як науковець і педагог повинен виходити за рамки своїх спеціальних дисциплін, постійно розширювати коло власних компетентностей, бути в курсі інновацій у педагогічній науці. Взагалі, студенти свідомо і несвідомо копіюють своїх викладачів і для того, щоб підготувати висококваліфікованого конкурентоспроможного молодого фахівця, викладачі мусять бути суперпрофесіоналами у своїй галузі, здатними до самоактуалізації в науково-педагогічній діяльності, які займаються постійним саморозвитком і самовдосконаленням.

Отже, на порядку денному сучасної вищої школи – зміна культури викладання, що вимагає неабияких зусиль як із боку викладачів (які змушені шукати нові форми проведення занять, сучасні дидактичні матеріали, способи комунікації, системи оцінювання), так і з боку адміністрації вишу (забезпечення сучасної інформаційної системи, навчальних матеріалів, організація і підтримка інноваційних форм організації навчання), а також із боку студентів (які усвідомлюють свою партнерську позицію в

освітньому процесі й особисту відповідальність за результати навчання).

Головна мета підвищення кваліфікації науково-педагогічних працівників сьогодні – представити викладачам найширший спектр сучасних прогресивних форм проведення лекцій, семінарів, іспитів, організації самостійної роботи, підходів до складання навчальних програм, показати тенденції та найкращі практики європейського і світового освітнього простору.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Булах І. Є. Особливості діагностування професійної компетентності викладачів / І. Є. Булах, М. Р. Мруга, І. В. Філончук. – Режим доступу: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/download/139/125>. – *Перевірено 19.06.2018*.
2. Євсєєва Г. П. Інноваційні та традиційні технології навчання в умовах інформатизації освіти / Г. П. Євсєєва, В. А. Бабенко // Імплементация сучасних технологій навчання у навчальний процес : матеріали Міжнар. наук. конф. (Київ, 17-18 березня 2015 р.) / Нац. ун-т харчов. технологій. – Київ, 2015. – С. 162–169.
3. Зязюн І. А. Педагогічний професіоналізм у контексті професійної свідомості / І. А. Зязюн // Педагог професійної школи : зб. наук. пр. – Київ : Науковий світ, 2001. – Вип. 1. – С. 8–17.
4. Каплінський В. В. Наукова лабораторія педагогічної майстерності викладача вищого навчального закладу як школа формування професійної компетентності / В. В. Каплінський, Н. І. Лазаренко // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : Педагогіка і психологія. – 2016. – Вип. 48. – С. 59–64.
5. Ільчук В. В. Педагогічні умови професійного саморозвитку викладачів фахових дисциплін у вищих аграрних навчальних закладах : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 : захищена 14.06.2016 / Віта Василівна Ільчук. – Вінниця, 2016. – 254 с.
6. Гладуш В. А. Педагогіка вищої школи : теорія, практика, історія : навч. посібник. / В. А. Гладуш, Г. І. Лисенко. – Дніпропетровськ, Акцент ПП, 2014. – 416 с.
7. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII : за станом на 01 січня 2018 р. // Верховна Рада України. Офіційний веб-портал. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>. – *Перевірено 19.06.2018*.
8. Програма професійного розвитку викладачів НаУКМА. Навчайся, спілкуйся, розвивайся! / Нац. ун-т «Києво-Могилянська академія» ; Школа проф. розвитку викл. при НаУКМА – Режим доступу: [https://drive.google.com/file/d/0B\\_tBWSLfs-CJcWdTLW1vT1daNzA/view](https://drive.google.com/file/d/0B_tBWSLfs-CJcWdTLW1vT1daNzA/view). – Назва з екрану. – *Перевірено 19.06.2018*.
9. Сисоєва С. О. Педагогічна компетентність викладача вищого навчального закладу непедагогічного профілю / С. О. Сисоєва // Компетентнісний підхід у сучасній університетській освіті : зб. наук. пр. / Нац. ун-т водного гос-ва та природокористування. – Рівне, 2011. – С. 3–11.
10. Теоретичні та методичні засади управління підготовкою фахівців з педагогіки вищої школи на основі компетентнісного підходу в межах європейської кредитно-трансферної системи організації навчального процесу : монографія / З. В. Рябова, І. І. Драч, В. В. Дивак, Н. О. Приходькіна, В. А. Рябов. – Київ : Альфа-Реклама, 2014. – 338 с.
11. Товажнянський Л. Л. Формування і реалізація концепції підготовки національної гуманітарно-технічної еліти в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» : навч. пос. / Л. Л. Товажнянський, О. Г. Романовський, О. С. Пономарьов. – Харків : НТУ «ХПІ», 2002. – 160 с.
12. «Вище» розпочинає спецпроект Go Higher, Education! // Вище прагни! Спільнота для навчання та викладання. – Режим доступу: <http://gohigher.org/education#5>. – Назва з екрану. – *Перевірено 19.06.2018*.
13. Паплаускайт М. Якість як тренд. Як ідея постійного самовдосконалення викладачів впливає на якість вищої освіти / М. Паплаускайте // theukrainians. – Режим доступу: с

### REFERENCES

1. Bulakh I.Ye., Mruha M.R. and Filonchuk I.V. *Osoblyvosti diahnostuvannia profesiinoi kompetentnosti vykladachiv* [Features of diagnosing the professional competence of teachers]. Available at: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/download/139/125>. (Accessed on June 19, 2018). (in Ukrainian).
2. Yevsieieva G.P. and Babenko V.A. *Innovatsiini ta tradytsiini tekhnologii navchannia v umovax informatyzatsii osvity* [Innovative and traditional technologies of education in the conditions of informatization of education]. *Implementatsiia suchasnykh tekhnologii navchannia u navchalnyi protses: materialy Mizhnar. nauk. konf. (Kyiv, 17-18 bereznia 2015 r.)*

- [Implementation of modern teaching technologies in the educational process: Materials of International Scientific Conference (Kyiv, March 17-18, 2015)]. Nats. un-t kharchov. Tekhnolohii [National University of Food Technologies]. Kyiv, 2015, pp. 162–169. [in Ukrainian].
3. Ziaziun I.A. *Pedahohichnyi profesionalizm u konteksti profesiinoi svidomosti* [Pedagogical professionalism in the context of professional consciousness]. *Pedahoh profesiinoi shkoly* [Lecturer of professional school]. Kyiv: Naukovyi svit, iss. 1, pp. 8-17 (in Ukrainian).
  4. Kaplinskyi V.V. and Lazarenko N.I. *Naukova laboratoriiia pedagogichnoi maisternosti vykladacha vyshhoho navchalnoho zakladu yak shkola formuvannia profesiinoi kompetentnosti* [Scientific laboratory of pedagogical skill of a teacher of higher educational institution as a school of formation of professional competence]. *Naukovi zapysky Vinnytsoho derzhavnoho pedagogichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: pedahohika i psykholohiia* [Scientific notes of the Vinnitsa State Pedagogical University named after Mikhail Kotsiubynsky. Series: Pedagogy and Psychology]. 2006, iss. 48, pp. 64-59. [in Ukrainian].
  5. Ilchuk V.V. *Pedahohichni umovy profesiinoho samorozvytku vykladachiv fakhovykh dystsyplin u vyshchykh ahrarnykh navchalnykh zakladakh: dys. kand. ped. nauk: 13.00.04: zahyshhena 14.06.2016* [Pedagogical conditions of professional self-development of teachers of professional disciplines in higher agricultural educational institutions: Cand. Sc. (Ped.) Dissertation: 13.00.04: protected on 14.06.2016]. Vinnytsia, 2016, 254 p. (in Ukrainian).
  6. Gladush V.A. and Lysenko G.I. *Pedahohika vyshhoi shkoly: teoriya, praktyka, istoriya* [Pedagogics of Higher School: Theory, Practice, History. Teaching manual]. Dnipropetrovsk: Akcent PP, 2014, 416 p. (in Ukrainian).
  7. *Pro vyshhu osvitu: Zakon Ukrainy vid 01.07.2014 r. № 1556-VII: za stanom na 01 sichnia 2018 r.* [About higher education: Law of Ukraine dated on 01.07.2014 r. № 1556-VII: as of January 1, 2018]. Verkhovna Rada Ukrainy [Verkhovna Rada of Ukraine]. Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>. (in Ukrainian). (Accessed on June 19, 2018).
  8. *Programa profesiinogo rozvytku vykladachiv NaUKMA. Navchaisia, spilkuisia, rozvyvaisia!* [Program of professional development of teachers of NaUKMA. Learn, communicate, develop!]. Nats. un-t «Kyievo-Mohylianska akademii»; Shkola prof. rozvytku vykl. pry NaUKMA [National University of Kyiv-Mohyla Academy; School of Professional Development at NaUKMA]. Available at: [https://drive.google.com/file/d/0B\\_tBWSLfs-CJcWdTLW1vT1daNzA/view](https://drive.google.com/file/d/0B_tBWSLfs-CJcWdTLW1vT1daNzA/view). (in Ukrainian). (Accessed on June 19, 2018).
  9. Sysoieva S.O. *Pedahohichna kompetentnist vykladacha vyshchoho navchalnoho zakladu nepedahohichnoho profilu* [Pedagogical competence of a teacher of a higher educational institution of non-pedagogical profile]. *Kompetentnisnyi pidkhid u suchasni universytetskii osviti* [Competency Approach in Modern University Education]. Nac. un-t vodnoho gos-va ta pryrodokorystuvannia [National University of Water and Nature Management]. Rivne, 2011, pp. 3-11. (in Ukrainian).
  10. Rshabova Z.V., Drach I.I., Dyvak V.V., Pryludkina N.O. and Riabov V.A. *Teoretychni ta metodychni zasady upravlinnia pidhotovkoiu fakhivtsiv z pedahohiky vyshchoi shkoly na osnovi kompetentnisnoho pidkhodu v mezhakh yevropeiskoi kredytno-transfernoï systemy orhanizatsii navchalnoho protsesu* [Theoretical and methodological principles of management of training of specialists in pedagogy of higher education on the basis of a competent approach within the framework of the European credit transfer system of educational process organization: monograph]. Kyiv: Alfa-Reklama, 2014, 338 p. (in Ukrainian).
  11. Tovazhnianskyi L.L., Romanovskyi O.H. and Ponomaryov O.S. *Formuvannia i realizatsiia kontseptsii pidhotovky natsionalnoi humanitarno-tekhnichnoi elity v NTU “Kharkivskiy politekhnichnyi instytut”* [Formation and implementation of the concept of preparation of the national humanitarian and technical elite at the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"]. Kharkiv: NTU “KhPI, 2002, 160 p. (in Ukrainian).
  12. *“Vyshhe” rozpochynaie spetsproekt Go Higher, Education!* [“Higher” launches a special project Go Higher, Education!]. *Vyshhe pragny! Spilnota dlia navchannia ta vykladannia* [Humble up! Community for teaching and teaching.]. Available at: <http://gohigher.org/education#5>. (in Ukrainian). (Accessed on June 19, 2018).
  13. Paplauskaite M. *Yakist yak trend: yak ideia postiinoho samovdoskonalennia vykladachiv vplyvaie na yakist vyshhoi osvity* [Quality as a Trend: As the idea of constant self-improvement of teachers affects the quality of higher education]. Theukrainians. Available at: <https://theukrainians.org/yakist-yak-trend/>. (in Ukrainian). (Accessed on June 19, 2018).

Рецензент: Дерев'яно В. М., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 20.12.2017 р.

УДК 69.032:624.01:699.86

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.170118.104.45

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

ЧЕРЕПАЩУК Л. А. *асс.*

Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона 4, г.Одесса, 65029, Украина, тел. +38 (048) 723-61-51, e.mail: larochka104@ukr.net

**Аннотация. Постановка проблемы.** На сегодняшний день в Украине вновь востребовано возведение малоэтажных домов. Несмотря на то, что более 70% «новостроев» в крупных городах Украины являются высотными (21-26 этажей), опросы свидетельствуют, что уже сегодня 60% людей предпочли бы индивидуальный дом квартире. Кроме того, по данным Государственной статистики в 2017 году в Украине принято в эксплуатацию дачные и садовые дома общей площадью 73,4 тыс. м<sup>2</sup>, которая, по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года, увеличилась на 16,8% [40, 95]. С 2017 года действует обновленный нормативный документ [45], в котором, основываясь на европейском опыте, вводятся новые требования к энергоэффективности здания. Поэтому, одним из направлений современного проектирования зданий является разработка эффективных энергосберегающих технологий и конструктивных решений наружного ограждения отвечающих нормативным требованиям. Статья посвящена новой технологии возведения малоэтажных зданий с энергоэффективными ограждающими конструкциями. Новизна конструктивно-технологического решения, подтверждена патентом на полезную модель [7]. Цель. На основании экспериментальных исследований определить влияния организационно-технологических факторов на показатели эффективности (стоимость, трудоемкость и продолжительность) новой технологии возведения энергосберегающих зданий. **Вывод.** Изложенная в работе методика и полученные результаты позволяют определить закономерности изменения показателей эффективности строительства – стоимости, трудоемкости и продолжительности под влиянием организационно-технологических факторов. Методика основана на построении трех типов моделей: экономических (сметные расчеты в программе АВК-5), графических (графики производства работ в программе Microsoft Project 2010) и аналитических (с использованием программы COMPEX). На основании построенных закономерностей изменения показателей эффективности строительства определены зоны эффективных строительных решений.

**Ключевые слова:** строительство; энергоэффективные технологии; организационные факторы; технологические факторы; моделирование; ограждающие конструкции; эффективные решения; малоэтажные здания

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РІШЕНЬ ЗВЕДЕННЯ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ ОГОРОДЖУВАЛЬНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

ЧЕРЕПАЩУК Л. А. *ас.*

Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона 4, м.Одеса, 65029, Україна, тел. +38 (048) 723-61-51, e.mail: larochka104@ukr.net

**Анотація. Постановка проблеми.** На сьогоднішній день в Україні знову затребуване зведення малоповерхових будинків. Незважаючи на те, що більше 70% «новобудов» у великих містах України є висотними (21-26 поверхів), опитування свідчать, що вже сьогодні 60% людей воліли б індивідуальний будинок квартирі. Крім того, за даними Державної статистики в 2017 році в Україні прийнято в експлуатацію дачні та садові будинки загальною площею 73,4 тис. м<sup>2</sup>, яка, в порівнянні з відповідним періодом попереднього року, збільшилася на 16,8% [2, 7]. З 2017 року діє оновлений нормативний документ [3] в якому, базуючись на європейському досвіді, введені нові вимоги до енергоефективності будівлі. Тому, одним з напрямків сучасного проектування будівель є розробка ефективних енергозберігаючих технологій і конструктивних рішень зовнішнього огородження відповідають нормативним вимогам. Стаття присвячена новій технології зведення малоповерхових будівель з енергоефективними огороджувальними конструкціями. Новизна конструктивно-технологічного рішення, підтверджена патентом на корисну модель [8]. **Мета.** На підставі експериментальних досліджень визначити впливу організаційно-технологічних факторів на показники ефективності (вартість, трудомісткість і тривалість) нової технології зведення енергозберігаючих будівель. **Висновок.** Викладена в роботі методика та отримані результати дозволяють визначити закономірності зміни показників ефективності будівництва – вартості, трудомісткості і тривалості під впливом організаційно-технологічних факторів. Методика заснована на побудові трьох типів моделей: економічних (кошторисні розрахунки в програмі АВК-5), графічних (графики виконання робіт в програмі Microsoft Project 2010) і аналітичних (з використанням програми COMPEX). На підставі побудованих закономірностей зміни показників ефективності будівництва визначені зони ефективних будівельних рішень.

**Ключові слова:** будівництво; енергоефективні технології; організаційні чинники; технологічні чинники; моделювання; озоруджувальні конструкції; ефективні рішення; малоповерхові будівлі

## DEFINITION OF EFFICIENT BUILDING DECISIONS OF ESTABLISHING LOW-ROOF BUILDINGS WITH ENERGY EFFICIENT FENCING CONSTRUCTIONS

CHEREPASCHUK L. A., *Ass.*

Department of Technology of Building Production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, st. Didriksona 4, Odessa, 65029, Ukraine, tel +38 (048) 723-61-51, e-mail: larochka104@ukr.net

**Summary. Formulation of the problem.** To date, in Ukraine, once again demanded the erection of low-rise buildings. Despite the fact that more than 70% of "new buildings" in large cities of Ukraine are high-rise (21-26 floors), public show that already today 60% of people would prefer an individual apartment house. In addition, according to the State Statistics in 2017 in Ukraine, dacha and garden houses with a total area of 73.4 thousand m<sup>2</sup> were put into operation, which, in comparison with the corresponding period of the previous year, increased by 16.8% [2, 7]. Since 2017, an updated normative document [3] has been in force, based on European experience, a new model for the calculation of energy losses of buildings is proposed. Therefore, one of the areas of modern building design is the development of efficient energy-saving technologies and constructive solutions for external fencing that meet regulatory requirements. The article is devoted to a new technology for erecting low-rise buildings with energy-efficient enclosing structures. The novelty of the constructive and technological solution is confirmed by the utility model patent [8]. **Goal.** On the basis of experimental studies, determine the impact of organizational and technological factors on performance indicators (cost, labor and duration) of a new technology for building energy-saving buildings. **Conclusion.** The methodology and results obtained in this paper make it possible to determine the regularities in the change in the efficiency indices of construction-cost, labor and duration, under the influence of organizational and technological factors. The methodology is based on the construction of three types of models: economic (estimated calculations in the AVK-5 program), graphic (production schedules in the Microsoft Project 2010 program) and analytical (using the COMPEX program). Based on the constructed patterns of change in the performance of construction, zones of effective building solutions are determined.

**Keywords:** construction; energy efficient technologies; organizational factors; technological factors; modeling; enclosing structures; efficient solutions; low-rise buildings

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день в Україні знову востребовано возведення малоэтажних домов. Несмотря на то, что более 70% «новостроев» в крупных городах Украины являются высотными (21-26 этажей), опросы свидетельствуют, что уже сегодня 60% людей предпочли бы индивидуальный дом квартире. Кроме того, по данным Государственной статистики в 2017 году в Украине принято в эксплуатацию дачные и садовые дома общей площадью 73,4 тыс. м<sup>2</sup>, которая, по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года, увеличилась на 16,8% [2, 7]. С 2017 года действует обновленный нормативный документ [3], в котором, основываясь на европейском опыте, предлагается новая модель учета энергопотерь здания. В связи с этим, возникла необходимость разработки эффективных энергосберегающих технологий и конструктивных решений наружного ограждения отвечающих нормативным требованиям [5].

**Анализ публикаций.** Следует отметить, что огромный вклад в изучение развития технологии малоэтажного жилищного строительства встречаются в трудах: Г. Д. Макаридзе [4], С. Н. Попельных, А. А. Плешивцева, М. Д. Тереха, И. Хаддадина. В работах проведены исследований в области совершенствования существующих конструктивно-технологических решений и традиционных технологий их возведения.

**Цель.** Учитывая, что в работе поставлен акцент на развитие новых технологий, в частности собственная разработка авторов (патент), которая еще не исследована, встала задача выявления закономерности изменения показателей эффективности строительства – стоимости, трудоемкости и продолжительности под влиянием организационно-технологических факторов.

**Изложение материала.** В данной работе представлено экспериментальное исследование новой технологии возведения малоэтажных зданий с энергоэффективными

ограждающими конструкциями описанной в патенте №123124 [8].

Наиболее значимыми показателям эффективности выбранной технологии приняты: стоимость, трудоемкость и продолжительность строительства.

К основным факторам, оказывающим наибольшее влияние на показатели

эффективности выбраны: коэффициент использования рабочего времени, сплошность опалубки, количество технологических уровней, высота технологического уровня. Факторы и уровни их варьирования приведены в табл.1

Таблица 1

**Факторы и уровни их варьирования**

Уровни варьирования	Факторы			
	Организационные	Технологические		
	X <sub>1</sub> коэф.использования рабочего времен	X <sub>2</sub> сплошность опалубки, %	X <sub>3</sub> количество технологических уровней	X <sub>4</sub> высота технологического уровня, м
-1	0,24	18	1	2,5
0	0,5	50	2	3,0
+1	0,75	82	3	3,5

Согласно принятому плану численного эксперимента возведения малоэтажного здания по проекту «Терция» площадью в плане 130 м<sup>2</sup>, рассчитано 25 вариантов объемов работ. Они использовались для дальнейшего построения моделей в виде сметных расчетов и графиков производства работ по возведению здания при различном сочетании уровней варьирования исследуемых факторов.

В процессе экспериментальных исследований были получены данные по стоимости и трудоемкости строительных процессов для каждого опыта, с помощью компьютерной программы АВК-5, версия 3.3.1, в виде экономической модели. Сметные расчеты включают такие разделы: Земляные работы; Фундамент ленточный монолитный; Стены в несъемной опалубке; Монолитное железобетонное перекрытие; Крыша и кровля; Оконные проемы Дверные проемы; Внутренняя отделка; Наружная отделка. Все сметные расчеты преобразовывались к расчетному показателю 100 м<sup>2</sup> в плане.

Полученные данные по трудозатратам из сметных расчетов импортировались в программу Microsoft Project, что позволило определить продолжительность возведения малоэтажного здания в виде графической модели согласно технологии выполнения производственных процессов.

В результате экономического и графического моделирования было получено 25 вариантов сметных расчетов, и такое же количество графиков производства работ, которые использованы в экспериментально-статистическом моделировании (ЭСМ) [1]. Результаты ЭСМ представлены в табл.2.

Проведенные исследования позволили определить закономерности изменения показателей эффективности строительства – стоимости, трудоемкости и продолжительности под влиянием организационно-технологических факторов. Далее, на основании построенных закономерностей изменения показателей эффективности строительства (рис.1), было выявлено зоны эффективных решений.

Эффективность показателя стоимости строительства принята на уровне 1 800 000 грн за 100 м<sup>2</sup> здания в плане. Это значение базируется на информации Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины. В письме № 7/15-945 от 26.01.2018 г. «О индексах изменения стоимости по состоянию на 1 января 2018 г.» в таблице № 5 приведена усредненная стоимость строительства на территории Украины, в частности «Дома усадебного типа с хозпостройками» на уровне 18 146 грн за 1м<sup>2</sup> с НДС.

Поэтому, зоны, в которых стоимость составляет выше 1 800 000 грн, являются не эффективными и в дальнейшем исследовании исключаются.

В данном исследовании показатель трудоёмкости строительства здания определялся на основании сметного расчета в программном комплексе АВК-5. Полученные значения являются сметно-нормативной трудоемкостью и изменяются в зависимости от объёмов работ, проектных решений, то есть количества этажей, высоты

помещений, вида основных конструктивных элементов и т.д. поэтому, границей эффективности является среднее значение между показателями, полученными на основании экономических моделей в виде смет, при разных уровнях варьируемых факторах. Таким образом, это значение равно 3 000 тыс.человека часов. Зоны, в которых значения меньше 3 000 тыс.чел.час. являются технологически эффективными, а те, в которых больше – неэффективными и обозначены штриховкой.

Таблица 2

**План и результаты экспериментально-статистического моделирования**

№ точки	Кодированные факторы				Натурные факторы				Показатели		
	X <sub>1</sub> Коэф. Исползов. Раб. врем	X <sub>2</sub> Сплошность опалубки,%	X <sub>3</sub> Количество технолог. уровней	X <sub>4</sub> Высота технолог.уровн	X <sub>1</sub> Коэф. Исползов. Раб. врем	X <sub>2</sub> Сплошность опалубки,%	X <sub>3</sub> Количество технолог. уровней	X <sub>4</sub> Высота технолог.уровн	Стоимость строительства, млн.грн /100м <sup>2</sup>	Трудоёмкость, тыс.чел.час/100м <sup>2</sup>	Продолжительность стр., дн/100м <sup>2</sup>
1	1	1	1	1	0,75	82	3	3,5	2975,344	3,942	67
2	1	1	1	-1	0,75	82	3	2,5	2503,483	3,551	63
3	1	1	-1	1	0,75	82	1	3,5	1640,501	2,789	44
4	1	1	-1	-1	0,75	82	1	2,5	1406,94	2,599	42
5	1	-1	1	1	0,75	18	3	3,5	1839,557	3,979	64
6	1	-1	1	-1	0,75	18	3	2,5	1592,567	3,579	61
7	1	-1	-1	1	0,75	18	1	3,5	1167,044	2,804	43
8	1	-1	-1	-1	0,75	18	1	2,5	1068,731	2,610	41
9	-1	1	1	1	0,24	82	3	3,5	2815,363	3,942	123
10	-1	1	1	-1	0,24	82	3	2,5	2359,373	3,551	115
11	-1	1	-1	1	0,24	82	1	3,5	1527,880	2,789	85
12	-1	1	-1	-1	0,24	82	1	2,5	1302,025	2,599	82
13	-1	-1	1	1	0,24	18	3	3,5	1680,366	3,979	110
14	-1	-1	1	-1	0,24	18	3	2,5	1449,062	3,579	111
15	-1	-1	-1	1	0,24	18	1	3,5	1054,756	2,804	83
16	-1	-1	-1	-1	0,24	18	1	2,5	964,057	2,610	78
17	1	0	0	0	0,75	50	2	3,0	1305,031	2,913	47
18	-1	0	0	0	0,24	50	2	3,0	1187,864	2,913	91
19	0,02	1	0	0	0,5	82	2	3,0	1775,058	2,903	66
20	0,02	-1	0	0	0,5	18	2	3,0	1180,325	2,923	64
21	0,02	0	1	0	0,5	50	3	3,0	1797,875	3,774	87
22	0,02	0	0	1	0,5	50	2	3,5	1334,891	3,031	67
23	0,02	0	-1	0	0,5	50	1	3,0	1123,025	2,700	58
24	0,02	0	0	-1	0,5	50	2	2,5	1199,737	2,817	63
25	0,02	0	0	0	0,5	50	2	3,0	1255,355	2,913	65

Продолжительность строительства в данном исследовании определялась на основании объёмов работ и трудоемкости со сметных расчетов, с помощью программы Microsoft Project. Нормативный документ [6]

определяет «Усредненные показатели продолжительности строительства отдельных видов объектов непроизводственного назначения» регламентирует показатель продолжительности



строительства для домов усадебного типа. Если сравнить с полученными данными в Microsoft Project, где строительство здания в  $100 \text{ м}^2$  в плане, по предложенной технологии, при стандартной 40-часовой неделе рабочей неделе составляет 75 дней. То есть, полученные данные являются абсолютно адекватными и соответствуют нормативным требованиям [6]. Принимаем границу эффективности на уровне среднего значения 75 дней.

На рисунке 1 неэффективные решения показаны штриховкой.

Следующим этапом является поиск эффективных зон, принимаемых к дальнейшей разработке и осуществлению, которыми являются варианты, имеющие

наименьшие значения по всем показателям относительно принятых границ эффективности.

Эффективными являются зоны при ограничениях показателей на уровне:

- стоимость не более 1,8 млн.грн/ здание площадью в плане  $100 \text{ м}^2$ ;
- трудоемкость не более 3 тыс.чел.час / здание площадью в плане  $100 \text{ м}^2$ ;
- продолжительность не более 75 дней / здание площадью в плане  $100 \text{ м}^2$ .

Далее, в рамках данного исследования, представлена совмещенная диаграмма показателей эффективности строительства для определения зон эффективных организационно-технологических решений (рис. 1).

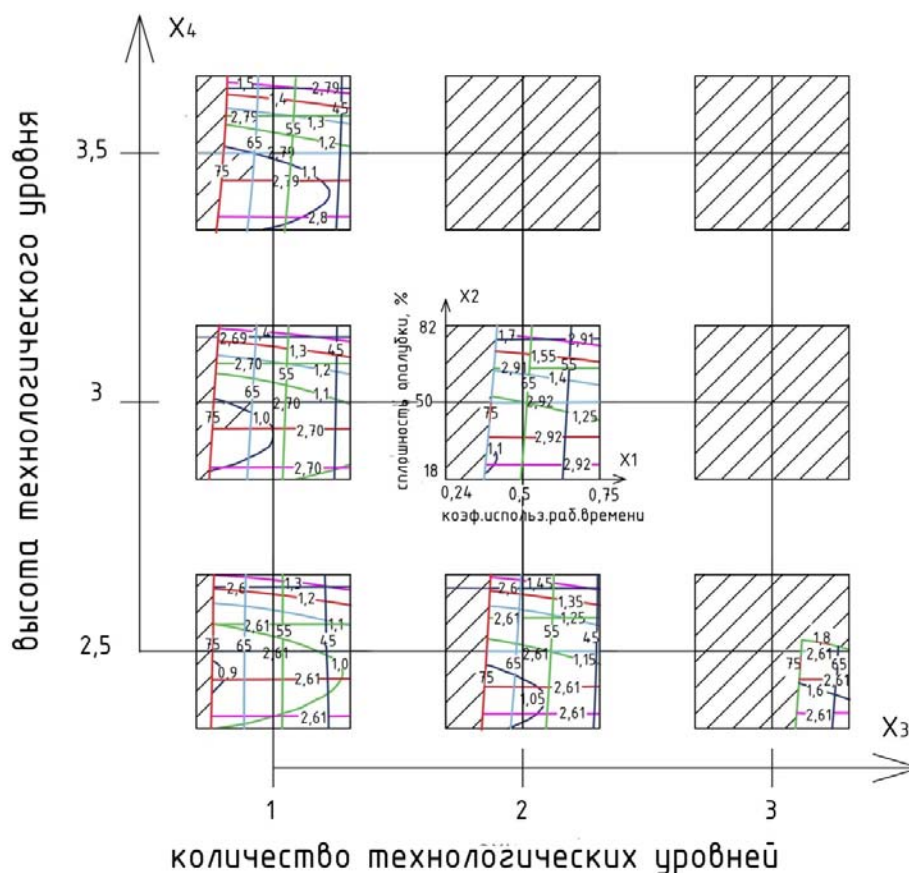


Рис. 1. Совмещенный график показателей эффективности строительства для определения зон оптимальных организационно-технологических решений

Проанализировав график (рис. 1), можно отметить, что наиболее эффективными являются 1 и 2-х уровневые дома при высоте технологического уровня от 2,5 до 3,5 м при условии, что коэффициент использования рабочего времени будет больше минимального ( $> 0,24$ ). Для получения эффективной модели строительства во всех случаях рациональнее использовать повышенный коэффициент использования рабочего времени, то есть изменять количество рабочего времени, за счет увеличением продолжительности рабочего дня или вводом сменности.

Поэтому, для достижения оптимальных показателей эффективности строительства возможно использование множества вариантов сочетаний организационно-технологических решений.

Например, для возведения 3-уровневого здания область зона оптимальных решений в разы меньше остальных. Тем более что неэффективными являются 3-уровневые дома с высотой технологического уровня 3 м и 3,5 м. Это объясняется повышенными объёмами работ, которые в свою очередь увеличивают и стоимость и трудоемкость, и, соответственно продолжительность строительства. В область допустимых значений попадают 3-уровневые дома с такими организационно-технологическими решениями:

- $X_1$  (коэффициент использования рабочего времени)=0,6-0,75;
- $X_2$  (сплошность опалубки)=18-55%;
- $X_3$  (высота технологического яруса)=2,5 м.

При таких решениях, зоны оптимальности показателей эффективности для здания площадью в плане 100 м<sup>2</sup> находятся в пределах значений:

$$S = \text{от } 1,5 \text{ млн.грн до } 1,8 \text{ млн.грн};$$

$$T = 2,610 \text{ тыс.чел.часов};$$

$$P = \text{от } 60 \text{ до } 75 \text{ дней}.$$

При возведении 2-х уровневых зданий в область неэффективных значений попадает высота технологического уровня в 3,5 м. Если рассматривать зону эффективности, то в данных случаях, сплошность опалубки ( $X_2$ ) может быть на любом уровне в пределах

выбранных значений, то есть от 18 % до 82 %, высота технологического уровня 2,5 м и 3 м, при коэффициенте использования рабочего времени от 0,4 до 0,75.

На основании анализа, были получены зоны оптимальных значений показателей эффективности для здания площадью в плане 100 м<sup>2</sup> при данных ограничениях:

$$S = \text{от } 1,0 \text{ млн.грн до } 1,75 \text{ млн.грн};$$

$$T = \text{от } 2,610 \text{ до } 2,790 \text{ тыс.чел.часов};$$

$$P = \text{от } 45 \text{ до } 75 \text{ дней}.$$

Для 1-уровневого здания, также как и в предыдущих вариантах, нет ограничений в сплошности опалубки, данные решения могут быть эффективными в пределах от 18 % до 82 % и высоты технологического уровня в пределах от 2,5 до 3,5 м, а вот коэффициент использования рабочего времени, меньше по сравнению с остальными вариантами, и может равняться от 0,3 до 0,75. Это говорит о том, что оптимальные значения строительства возможно получить без ввода особых режимов труда, то есть без сменностей, но, при увеличении рабочего времени максимум на 1 час применительно к стандартной 40-часовой рабочей неделе.

В итоге, на основании указанных выше ограничений были получены зоны оптимальных значений показателей эффективности для здания площадью в плане 100 м<sup>2</sup>:

$$S = \text{от } 0,9 \text{ млн.грн до } 1,45 \text{ млн.грн};$$

$$T = \text{от } 2,610 \text{ до } 2,910 \text{ тыс.чел.часов};$$

$$P = \text{от } 41 \text{ до } 75 \text{ дней}.$$

При этом можно сделать вывод, что при уменьшении организационного фактора – коэффициент использования рабочего времени, при любых из рассматриваемых уровнях технологических факторов (сплошности опалубки, количества технологических уровней и их высоты) продолжительность строительства начинает увеличиваться. Если рассмотреть данные факторы отдельно, то наибольшее влияние имеет количество технологических уровней, так как при его увлечении сразу возрастает стоимость и трудоемкость, соответственно и продолжительность. Но так как присутствует «коэффициент использования

рабочего времени», за счет чего вводятся смены или повышается количество рабочего времени в день, то фактор «количества технологических уровней» не оказывает особого влияния на продолжительность. Из этого следует, что целесообразно использовать увеличение рабочего времени в пределах от 0,5, то есть не менее 12-ти часового рабочего дня. Тем более, что на показатель трудоёмкости влияние данного фактора отсутствует.

**Выводы.** В результате эксперимента, исследуемое факторное пространство, описанное экспериментально-статистическими моделями, имеет области допустимых решений. На основании

графика (рис. 1), в пределах факторного пространства исследуемые показатели могут изменяться в пределах:

- снижении стоимости в 3,3 раза ( $S_{\max}=2,921$  млн.грн.при  $X_1=0,75$ ,  $X_2=82\%$ ,  $X_3=3$ ,  $X_4=3,5$ м;  $S_{\min}=0,877$  млн.грн при  $X_1=0,24$ ;  $X_2=40\%$ ,  $X_3=1$ ,  $X_4=2,5$  м);

- уменьшении трудоемкости в 1,5 раза ( $T_{\max}=3,973$  тыс.чел.часов при  $X_1=0,4$ ,  $X_2=18\%$ ,  $X_3=3$ ,  $X_4=3,5$  м;  $T_{\min}=2,603$  тыс.чел.часов при  $X_1=0,3$ ,  $X_2=82\%$ ,  $X_3=1$ ,  $X_4=2,5$ м);

- сокращении продолжительности в 3 раза ( $P_{\max}=120$  дней при  $X_1=0,24$ ,  $X_2=82\%$ ,  $X_3=3$ ,  $X_4=3,5$  м;  $P_{\min}=40$  дней при  $X_1=0,75$ ,  $X_2=82\%$ ,  $X_3=1$ ,  $X_4=2,5$ м).

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский В. А. Численные методы: решения строительно-технологических задач на ЭВМ : учеб. для вузов по спец. "Пр-во строительных изделий и конструкций" / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков ; под. ред. В. А. Вознесенского. – Киев : Выща шк., 1989. – 328 с.
2. Державна служба статистики України // Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>. – Назва з екрану. – Перевірено 27.06.2018.
3. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2016. – Чинний від 2017 05 01 ; на заміну ДБН В.2.6-31:2006. – Київ : Мінрегіон України, 2017. – 30 с. – (Державні будівельні норми).
4. Макаридзе Г. Д. Технологические исследования возведения малоэтажных зданий в несъемной опалубке / Г. Д. Макаридзе, И. Хаддадин // Вестник гражданских инженеров. – 2006. – № 4 (9). – С. 56–61.
5. Матросов Ю. А. Новое поколение норм и стандартов теплозащиты зданий обеспечивает переход к энергоэффективному строительству / Ю. А. Матросов // Реконструкція житла : наук.-виробн. вид. / НДІпроектреконструкція. – Київ : Нора-друк, 2005. – № 6. – С. 111–123.
6. Визначення тривалості будівництва об'єктів : ДСТУ Б А.3.1-22:2013. – Чинний від 2014.01.01 ; на заміну СНІП 1.0403-85\*. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 39 с. – (Національний стандарт України).
7. Объемы принятого в эксплуатацию жилья в Украине за 2017 год: Госстат // Портал недвижимости Domik.ua. Энциклопедия недвижимости. – Режим доступа: <http://domik.ua/novosti/obemy-prinyatogo-v-ekspluatatsiyu-zhilya-v-ukraine-za-2017-god-gosstat-n255275.html>. – Название с экрана. – Проверено 27.06.2018.
8. Багатошарова стінова панель : пат. 123124 Україна (UA) : МПК E04B 2/42 / О. І. Менеїлюк, І. О. Менеїлюк, Л. А. Черепашук ; заявники та патентовласники О. І. Менеїлюк, І. О. Менеїлюк, Л. А. Черепашук (Україна). – № u201708823 ; заявл. 04.09.2017 ; опубл. 12.02.2018 ; Бюл. № 3. – 6 с.

## REFERENCES

1. Voznesenskij V.A., Lyashenko T.V. and Ogarkov B.L. *Chislennye metody: resheniya stroytel'no-tekhnologicheskix zadach na EVM* [Numerical methods for solving construction-technological problems on a computer]. Kiev: Vyshha shk., 1989, 328 p. (in Russian).
2. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (Accessed on June 27, 2018). (in Ukrainian).
3. *Teplova izoliatsiia budivel: DBN V.2.6-31:2016* [Thermal insulation of buildings: the State Building Regulations V.2.6-31:2016]. Dated on May 01, 2017. Kyiv: Minregion Ukrainy, 2017, 30 p. (in Ukrainian).
4. Makaridze G.D. and Haddadin Y. *Texnologicheskie issledovaniya vozvedeniya maloetazhnyx zdaniy v nes'emnoj opalubke* [Technological research of erection of low-rise buildings in non-removable formwork]. *Vestiyk grazhdanskix inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2006, no. 4 (9), pp. 56–61. (in Russian).

5. Matrosov Yu.A. *Novoe pokolenie norm i standartov teplozashhity zdanij obespechivaet perexod k energoeffektivnomu stroitel'stvu* [A new generation of norms and standards for thermal protection of buildings provides a transition to energy-efficient construction]. *Rekonstruktsiia zhytla* [Кущітїєкґсешшт ца еру dwelling]. NDiproektrekonstruktsiia [State Research and Design Institute "NDiproektrekonstruktsiia"]. Kyiv: Nora-druk, 2005, no. 6, pp. 111–123. (in Russian).
6. *Vyznachennia tryvalosti budivnytstva obektiv: DSTU B A.3.1-22:2013* [Determination of the duration of objects construction: National standard of Ukraine B A.3.1-22:2013]. Dated on January 01, 2014. Kyiv: Minregion Ukrainy, 2014, 39 p. (in Ukrainian).
7. *Ob'emy prinyatogo v ekspluatatsiyu zhyl'ya v Ukraine za 2017 god: Gosstat* [Volumes of accepted housing in Ukraine for 2017: the State Statistics]. *Portal nedvizhimosti Domik.ua. Encyklopediya nedvizhimosti* [Portal of real estate Domik.ua. Encyclopedia of Real Estate]. Available at: <http://domik.ua/novosti/obemy-prinyatogo-v-ekspluatatsiyu-zhilya-v-ukraine-za-2017-god-gosstat-n255275.html>. (Accessed on June 27, 2018). (in Russian).
8. Meneiliuk O.I., Meneiliuk I.O. and Cherepashhuk L.A. *Bahatosharova stinova panel* [Multilayer wall panel]. Pat. 123124, Ukraine (UA): МПК E04V 2/42, 6 p. (in Ukrainian).

*Стаття подана в авторській редакції.*

*Рецензент: Савицький М. В., д-р техн. наук, проф.*

Надійшла до редколегії: 20.12.017 р.