МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



Одеська державна академія технічного регулювання та якості

ISSN 2412 – 5288 (Print)
ISSN 2414 – 9780 (Online)
DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

2(15) 2019

ОДЕСА

ISSN 2412 – 5288 (Print)
ISSN 2414 – 9780 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

Випуск 2(15) 2019

Заснований у 2012 р.
Засновник: Одеська державна академія технічного регулювання та якості
65020, м. Одеса, вул. Ковальська (Кузнечна), 15
Телефон: (048)726-68-92, факс: (048)726-76-95
E-mail: odatry@gmail.com
Сайти: www.kachestvo.od.ua (https://osatrq.edu.ua), odatrya.org.ua.

Редакційна колегія

Голова редакційної колегії
Коломієць Леонід Володимирович (д.т.н., професор)
Заступник голови редакційної колегії
Братченко Геннадій Дмитрович (д.т.н., професор)

Аніскін Олексій (к.т.н., доцент, Республіка Хорватія)
Боряк Костянтин Федорович (д.т.н., доцент)
Ваганов Олександр Іванович (д.т.н., професор)
Величко Олег Миколайович (д.т.н., професор)
Волков Сергій Леонідович (к.т.н., доцент)
Гасанов Юсиф Надир огли (д.т.н., професор, Азербайджанська Республіка)
Гордієнко Тетяна Богданівна (д.т.н., професор)
Грабовський Олег Вікторович (к.т.н., доцент)
Діденко Віктор Дмитрович (д.ф.-м.н., професор)
Зборовська Ірина Адамівна (к.т.н., доцент)
Квасніков Володимир Павлович (д.т.н., професор)
Корсун Валерій Іванович (д.т.н., професор)
Кучерук Володимир Юрійович (д.т.н., професор)
Лещенко Олег Іванович (к.т.н., доцент)
Мілковіч Марін (к.т.н., професор, Республіка Хорватія)
Мілованов Валерій Іванович (д.т.н., професор)
Меленчук Тетяна Михайлівна (д.т.н., доцент)
Новіков Володимир Миколайович (д.ф.-м.н., професор)
Салсеану Александру (д.т.н., професор, Румунія)
Семенова Алла Василівна (д.пед.н., професор)
Скачков Валерій Вікторович (д.т.н., професор)
Солдо Божо (д.т.н., професор, Республіка Хорватія)
Чундева-Блаєр Марія (д.т.н., професор, Республіка Північна Македонія)
Янковський Олег Георгійович (к.т.н., доцент)

Відповідальний секретар Братченко Геннадій Дмитрович

Внесений наказом Міністерства освіти і науки України від 15.04.2014 р. № 455 до «Переліку наукових фахових видань України» за № 37 (технічні науки).

Затверджений до друку і розповсюдження через мережу Інтернет Вченою Радою Одеської державної академії технічного регулювання та якості (протокол № 4 від 28.11.2019 р.).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 18770-7570Р від 30.01.2012 р.

© Одеська державна академія технічного регулювання та якості

ISSN 2412 – 5288 (Print)
ISSN 2414 – 9780 (Online)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ZBÌRNIK NAUKOVIH PRAC' ODES'KOÏ DERŽAVNOÏ AKADEMÌÏ TEHNÌČNOGO REGULÛVANNÂ TA ÂKOSTÌ (COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF THE ODESA STATE ACADEMY OF TECHNICAL REGULATION AND QUALITY)

Issue 2(15) 2019

Established in 2012
Founder is Odesa state academy of technical regulation and quality
15 Kovalska street, Odesa, 65020, Ukraine
Phone: (048) 726-68-92, fax: (048) 726-76-95
E-mail: odatry@gmail.com
Websites: www.kachestvo.od.ua (https://osatrq.edu.ua), odatrya.org.ua.

Editorial board

Editor-in-Chief
Kolomiets Leonid (DSc, Professor, Ukraine)
Deputy Editor
Bratchenko Hennadii (DSc, Professor, Ukraine)

Aniskin Aleksej (PhD, Associate Professor, Republic of Croatia)
Boriak Kostiantyn (DSc, Associate Professor, Ukraine)
Vahanov Oleksandr (DSc, Professor, Ukraine)
Velychko Oleh (DSc, Professor, Ukraine)
Volkov Serhii (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Hasanov Yusif Nadir Ogly (DSc, Professor, Azerbaijan Republic)
Gordiyenko Tetyana (DSc, Professor, Ukraine)
Hrabovskyi Oleh (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Didenko Viktor (DSc, Professor, Ukraine)
Zborovska Iryna (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Kvasnikov Volodymyr (DSc, Professor, Ukraine)
Korsun Valerii (DSc, Professor, Ukraine)
Kucheruk Volodymyr (DSc, Professor, Ukraine)
Leshchenko Oleh (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Milković Marin (PhD, Professor, Republic of Croatia)
Milovanov Valerii (DSc, Professor, Ukraine)
Melenchuk Tetiana (DSc, Associate Professor, Ukraine)
Novikov Volodymyr (DSc, Professor, Ukraine)
Salceanu Alexandru (DSc, Professor, Romania)
Semenova Alla (DSc, Professor, Ukraine)
Skachkov Valerii (DSc, Professor, Ukraine)
Soldo Božo (DSc, Professor, Republic of Croatia)
Cundeva-Blajer Marija (DSc, Professor, Republic of North Macedonia)
Yankovskyi Oleh (PhD, Associate Professor, Ukraine)

Secretary Bratchenko Hennadii

Included by the Ministry of Education and Science of Ukraine order dated April 15, 2014 No. 455 to the "List of scientific professional editions of Ukraine" under No. 37 (technical sciences).

Approved for printing and distribution through the Internet by the Academic Council of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality (protocol No. 4 dated November 28, 2019).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 18770-7570Р від 30.01.2012 р.

© Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality

ЗМІСТ

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості 5

О. А. Никитюк, д.с.-г.н., В. М. Новіков, д.ф.-м.н.
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ СТАНДАРТІВ ISO 45001:2018 ТА ДСТУ OHSAS 18001:2010…….……. 6

Т. Б. Гордієнко, д.т.н., О. М. Величко, д.т.н., А. А. Габер, к.т.н.
ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ РАША ДЛЯ АНАЛІЗУ ШКАЛИ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЕКСПЕРТІВ У СФЕРІ ОСВІТИ…….. 14

О. І. Кисельова, к.пед.н.
РОЛЬ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ……..…….. 22

Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення 30

Л. В. Коломієць, д.т.н., В. Ф. Оробей, д.т.н., О. М. Лимаренко, к.т.н., О. М. Яцинюк
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ…….. 31

О. А. Романов, О. М. Лимаренко, к.т.н., А. Ю. Бажанова, к.т.н.
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА ЧИСЕЛЬНИМ МЕТОДОМ…… 36

Інформаційно-вимірювальні системи і технології 41

О. М. Величко, д.т.н., О. В. Грабовський, к.т.н., Т. Б. Гордієнко, д.т.н.
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СПІРАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ…….. 42

В. А. Мащенко, к.ф.-м.н., П. В. Кіндрат, к.ю.н.
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДИ РЕЗОНАНСНИХ КОЛИВАНЬ ЗАКРІПЛЕНОГО ПОЛІМЕРНОГО СТРИЖНЯ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОГО ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕННЯ …….. 49

Г. Д. Братченко, д.т.н., Г. Г. Смаглюк, І. С. Сеніва, Д. І. Орел
ВИМІРЮВАННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ БЛИСКУЧИХ ТОЧОК ЦІЛІ В ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНІЙ РЛС З ІСА ЗА УМОВ СКОШЕНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ 57

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК……..……..……..... 67

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ……..……..... 68

РОЗДІЛ 1

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості

УДК 616-093

О. А. Никитюк[1], д.с.-г.н., **В. М. Новіков**[2], д.ф.-м.н.

[1] *Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ*
[2] *Інститут підвищення кваліфікації фахівців в галузі технічного регулювання та споживчої політики Одеської державної академії технічного регулювання та якості, м. Київ*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ СТАНДАРТІВ ISO 45001:2018 ТА ДСТУ OHSAS 18001:2010

В роботі проведено порівняльний аналіз вимог стандартів ISO 45001:2018 та ДСТУ OHSAS 18001:2010, які визначають такі складові елементи соціальної відповідальності організацій, як охорона здоров'я та безпека праці.

За результатами порівняльного аналізу розроблені рекомендації для організацій та органів сертифікації систем стосовно шляхів вдосконалення наявних систем менеджменту з врахуванням необхідності виконання вимог сучасного міжнародного стандарту ISO 45001:2018.

Ґрунтуючись на сучасних вимогах, запропонований дворівневий варіант моделі системи управління охорони здоров'я та безпекою праці в організації побудований з врахуванням таких нових елементів системи, як ідентифікація і аналіз ризиків та планування дій з досягнення цілей системи на основі результату аналізу ризиків, що враховує вдосконалення як вимог до безпеки праці, так і вдосконалення самої системи.

***Ключові слова**: системи менеджменту, безпека праці, стандартизація, сертифікація, ризики.*

О. А. Никитюк[1], д.с.-х.н., **В. М. Новиков**[2], д.ф.-м.н.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ МЕНЕДЖМЕНТА ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА СТАНДАРТОВ ISO 45001: 2018 И ДСТУ OHSAS 18001: 2010

В работе проведен сравнительный анализ требований стандартов ISO 45001: 2018 и ДСТУ OHSAS 18001: 2010, которые определяют такие составляющие элементы социальной ответственности организаций, как здравоохранение и безопасность труда.

По результатам сравнительного анализа разработаны рекомендации для организаций и органов сертификации систем относительно путей совершенствования существующих систем менеджмента с учетом необходимости выполнения требований современного международного стандарта ISO 45001: 2018.

Основываясь на современных требованиях, предложенный вариант модели системы управления охраны здоровья и безопасностью труда в организации построен с учетом таких новых элементов системы, как идентификация, анализ рисков и планирование действий по достижению целей системы на основе результата анализа рисков.

***Ключевые слова:** системы менеджмента, безопасность труда, стандартизация, сертификация*

O. A. Nykytyuk, DSc, **V. M. Novikov,** DSc

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR MANAGEMENT SYSTEMS HEALTH AND LABOR SAFETY ISO 45001: 2018 AND OHSAS 18001: 2010 STANDARDS

The paper analyzes the requirements of ISO 45001: 2018 and OHSAS 18001: 2010, which identify such constituents of organizations' social responsibility as health and safety.

Based on the results of the comparative analysis, recommendations for the organizations and bodies of system certification regarding the ways of improving the existing management systems were developed taking into account the need to meet the requirements of the modern international standard ISO 45001: 2018.

Based on current requirements, the proposed version of the model is an organization's health and safety management system, tailored to new elements of the system, such as risk identification and analysis, and action planning to achieve the goals of the system based on the outcome of the risk analysis.

The proposed model of the system involves the formulation of health and safety policies and objectives, risk analysis, stakeholder interests and the existing context of organizations, action planning for goals and action planning, risk management and capability management, management of existing action plans in the organization, checking the level of achievement of the set goals in the spheres and occupational health and safety and goals for improving the management system, internal audit of the system, processes and results in organization, analysis management, improve the system.

The proposed model meets all requirements of ISO 45001: 2018 and provides for two levels of a control system. The first level ensures the fulfillment and improvement of the management system requirements.

The cyclical process of improvement covers the collection of data on context, risks, opportunities and action planning at the two specified levels of management, implementation of action plans and monitoring of their implementation.

Keywords: *management systems, safety, standardization, certification.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-6-13

Вступ

Складові концепції сталого розвитку, визначені міжнародним стандартом соціальної відповідальності ISO 26000 [1], як настанови, рекомендації, можливий «дороговказ» для сучасного бізнесу, все більш трансформуються у вимоги до систем менеджменту міжнародних стандартів, наприклад, ISO 14001 [2], ISO 50001 [3], ISO 39001 [4], за якими вже можлива сертифікація, оцінка відповідності ступеня виконання вибраних положень соціальної відповідальності.

Аналіз публікацій

Серед відомих наукових праць, що стосуються розвитку елементів соціальної відповідальності слід відмітити [5–15].

Самі положення таких елементів систем соціальної відповідальності, як, наприклад, охорона здоров'я та безпека праці, безперервно розвиваються.

Найбільш цікавими науковими роботами в цій сфері, на наш погляд є [8, 15].

Останнім часом в ISO було опубліковано міжнародний стандарт ISO 45001:2018 [16], який замінив тимчасово виданий аналог OHSAS 18001:2010 (ДСТУ OHSAS 18001:2010 [17]), що, в свою чергу, викликало потребу для організацій, що вже побудували і сертифікували свою систему менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці (СМ ОЗБП) у відповідності з вимогами [17], переходу до виконання вимог міжнародного стандарту та сертифікації СМ ОЗБП згідно з [16].

Фахівців організацій, керівників з якості, керівників у сфері безпеки праці, аудиторів органів сертифікації систем менеджменту (СМ) цікавлять питання порівняльного аналізу вимог [16] та [17], питання необхідності внесення змін у вже існуючу сертифіковану за [17] СМ ОЗБП організації з метою переходу до сертифікації згідно з вимогами [16].

Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу вимог стандартів [16] та [17] та узагальнення результатів такого аналізу у рекомендаціях стосовно переходу до виконання вимог міжнародного стандарту [16] організаціям та органам сертифікації.

Довгий час стандарт [17] визначав вимоги до організацій систем менеджменту (управління) в сферах охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці.

Підкреслимо, що вимоги стандарту стосувалися тільки аспектів охорони здоров'я, які відносяться до гігієни.

В передмові [17] зазначено, що цей стандарт буде анульовано після публікації відповідного міжнародного стандарту ISO.

Відповідний міжнародний стандарт [16] уже вийшов, але ще не прийнятий в якості національного в Україні. Формально ДСТУ OHSAS 1801 ще не змінений на ДСТУ ISO 45001, хоча Національне Агентство з Акредитації України вже проводить акредитацію органів сертифікації систем менеджменту охорони здоров'я та безпеки праці в рамках вимог ISO 45001:2018.

Необхідність переходу до міжнародного стандарту [16] пов'язана, перш за все, з питаннями глобалізації світової економіки і необхідністю (у зв'язку із цим) формування системи взаємного визнання сертифікатів відповідності на світовому рівні.

Тож принцип ISO «один стандарт, один сертифікат, а визнається будь-де в світі» тепер починає реалізовуватись і в галузі охорони здоров'я та безпеки праці після публікації єдиного міжнародного ISO стандарту [16], що визначає вимоги до СМ ОЗБП. Стандарт [17] охоплював гігієну праці, як частину охорони здоров'я. Тепер

у визначенні факторів здоров'я, крім фізичного стану людини, персоналу організації, охопленого системою [17], ще входить і психічний стан (чого раніше в [17] не було).

Як бачимо, сфера застосування [16] в порівнянні з [17] ширша, а сам статус [16] дозволяє вирішувати питання визнання результатів сертифікованих в Україні СМ ОЗБП за [16] на міжнародному рівні (в разі акредитації органів сертифікації в НААУ).

Крім того, слід зазначити, що вимоги [16] на відміну від [17], охоплюють усі зацікавлені сторони, а не лише персонал організації, що впроваджує систему.

Структура стандартів [16] та [17] різна, що визначається різницею в елементах СМ за вимогами [16] та [17].

Нагадаємо, що в загальному розумінні будь-яка система – це комплекс взаємопов'язаних і взаємозалежних елементів, які складають цілісну єдність.

Новими елементами СМ [16] в порівнянні з [17] слід вважати:

- лідерство;
- формування корпоративної культури в сфері ОЗБП;
- контекст організації;
- моніторинг СМ саме за встановленими показниками (індикаторами) результативності в сфері ОЗБП.

Крім того, при формуванні політики організації в галузі ОЗБП стандартом [17], на відміну від [16], не вимагалося декларування управління ризиками, хоча формально при плануванні дій в рамках СМ необхідно було аналізувати ризики.

Тепер за міжнародним стандартом [16] політика організації має містити заяву про аналізування ризиків, виходячи із контексту організації. В [17] поняття «контексту» взагалі не вводилось.

Головною спільною рисою СМ за [16] та [17] є побудова СМ в рамках циклу Демінга (плануй, роби, перевіряй, коригуй), хоча елементна база системи [16], як бачимо, ширша (рис. 1).

Необхідність встановлення індикаторів, показників результативності СМ ОЗБП за [16] є рисою усіх сучасних моделей СМ, яка, безумовно, здатна збільшити результативність будь-якої системи (вимоги щодо наявності конкретних показників, за якими оцінюється результативність, як системи в цілому, так і цілей в сфері ОЗБП в стандарті [17] не було).

Циклічний процес вдосконалення СМ ОЗБП в рамках вимог [16] зображений на рис. 2.

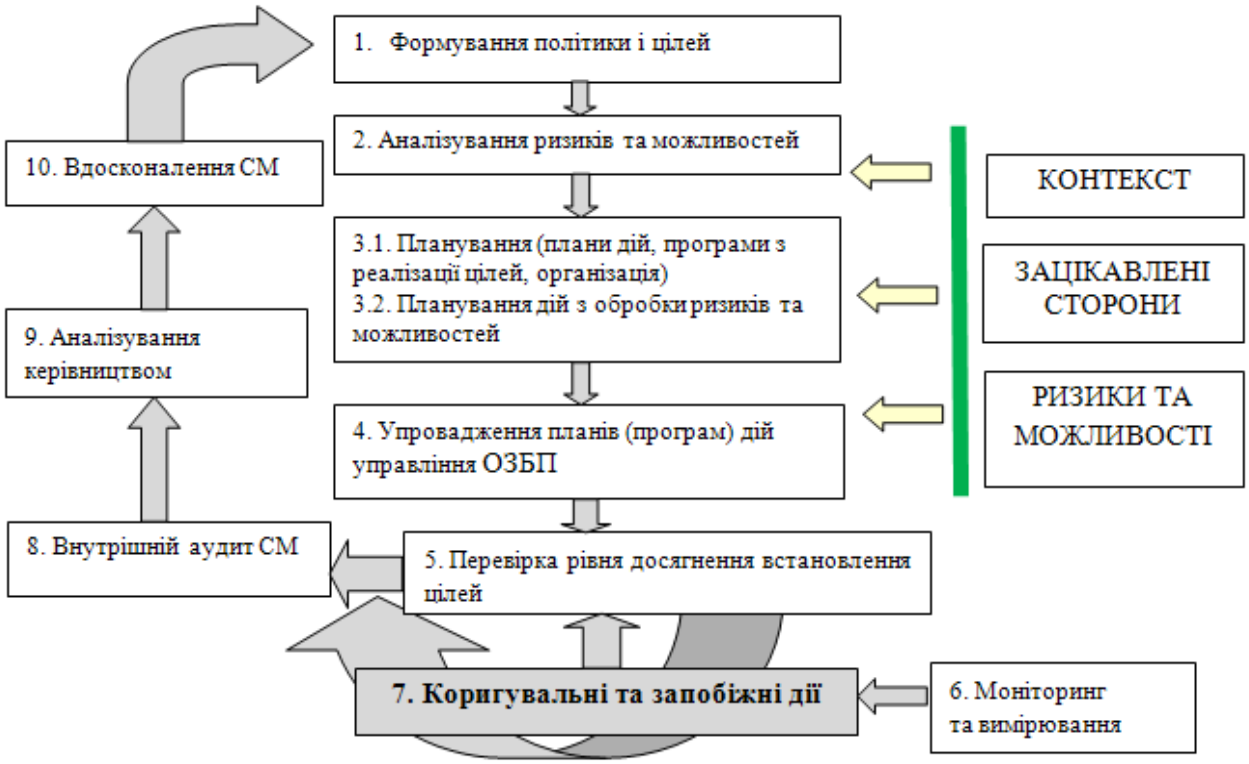


Рисунок 1 – Запропонований варіант елементів системи управління охорони здоров'я та безпеки праці згідно з вимогами ISO 45001

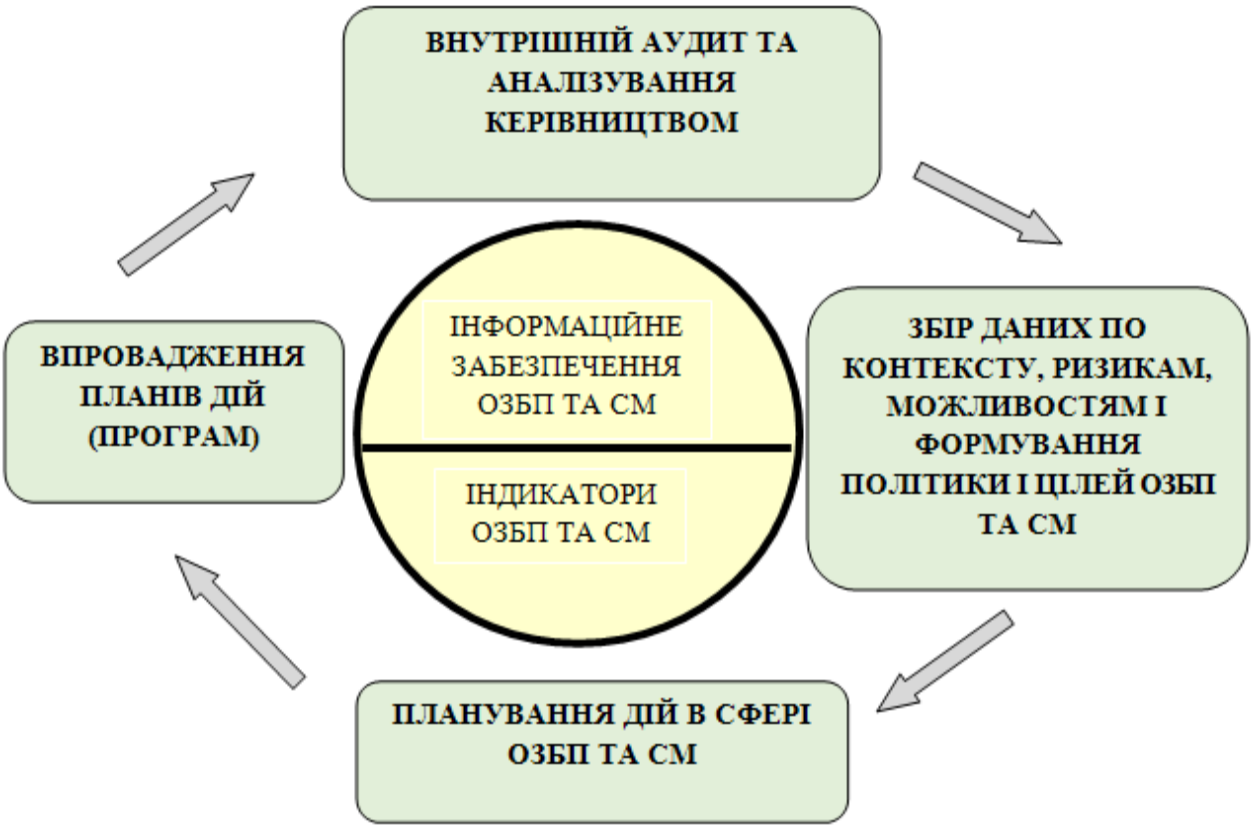


Рисунок 2 – Циклічний процес вдосконалення СМ за ISO 45001:2018.

Слід відмітити, що запропонований варіант моделі СМ в галузі ОЗБП легко може бути інтегрований з іншими стандартизованими моделями таких відомих елементів соціальної відповідальності, як безпека дорожнього руху чи енергоефективність. Модель передбачає вдосконалення усієї системи управління, завдяки універсальному набору елементів, характерних для будь-якої іншої системи соціальної відповідальності і базується, таким чином, на концепції сталого розвитку.

Окремою вимогою щодо необхідності внесення змін до СМ за результатами періодичного перегляду контексту, політики, цілей, іншої інформації (наприклад, законодавчих вимог до безпечності праці та охорони здоров'я) встановлено шлях до вдосконалення СМ з часом.

В таблиці 1 узагальнені вимоги відповідно [17] та [16] стосовно документальної структури СМ у зручному для порівняння вигляді.

Маючи такі таблиці організаціям просто зрозуміти, які додаткові процедури та інші документи слід розробити при підготовці до сертифікації за [16] (в порівнянні з [17]).

За результатами аналізування документальної структури СМ ОЗБП за стандартами [16] та [17], можна визначити наступні суттєві відмінності вимог [16] та [17] (табл. 1).

А саме: організаціям при переході до виконання вимог [16] треба буде додатково розробляти плани (програми) дій з обробки ризиків, можливостей та дій з управління можливими аварійними ситуаціями, а не тільки плани (програми) дій для досягнення цілей, як вимагалося раніше в [17].

Наявність такої вимоги ще раз підкреслює саме ризик-орієнтований характер СМ ОЗБП.

Стосовно наявності обов'язкових документованих процедур СМ – ми бачимо, що їх кількість скоротилася із 16 за [17] до 13 за [16].

В [16] від організації не вимагається, наприклад, наявності документованих процедур внутрішнього аудиту, управління документацією і управління даними, але як бачимо із таблиці, документовані докази функціонування вказаних вище процесів в організації (у вигляді документованої інформації, протоколів, програм, наприклад, внутрішнього аудиту) треба приводити.

Нагадаємо, що за визначенням процедура є документованим способом виконання діяльності (процесу), отже процедури можна об'єднувати, або роз'єднувати. Відсутність вимоги щодо обов'язкової наявності процедури зовсім не означає, що організація при переході від [17] до [16] повинна скасувати, наприклад, процедуру управління документацією, якщо вона була пот-

рібна і зручна.

На наш погляд, критерій, що визначає об'єм документації будь-якої системи один – об'єм документації СМ має бути таким, щоб забезпечити організації можливість доведення відповідності вимогам Стандарту.

При переході від [17] до [16] організації потрібно буде розробити ряд нових процедур, як то, процедуру виключення небезпек та зниження ризиків охорони здоров'я та безпеки праці, процедуру управління змінами (забезпечення цілісності функціонування СМ при плануванні і введенні змін) та процедуру управління закупівлями та аутсорсингом.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз вимог до документального оформлення СМ за ISO 45001:2018 та ДСТУ OHSAS 18001

OHSAS 18001	ISO 45001	OHSAS 18001	ISO 45001	OHSAS 18001	ISO 45001
ПРОЦЕДУРИ		**ДОКУМЕНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**		**ІНША ДОКУМЕНТАЦІЯ**	
Постійної ідентифікації небезпек, оцінювання та обробки ризиків	Постійної ідентифікації небезпек (по життєвому циклу, по процесам, по зацікавленим сторонам)	Протоколи ідентифікації небезпек, результати ідентифіковані, аналіз та обробка ризиків	Протоколи ідентифікації небезпек	1.Політика 2. Цілі (структуровані повноваження) 3. Відповідальності (повноваження структуровані) 4. Програми для досягнення цілей (плани дій)	1.Політика 2.Цілі (структуровані) 3. Відповідальності, повноваження (структуровані) 4. Програми для досягнення цілей (плани дій) 5. Плани дій (програми) з обробки ризиків, аварійних ситуацій, можливостей
Визначення та доступу до законодавчих (регуляторних) вимог	Визначення та доступу до законодавчих (регуляторних вимог)	Інформація про законодавчі, регуляторні вимоги	Інформація про законодавчі, регуляторні вимоги		
Забезпечення ознайомлення персоналу з вимогами ОЗБП та СМ	Немає	Інформація про кваліфікацію, компетентність, ознайомлення персоналу	Інформація про кваліфікацію, компетентність, ознайомлення персоналу		
Забезпечення зовнішніх та внутрішніх комунікацій	Забезпечення зовнішніх та внутрішніх комунікацій	Інформація про внутрішні та зовнішні комунікації	Інформація про внутрішні та зовнішні комунікації		

OHSAS 18001	ISO 45001	OHSAS 18001	ISO 45001
ПРОЦЕДУРИ		**ДОКУМЕНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**	
Забезпечення участі персоналу у консультуванні стосовно вимог ОЗБП і СМ (в разі потреби, то і зовнішнього консультування)	Забезпечення участі персоналу у консультуванні стосовно вимог ОЗБП і СМ (в разі потреби, то і зовнішнього консультування)	Інформація про консультування	Інформація про консультування
Управління документацією (внутрішньою та зовнішньою)	немає	Інформація про докази управління документацією	Інформація про докази управління документацією

OHSAS 18001	ISO 45001	OHSAS 18001	ISO 45001
ПРОЦЕДУРИ		**ДОКУМЕНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**	
Управління технічними операціями (технічні процедури), що впливають на виконання вимог та СМ	Управління технічними операціями, що впливають на виконання вимог ОЗБП (технічні процедури) та СМ	Критерії виконання технічних процесів (операційні критерії, KPI)	Критерії виконання технічних процесів та СМ (операційні критерії KPI)
Ідентифікації надзвичайних ситуацій, інцидентів, підготовки та реагування на надзвичайні ситуації	Ідентифікація надзвичайних ситуацій, інцидентів, підготовки та реагування на надзвичайні ситуації	Інформація про надзвичайні ситуації та реагування на них	Інформація про надзвичайні ситуації та реагування на них
Моніторингу і вимірювань характеристик вимог ОЗБП та параметрів СМ	Моніторингу і вимірювань характеристик вимог ОЗБП та параметрів СМ	Інформація про результати моніторингу характеристик вимог ОЗБП та СМ	Інформація про результати моніторингу характеристик вимог ОЗБП та СМ
Моніторингу та технічного обслуговування обладнання	Немає	Дані метрологів та технічне обслуговування обладнання	Інформація про гарантії метрологічного і технічного обслуговування обладнання
Оцінювання дотримання законодавчих (регуляторних вимог)	Оцінювання дотримання законодавчих (регуляторних) вимог. Оцінювання дотримання інших (взятих на себе) вимог	Результату моніторингу дотримання законодавчих (регуляторних) вимог	Результати моніторингу дотримання законодавства, регуляторних інших вимог
Періодичного оцінювання дотримання інших (взятих на себе) вимог	Періодичного оцінювання дотримання інших (взятих на себе) вимог	Результати моніторингу	Результати моніторингу
Розслідування та аналізування інцидентів (коригувальні дії по виконанню вимог ОЗБП)	Реагування на надзвичайні ситуації та управління невідповідностями технічними і СМ	Результати розслідування та аналізування інцидентів	-інформація про надзвичайні ситуації та реагування на них -інформація про невідповідності, причини, коригувальні дії
Управління коригувальними та запобіжними діями (по СМ)	Управління змінами, що впливають на ОЗБП та СМ (забезпечення цілісності функціонування СМ)	Дані по коригувальним та запобіжним діям	Інформація про зміни, що плануються
Немає	Виключення небезпек та зниження ризиків ОЗБП	Немає	Зменшення небезпек та ризиків
Управління даними (інформацією, протоколами)	Немає	Легалізувати всі перераховані носії даних	Немає
Проведення аудитів	Немає	Програми аудитів, критерії, методи, сфери, докази проведення, звіти	Програма аудитів, критерії, методи, сфери, докази, проведення, звіти

OHSAS 18001	ISO 45001	OHSAS 18001	ISO 45001
ПРОЦЕДУРИ		**ДОКУМЕНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**	
Немає	Немає	Докази проведення, аналізування керівництвом по вхідним та вихідним даним	Докази проведення аналізування керівництвом по вхідним та вихідним даним
Немає	Немає	Немає	Внутрішній та зовнішній контекст організації; Зацікавлені сторони; Сфери дії СМ; Інформація про комітети ОЗ та БП
Немає	Оцінювання та обробки ризиків, можливостей (вимог ОЗБП, СМ, процесів)	Немає	Результати ідентифікації, аналізу та обробки ризиків та можливостей
Немає	Управління закупівлями та аутсорсінгом	Немає	Інформація про оцінку постачальників та вхідний контроль матеріалів, послуг
Немає	немає	Немає	Інформація про докази постійного вдосконалення показників ОЗБП та СМ

Висновки

Проведено порівняльний аналіз вимог стандартів OHSAS 18001:2010 та ISO 45001:2018. Визначено додаткові елементи СМ, додаткові процедури СМ та інша документація, що вимагається стандартом ISO 45001:2018 в порівнянні із OHSAS 18001:2010. Запропоновано варіант структури дворівневої системи менеджменту в галузі ОЗБП організацій, в рамках ризик-орієнтованого підходу вимог ISO 45001:2018. Перший рівень забезпечує виконання і вдосконалення вимог до ОЗБП, другий – виконання та вдосконалення вимог до СМ.

Список використаних джерел:

1. ISO 26000:2010 «Guidance on social responsibility».
2. ISO 14001:2015 «Environmental management systems – Requirements with guidance for use».
3. ISO 50001:2018 «Energy management systems – Requirements with guidance for use».
4. ISO 39000:2018 «Risk management – Guidelines».
5. Новіков В. М. Аналіз вимог міжнародного стандарту ISO 50001 / В. М. Новіков, В. К. Домницька, О. В. Новікова // ССЯ. – 2013. – № 2. – С. 9–12.
6. Новіков В. М. Аналізування якості влади, виходячи із загальних закономірностей функціонування систем управління / В. М. Новіков, О. А. Никитюк // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – Одеса, 2017. – № 2(11). – С. 15–18.
7. Новіков В.М. Щодо якості влади в рамках концепції «сталого розвитку» та «соціальної відповідальності» / Л. О. Корчевна, В. М. Новіков, О. А. Никитюк // ССЯ. – 2009. – № 1. – С. 63–65.
8. Новіков В. М. Аналіз розвитку систем управління соціальною відповідальністю підприємств / Л. О. Корчевна, В. М. Новіков, В. К. Домницька // ССЯ. – 2009. – № 3. – С. 50–53.
9. Новіков В. М. Аналіз нормативних документів щодо соціальної відповідальності відповідності організацій / В. М. Новіков, В. К. Домницька, В. І. Жогло, В. В. Новіков // ССЯ. – 2010. – № 6. – С. 13–17.
10. Новіков В. М. Інноваційна модель системи управління якістю на основі ISO 9004:2009 / В. М. Новіков, В. В. Новіков // ССЯ. – 2011. – № 1. – С. 5–10.
11. Новіков В. М. Діагностичне самооцінювання, як невід'ємний елемент сучасної системи

управління / В. М. Новіков, В. В. Новіков // ССЯ. – 2011. – № 2. – С. 38–40.

12. Новіков В. М. Аналіз основних принципів міжнародного стандарту ISO 26000:2010 / В. М. Новіков, В. К. Домницька, В. І. Жогло, В. В. Новіков // ССЯ. – 2012. – № 2. – С. 24 – 27.

13. Новіков В. М. Процес діагностичного самооцінювання / В. М. Новіков // ССЯ. – 2013. – № 1. – С. 37–39.

14. Новіков В. М. Програми соціальної відповідальності / В. М. Новіков // ССЯ. – 2013. – № 1. – С. 26–30.

15. Новіков В. М., Никитюк О. А. Аналіз вимог міжнародного стандарту 39001:2012 / В. М. Новіков, О. А. Никитюк, В. В. Новіков // ССЯ. – 2014. – № 2(5). – С. 22–25.

16. ISO 45001:2018 «Occupational health and safety management systems Requirements with guidance for use»

17. DSTU OHSAS 18001:2010 Occupational health and safety management systems – Requirements. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. 2010. (DSTU OHSAS 18001:2010 Systemy upravlinnya heheyenoyu ta bezpekoyu pratsi. [Tekst]. – K.: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2010. – 28 s., in Ukrainian.

References

1. ISO 26000:2010 «Guidance on social responsibility».

2. ISO 14001:2015 «Environmental management systems – Requirements with guidance for use».

3. ISO 50001:2018 «Energy management systems – Requirements with guidance for use».

4. ISO 39000:2018 «Risk management – Guidelines».

5. Novikov V. M. Analiz vymoh mizhnarodnoho standartu ISO 50001 / V. M. Novikov, V. K. Domnytska, O. V. Novikova // SSIa. – 2013. – # 2. – S. 9–12.

6. Novikov V. M. Analizuvannia yakosti vlady, vykhodiachy iz zahalnykh zakonomirnostei funktsionuvannia system upravlinnia / V. M. Novikov, O. A. Nykytiuk // Zbìrnik naukovih pracʹ Odesʹkoï deržavnoï akademìï tehnìčnogo regulûvannâ ta âkostì. – Odesa, 2017. – # 2(11). – S. 15–18.

7. Novikov V.M. Shchodo yakosti vlady v ramkakh kontseptsii «staloho rozvytku» ta «sotsialnoi vidpovidalnosti» / L. O. Korchevna, V. M. Novikov, O. A. Nykytiuk // SSIa. – 2009. – # 1. – S. 63–65.

8. Novikov V. M. Analiz rozvytku system upravlinnia sotsialnoiu vidpovidalnistiu pidpryiemstv / L. O. Korchevna, V. M. Novikov, V. K. Domnytska // SSIa. – 2009. – # 3. –S. 50–53.

9. Novikov V. M. Analiz normatyvnykh dokumen-tiv shchodo sotsialnoi vidpovidalnosti vidpovidnosti orhanizatsii / V. M. Novikov, V. K. Domnytska, V. I. Zhohlo, V. V. Novikov // SSIa. – 2010. – # 6. – S. 13–17.

10. Novikov V.M. Innovatsiina model systemy upravlinnia yakistiu na osnovi ISO 9004:2009 / V.M. Novikov, V.V. Novikov // SSIa. – 2011. – # 1. – S. 5–10.

11. Novikov V. M. Diahnostychne samootsiniuvannia, yak nevidiemnyi element suchasnoi systemy upravlinnia / V. M. Novikov, V. V. Novikov // SSIa. – 2011. – # 2. – S. 38–40.

12. Novikov V. M. Analiz osnovnykh pryntsypiv mizhnarodnoho standartu ISO 26000:2010 / V. M. Novikov, V. K. Domnytska, V. I. Zhohlo, V. V. Novikov // SSIa. – 2012. – # 2. – S. 24 – 27.

13. Novikov V. M. Protses diahnostychnoho samootsiniuvannia / V. M. Novikov // SSIa. – 2013. – # 1. – S. 37–39.

14. Novikov V. M. Prohramy sotsialnoi vidpovi-dalnosti / V. M. Novikov // SSIa. – 2013. – # 1. – S. 26–30.

15. Novikov V. M., Nykytiuk O. A. Analiz vymoh mizhnarodnoho standartu 39001:2012 / V. M. Novikov, O. A. Nykytiuk, V. V. Novikov // SSIa. – 2014. – # 2(5). – S. 22–25.

16. ISO 45001:2018 «Occupational health and safety management systems Requirements with guidance for use»

17. DSTU OHSAS 18001:2010 Occupational health and safety management systems – Requirements. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. 2010. (DSTU OHSAS 18001:2010 Systemy upravlinnya heheyenoyu ta bezpekoyu pratsi. [Tekst]. – K.: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2010. – 28 s., in Ukrainian.

Надійшла до редакції 22.08.2019

УДК 621.317.1

Т. Б. Гордієнко, д.т.н., **О. М. Величко,** д.т.н., **А. А. Габер,** к.т.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ РАША ДЛЯ АНАЛІЗУ ШКАЛИ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЕКСПЕРТІВ У СФЕРІ ОСВІТИ

У статті представлені результати дослідження шкали для оцінювання компетентності експертів у сфері вищої освіти за допомогою моделі Раша. Первинні дані про експертів оброблено із застосуванням спеціального програмного забезпечення. Наведені результати перетворення вхідних первинних даних за критеріями та за експертами у вимірювання Раша. Аналіз отриманих результатів з оцінювання показав, що обрана шкала критеріїв для оцінювання експертів відповідає встановленим вимогам до моделі Раша. Проаналізовано результати оцінювання компетентності експертів у сфері освіти із застосуванням моделі Раша. Порівняння отриманих результатів оцінювання експертів з результатами їх оцінювання іншими методами показали їх високу кореляцію.

***Ключові слова**: компетентність експертів, шкала оцінювання, модель Раша, характеристична крива, програмний засіб, вища освіта.*

Т. Б. Гордиенко, д.т.н., **О. Н. Величко,** д.т.н., **А. А. Габер,** к.т.н.

Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ РАША ДЛЯ АНАЛИЗА ШКАЛЫ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТОВ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статье представлены результаты исследования шкалы для оценки компетентности экспертов в сфере высшего образования с помощью модели Раша. Первичные данные об экспертах обработаны с применением специального программного обеспечения. Приведены результаты преобразования входных первичных данных по критериям и по экспертам в измерения Раша. Анализ полученных результатов оценки показал, что выбранная шкала критериев для оценки экспертов соответствует установленным требованиям для модели Раша. Проанализированы результаты оценивания компетентности экспертов в сфере образования с применением модели Раша. Сравнение полученных результатов оценки экспертов с результатами их оценки другими методами показали их высокую корреляцию.

***Ключевые слова**: компетентность экспертов, шкала оценивания, модель Раша, характеристическая кривая, программное средство, высшее образование*

T. B. Gordiyenko, DSc, **O. M. Velychko,** DSc, **A. A. Gaber,** PhD

Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Odesa

APPLICATION OF RASCH MODEL FOR ANALYSIS OF THE SCALE OF COMPETENCE ASSESSMENT OF EXPERTS IN THE FIELD OF HIGHER EDUCATION

The results of the study of the scale for assessing the competence of experts in higher education using the Rusch model are presented in the article. Initial expert data was processed with using special software. This model uses special diagnostic features and special graphical features. One statistic focuses on the overall performance of the item or person, and the other covers rare events and unexpected events. The scale of the consistent response of each person to each element (Rusch scale) has the properties of interval scale.

The results of the transformation of input raw data by criteria and experts into Rusch measurements are presented. The analysis of the evaluation results showed that the selected scale of criteria for the evaluation of experts meets the established requirements for the Rusch model. Analyzing the input data for this model allows you to verify that the added results in the data are justified by what is called a data-matching test. The values obtained for the criteria used and the evaluated experts are within the established limits.

The results of the assessment of the competence of education experts using the Rusch model are ana-

lyzed. Comparison of the results of the experts' evaluation with the results of their evaluation by other methods showed their high correlation. The application of the evaluation method considered and other known method sources has yielded almost the same results. Most experts were ranked almost equally. All the least competent experts are also identified when using the Rush model.

The results showed that the Rush model could be used to analyze the scale of competence assessment of experts in higher education. The analysis of the results showed that the selected scale of criteria for the evaluation of experts meets the established requirements for the Rush model.

The measurement data obtained by the Rush model allowed us to calculate the established statistics for both the criteria and the experts evaluated.

Keywords: *expert competence, assessment scale, Rasch model, characteristic curve, software tool, higher education.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-14-21

Вступ

У сучасних умовах питання забезпечення якості вищої освіти стає все більш актуальним для компетентності персоналу на ринку праці. Україна інтегрується у європейську систему вищої освіти, яка має відповідати сучасним вимогам та європейським стандартам забезпечення якості вищої освіти. Особливо ретельному відбору підлягають фахівці експертного рівня. На сьогодні практично відсутні методи та кількісні критерії оцінювання компетентності експертів у сфері вищої освіти, що обумовлює актуальність дослідження.

Для створення нових або перегляду наявних шкал у різних сферах діяльності все частіше застосовують математичну модель Раша. Особливістю цієї моделі є трансформація отриманих вхідних даних в інтервальну шкалу натуральних логарифмів. При цьому до процесу логарифмічного перетворення вхідні дані у моделі Раша взагалі не розглядаються [1].

За допомогою моделі Раша можна отримати придатні результати шляхом застосування декількох статистик щодо адекватності отриманих даних, певної діагностичної інформації [2–4]. Ця модель представляє параметри тестування на єдиній загальній лінійній шкалі, що дозволяє здійснювати спеціальну інтерпретацію вхідних даних.

Актуальним і доцільним є проведення дослідження щодо придатності моделі Раша для оцінювання компетентності фахівців у сфері вищої освіти та порівняння отриманих результатів з результатами, отриманими іншими методами.

Аналіз публікацій та досліджень

Наукові публікації щодо моделі Раша охоплюють доволі велику кількість сфер діяльності [2–10]. Математичну сторону і саму теорію Г. Раша успішно розвинув Д. Андріч [2, 3]. Суть моделі полягає в тому, що якщо дані відповідають моделі Раша, то в результаті вони представляються на інтервальній шкалі, яка стійка до втрати деяких первинних даних. Тобто, модель є методом об'єктивного масштабування даних.

У [10] модель Раша визначено як порівняння результатів досліджуваних на шкалі натуральних логарифмів. У [11–13] представлені результати аналізу компетентності експертів у сфері технічного регулювання та метрології із застосуванням моделі Раша.

Для проведення необхідних розрахунків за моделлю Раша з подальшим оцінюванням придатності даних для використаної моделі, розроблено відповідний програмний засіб (ПЗ) WINSTEPS 4.4.0 [14], який постійно удосконалюється.

Постановка завдання

Метою дослідження є проведення аналізу відомих шкал для оцінювання компетентності експертів у сфері вищої освіти із застосуванням моделі Раша. Результатом аналізу мають стати висновки щодо їх придатності для оцінювання та сама оцінка із застосуванням моделі Раша. Отримані результати оцінювання експертів доцільно порівняти з результатами їх оцінювання іншими відомими методами.

Методи дослідження

Модель Раша розглядається як критерій оцінювання структури відповідей (шкали), а не лише статистичного оброблення отриманих даних. Порівняння двох персон у цій моделі не залежить від того, які елементи можуть використовуватися, і що оцінюють ту саму змінну. Вона може застосуватися для оцінювання в широкому колі сфер діяльності.

Модель Раша належить до моделей теорії реагування на предмети (IRT) і знайшла широке застосування для створення нових або для перегляду існуючих шкал у різних сферах діяльності. Особливістю цієї моделі є трансформація отриманих вхідних даних в інтервальну шкалу натуральних логарифмів. При цьому до процесу логарифмічного перетворення вхідні дані у цій моделі взагалі не розглядаються.

Аналіз вхідних даних за цією моделлю доз-

воляє перевірити те, чи додані результати в даних виправдано, що називається тестом відповідності між даними та моделлю. Зрозуміло, що отримані дані ніколи не будуть відповідати ідеальній моделі, тому важливо враховувати придатність даних для моделі стосовно застосованих загальних балів. Такий аналіз лінеаризує загальну оцінку, яка обмежена рівнем від 0 до максимальної оцінки для певних елементів дослідження, якщо дані адекватно відповідають цілям моделі.

Шкала послідовної відповіді кожної персони на кожний елемент (шкала Раша) має властивості інтервального масштабу: певні цифри показують, наскільки більше присутній атрибут елементу. Лінійні шкали Раша спочатку виражаються в одиницях в межах 1, але можуть бути перерозподілені відповідно до звичайного масштабування, як від 0 до 100, зберігаючи при цьому сукупну адитивність.

За допомогою моделі Раша на кожному рівні також оцінюється стандартна похибка вимірювання. Ця похибка завжди більша на верхніх і нижніх межах шкали, оскільки ця модель не обмежена у своїх межах, але вимірює від середини діапазону значень і передбачає нескінченність в обох напрямках. Вимірювання завжди краще, коли середні значення елементів лежать ближче до середніх значень шкали.

Характеристична крива елемента (ICC) або функція відповіді елемента (IRF) є **с**піввідношенням між ймовірністю успіху до елемента та прихованою рисою. Вона приймає S-форму і показує зв'язок між загальною оцінкою та оцінкою місця розташування персони. Графік ймовірності певного елемента як функції місцезнаходження певної персони має назву кривої ймовірності елемента (CPC) [15–18].

Для моделі Раша ключовим елементом є логіт (logit) – функція, яка є зворотною для сигмоїдної «логістичної» функції, що використовується в математиці [10, 18, 19]. Під вимірюванням у моделі Раша розуміється місце розташування у логітах за прихованою змінною.

Найбільш широко використовуваними діагностичними характеристиками моделі Раша є статистики Infit і Outfit. Ці статистики використовують нормалізовані невиважені середні квадрати, тобто є симетричними центрованими до нуля [12].

Статистика Infit більш чутлива статистика відповідності, яка фокусується на загальній продуктивності елемента або персони. Вона статистично зважена за даними, тобто за значенням стандартизованого середньо квадратичного відхилення спостереження від очікуваного. Статистика Outfit чутлива до статистики, яка охоплює рідкісні події та які відбулися несподіваним чином. Вона є середнім значенням квадратів стандартизованих відхилень спостереження продуктивності від очікуваної продуктивності.

Результати аналізу шкали для оцінювання компетентності експертів

У працях [20–22] описані методики оцінювання компетентності експертів у сфері вищої освіти різними методами. Для всіх цих методик використані одинакові критерії оцінювання компетентності експертів, які встановлюють певну шкалу.

Для реалізації описаних методів оцінювання компетентності експертів у сфері вищої освіти застосовані наступні критерії: К1 – освіта; К2 – загальний стаж роботи; К3 – науковий стаж роботи; К4 – науково-педагогічний стаж роботи; К5 – науковий ступінь, вчене звання; К6 – займана посада К7 – досвід експертної роботи у сфері вищої освіти. За кожним із критеріїв були визначені відповідні бальні оцінки.

Оцінювання компетентності експертів у сфері вищої освіти проведено за результатами анкетування на основі вищезгаданих критеріїв. До оцінювання було залучено 25 фахівців у сфері вищої освіти з двох закладів вищої освіти України.

Отримані первинні дані про зазначених експертів оброблено із застосуванням моделі Раша і ПЗ WINSTEPS 4.4.0 [14]. Результати перетворення вхідних первинних даних за критеріями та за експертами у вимірювання Раша наведені відповідно у табл. 1 і 2. У цих таблицях результати вимірювання за критеріями та за експертами подані у логітах у порядку їх зменшення. Похибка вимірювання подається на основі моделі Раша, тобто це оціночне значення, яке при додаванні та відніманні з вимірювання у логітах дає мінімальну відстань до того, як різниця стане значущою.

У стовпчиках статистик Infit і Outfit подано параметри, які характеризують відповідність даних моделі Раша:

MNSQ (mean-square statistic) – значення, що характеризують рівень випадковості результатів або невідповідність даних моделі вимірювання;

ZSTD – стандартизовані значення MNSQ, тобто ймовірність середньоквадратичної статистики, вираженої як z-статистика (середньоквадратичне відхилення).

Таблиця 1 – Результати перетворення даних за критеріями

Критерій	Загальний бал	Вимірювання	Похибка вимірювання	Статистика Infit		Статистика Outfit	
				MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD
К7	92	0,63	0,15	1,41	1,33	1,37	1,21
К6	103	0,38	0,15	0,55	-1,86	0,52	-1,93
К4	115	0,14	0,14	1,32	1,17	1,37	1,29
К5	118	0,08	0,14	1,13	0,57	1,06	0,31
К3	120	0,04	0,14	0,73	-1,01	0,69	-1,15
К2	139	-0,34	0,14	0,84	-0,50	0,73	-0,96
К1	165	-0,91	0,15	1,23	0,81	1,34	1,13
Середнє значення	121,7	0,00	0,15	1,03	0,1	1,01	0,0
Стандартне відхилення	22,3	0,47	0,01	0,3	1,1	0,34	1,2

Таблиця 2 – Результати перетворення даних за експертами

Експерт	Загальний бал	Вимірювання	Похибка вимірювання	Статистика Infit		Статистика Outfit	
				MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD
03	56	1,82	0,39	1,55	0,99	1,96	1,45
09	53	1,43	0,34	1,70	1,17	1,45	0,87
01	50	1,12	0,30	2,16	1,70	2,02	1,58
06	49	1,03	0,30	2,74	2,29	2,66	2,25
07	45	0,71	0,27	0,78	-0,27	0,73	-0,38
04	39	0,31	0,25	1,30	0,72	1,19	0,54
08	38	0,25	0,25	0,36	-1,64	0,36	-1,59
20	38	0,25	0,25	0,44	-1,33	0,44	-1,30
05	37	0,19	0,25	2,28	2,13	2,28	2,11
17	37	0,19	0,25	0,34	-1,74	0,33	-1,75
11	36	0,13	0,25	3,00	2,93	3,00	2,88
19	36	0,13	0,25	0,24	-2,23	0,23	-2,24
22	36	0,13	0,25	0,24	-2,23	0,23	-2,24
02	35	0,07	0,25	0,79	-0,31	0,93	0,02
25	31	-0,18	0,25	0,57	-0,86	0,51	-1,03
18	30	-0,25	0,26	0,43	-1,32	0,42	-1,30
16	29	-0,32	0,26	1,26	0,65	1,29	0,69
23	29	-0,32	0,26	0,89	-0,06	0,80	-0,25
12	28	-0,38	0,26	0,66	-0,59	0,57	-0,80
21	26	-0,52	0,27	0,49	-1,02	0,55	-0,84
10	22	-0,84	0,30	0,49	-0,94	0,61	-0,58
24	20	-1,03	0,32	0,87	-0,03	0,74	-0,28
14	18	-1,25	0,34	1,27	0,61	0,83	-0,08
15	18	-1,25	0,34	1,27	0,61	0,83	-0,08
13	16	-1,50	0,38	0,47	-0,78	0,36	-1,13
Середнє значення	34,1	0,00	0,28	1,06	-0,10	1,01	-0,10
Стандартне відхилення	10,7	0,81	0,04	0,77	1,40	0,77	1,40

MNSQ також називається відносним хі-квадратом чи нормованим хі-квадратом. Середньозважена статистика відповідності – це хі-квадратна статистика, поділена на її ступені свободи. Для ймовірності $p \leq 0,05$ (двосторонній розподіл), ZSTD > |1,96|.

Найбільш якісними і відповідними вважаються значення MNSQ у межах від 0,5 до 1,5. Значення нижче 1,0 показують, що дані або занадто передбачувані, або надмірно передбачувані, або переоцінені дані моделі. Значення вище 1,0 вказують на занадто непередбачувані дані або недооцінені дані моделі. Значення більші за 1,5 вказують на невизначеність та надмірне непередбачуваність даних («шум») у вхідних даних, а значення менші за 0,5 свідчать про певну «інформаційну перевантаженість» елементу.

Прийнятними є значення MNSQ від -2,0 до +2,0. Значення MNSQ за модулем більші 2,0 розглядаються як такі, що не відповідають моделі вимірювання і не можуть бути використані при аналізі результатів. Аналіз починають із пи-

тань з високим значенням MNSQ.

Отримані значення MNSQ для використовуваних критеріїв для статистики Infit знаходяться у межах від 0,55 до 1,41, а для статистики Outfit від 0,52 до 1,37. Це свідчить про те, що всі ці значення є прийнятними для аналізу за моделлю Раша і немає наявності «шуму» у вхідних даних.

Отримані значення MNSQ для експертів для статистики Infit знаходяться у межах від 0,24 до 2,00, окрім значень: 2,16 – для експерта 01; 2,28 – для експерта 05; 2,74 – для експерта 06; 3,00 – для експерта 11. Отримані значення MNSQ для експертів для статистики Outfit знаходяться у межах від 0,23 до 2,00, окрім значень для тих же експертів: 2,02 – для експерта 01; 2,28 – для експерта 05; 2,66 – для експерта 06; 3,00 – для експерта 11. Це свідчить про те, що всі значення є прийнятними для аналізу за моделлю Раша, окрім даних для експертів 01, 05, 06 і 11. Зважаючи на зазначене, доцільно дані цих експертів вилучити з подальшого аналізу для уточнення критеріїв.

Порівняння отриманого ранжування експертів з отриманим іншими методами оцінювання експертів [20] показало, що 13-ть експертів з 25 (52 %) отримали таке ж саме місце у ранжуванні, 9-ть – з різницею лише у одну позицію (36 %), а лише 2-а – з різницею у три позиції (8 %) і один – з різницею у шість позицій (4 %). Це свідчить про велику кореляцію отриманих різними методами результатів.

Слід зауважити, що застосування розглянутого метода оцінювання та інших методів [20] показало повністю такі ж самі результати стосовно найменш компетентних 11-ти експертів (13, 14, 15, 24, 10, 21, 12, 16, 23, 18 і 25). Це ілюструє рис. 1, на якому побудований графік функції диференційованих персон (DPF), що визначає частину мітки критерію, яка повинна використовуватись для класифікації елементів (критеріїв). Ця функція, побудована із застосуванням ПЗ MINISTEP 4.4.0 [14], встановлює рівномірність чи нерівномірність за правилами вибору стовпців для всіх оцінених експертів за всіма критеріями. Найменш компетентні експерти мають мінусові значення за результатами вимірювання за моделлю Раша.

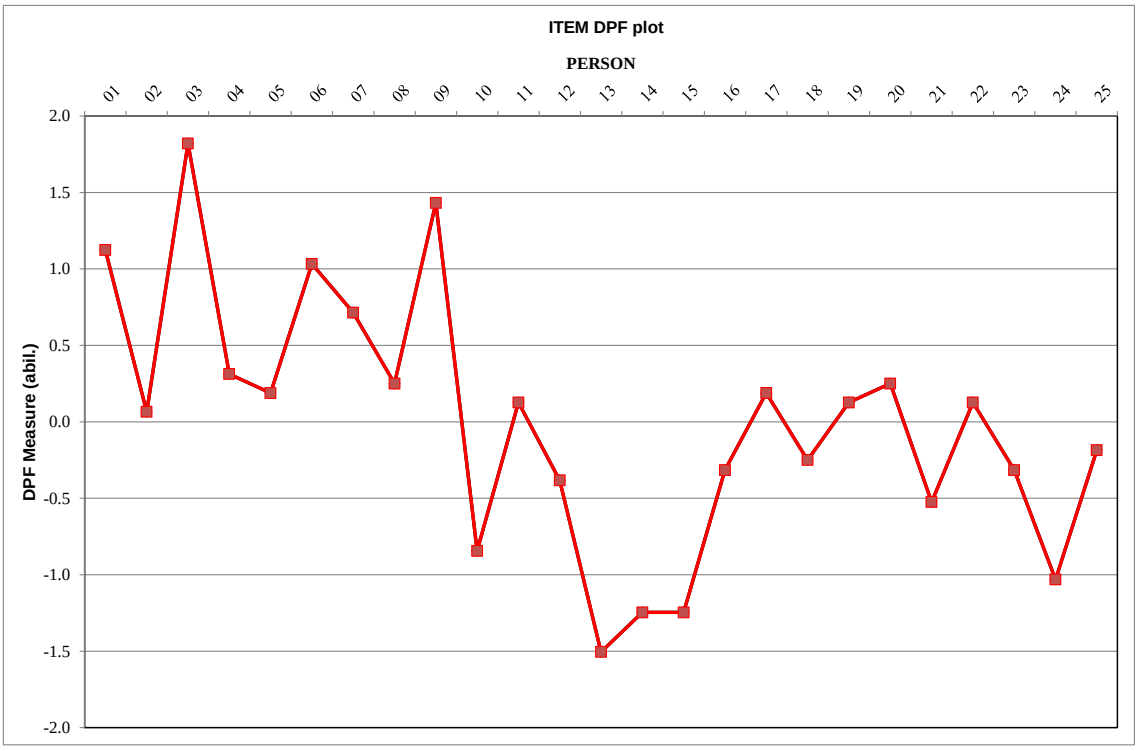


Рисунок 1 – Функція диференційованих персон за моделлю Раша для всіх експертів

На рис. 2 наведені результати оцінювання всіх експертів за моделлю Раша з використанням всіх критеріїв.

Тестова інформаційна функція (рис. 3) має чіткий максимум навколо нуля результатів вимірювань за моделлю Раша, що свідчить про придатність застосованих критеріїв для оцінювання експертів у сфері освіти.

На рис. 4 представлені результати оцінювання кожного із семи критеріїв для експертів за моделлю Раша. Їхній розподіл концентрується близько значення 0 в межах ±3 логітів, що демонструє їх непогану узгодженість.

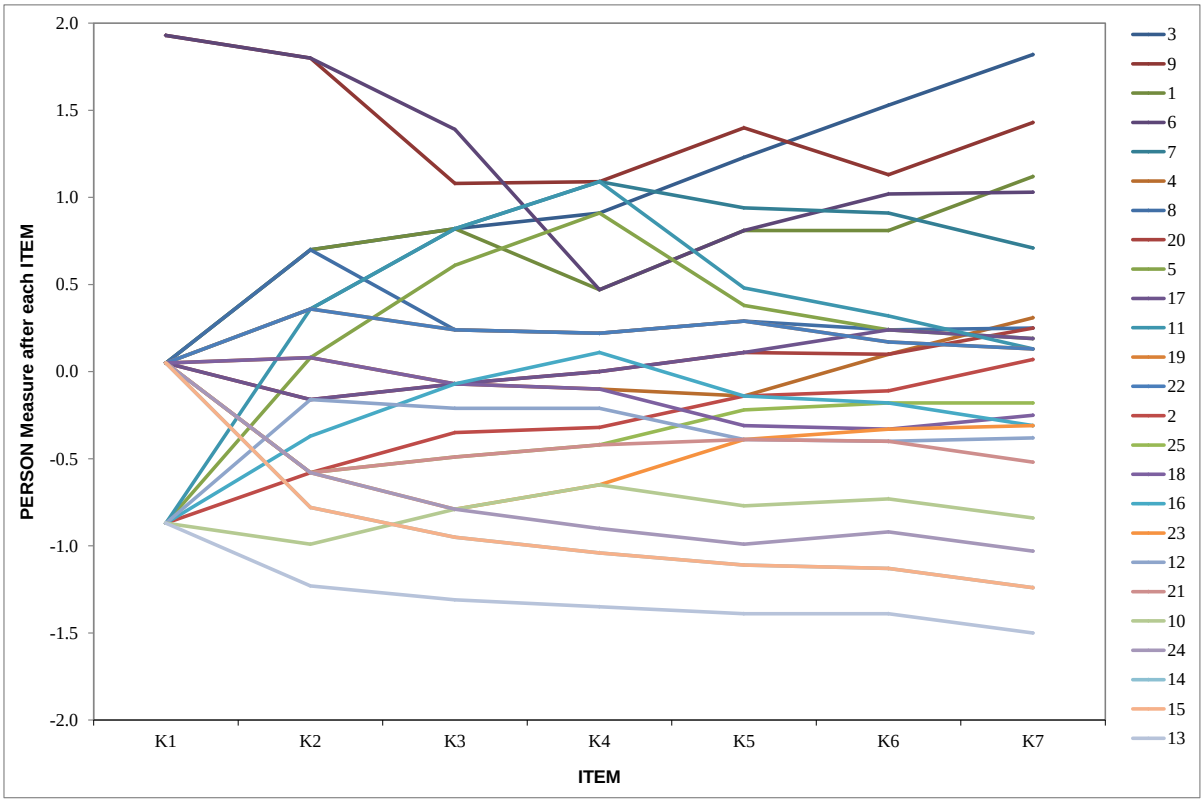


Рисунок 2 – Результати оцінювання експертів за моделлю Раша

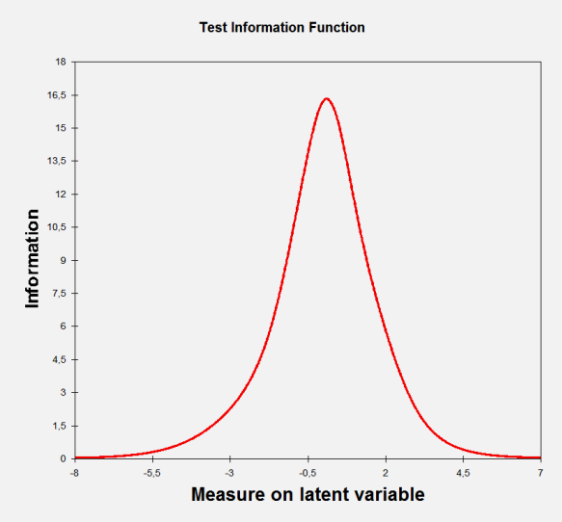


Рисунок 3 – Тестова інформаційна функція для критеріїв оцінювання

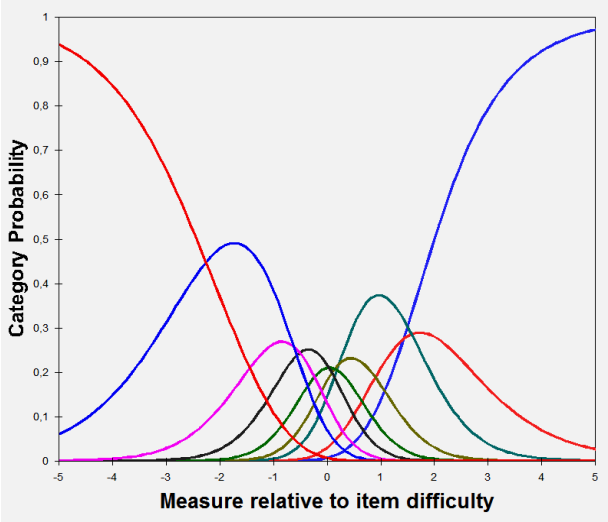


Рисунок 4 – Результати оцінювання критеріїв

Тестова характеристична крива оцінювання експертів наведена на рис. 5. Вона зосереджена в області середньої та меншої за середню складності (інтервал від -3 до +3 логітів) при максимально допустимому діапазоні від -5 до +5 логітів, що свідчить про гарну узгодженість встановлених для оцінювання експертів критеріїв.

На рис. 6 представлена гістограма тестових результатів для експертів і критеріїв оцінки експертів. Головні піки як для експертів, так і для критеріїв сконцентровані біля значення 0, що є придатним для моделі Раша.

Висновки

Отримані результати показали можливість застосування моделі Раша для аналізу шкали оцінювання компетентності експертів у сфері вищої освіти. Аналіз отриманих результатів показав, що обрана шкала критеріїв для оцінювання експертів відповідає встановленим вимогам до моделі Раша. Тестова інформаційна функція для критеріїв оцінювання та характеристична

крива оцінювання експертів придатні для моделі Раша.

Отримані дані вимірювань за моделлю Раша дозволили розрахувати встановлені статистики як для критеріїв, так і для оцінених експертів. Порівняння отриманих результатів оцінювання експертів з результатами їх оцінювання іншими методами показали їх високу кореляцію.

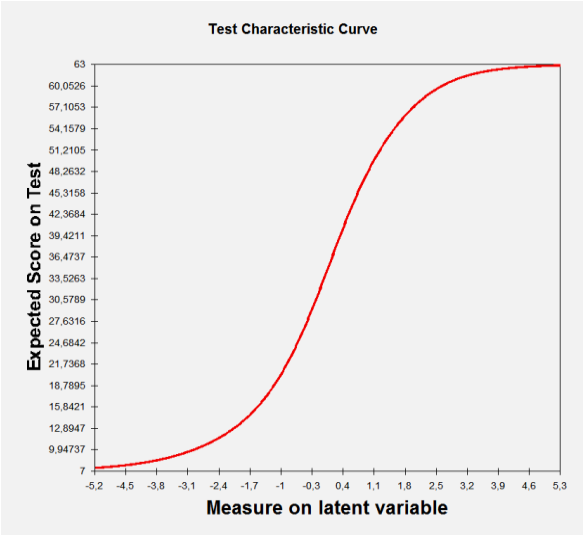


Рисунок 5 – Тестова характеристична крива оцінювання експертів

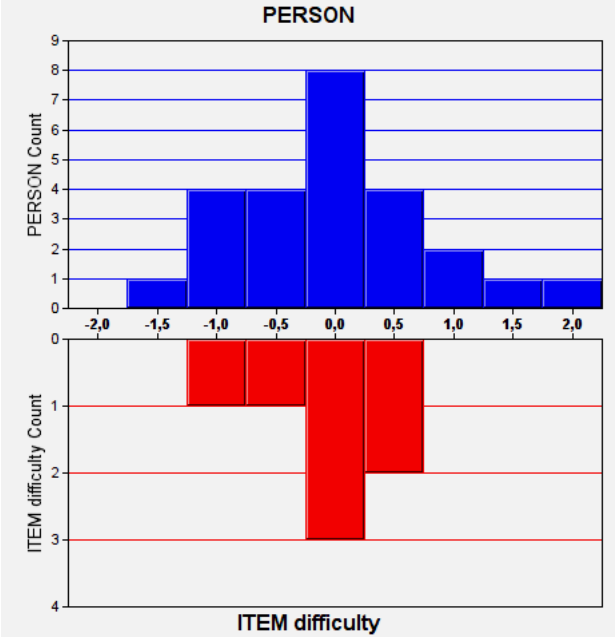


Рисунок 6 – Тестові результати для експертів і критеріїв оцінки експертів

Список використаних джерел

1. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. Copenhagen: Danish Institution for Educational Research, 1960.

2. Andrich D. Rasch models for measurement. Beverly Hills: Sage Publications, 1988.

3. Andrich D. Sufficiency and conditional estimation of person parameters in the polytomous Rasch model. Psychometrika. – 2010. – 75(2). – P. 292–308.

4. Linacre J. M. Rasch dichotomous model vs. One-parameter Logistic Model. Rasch Measurement Transactions. – 2005, 19:3, 1032.

5. Masters G. N., Keeves J. P. (Eds.). Advances in measurement in educational research and assessment. – New York: Pergamon, 1999.

6. Bond T. G., Fox C. M. Applying the Rasch model: fundamental measurement in the human sciences, 2nd edn. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.

7. Hagquist C., Bruce M., Gustavsson J. P. Using the Rasch model in nursing research: an introduction and illustrative example. Int. J. Nurs. Stud. – 2009, 3. – P. 380–393.

8. Ehlan A. H., Kucukdeveci A. A., Tennant A. The Rasch Measurement Model. In: Franco Franchignoni (Ed). Research Issues in Physical & Rehabilitation Medicine. Pavia: Maugeri Foundation. – 2010. – P. 89–102.

9. Wright B. D., Linacre J. M. A measurement is the quantification of a specifically defined comparison. Rasch model derived from objectivity. Rasch Measurement Transactions. – 1987, 1:1. – P. 4–5.

10. Деменчёнок О. Г. Математические основы Rasch Measurement // Педагогические измерения – 2010. – № 1. – С. 3–21.

11. Velychko O., Gordiyenko T. A comparative analysis of the assessment results of the competence of technical experts by methods of analytic hierarchy process and with using the Rasch model // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Control processes. – 2018. – № 3/3(93). – P. 14–21.

12. Величко О. М., Гордієнко Т. Б. Аналіз шкали для оцінювання компетентності експертів з метрології із застосуванням моделі Раша. Метрологія і прилади. – 2018. – № 1. – С. 63–68.

13. Величко О. М., Гордієнко Т. Б. Застосування моделі Раша для аналізу шкали оцінювання компетентності технічних експертів // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2017. – Вип. 2(11). – С. 24–30.

14. A User's Guide to WINSTEPS®MINISTEP Rasch-Model Computer Programs. Program Manual 4.0.0 by John M. Linacre, 2017.

15. Evaluation scales in rehabilitation – http://www.rehab-scales.org.

16. Rasch Model / Rasch Analysis: Definition,

Examples. Statistics How To – http://www.statisticshowto.com/rasch-model.

17. Institute for Objective Measurement, Inc. – http://www.rasch.org/rmt/rmt101k.htm.

18. Величко О. М., Гордієнко Т. Б., Коломієць Л. В. Основи теорії тестових завдань IRT. Підручник. – Одеса: Бондаренко М. О., 2019. – 120 с.

19. Cramer, J. S. Logit Models from Economics and Other Fields, Cambridge University Press. – 2003. – P. 13.

20. Velychko O., Gordiyenko T., Gaber A. Comparative assessment of the competence of experts by different methods // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Control processes. – 2018. – № 5/3 (95). – P. 25–32.

21. Величко О. М., Гордієнко Т. Б., Коломієць Л. В., Шевцов А. Г., Габер А. А. Застосування програмних засобів для оцінки компетентності експертів у сфері вищої освіти. Вісник Інженерної академії України, Випуск 1, Київ 2015. – С. 275–280.

22. Величко О. М., Коломієць Л. В., Гордієнко Т. Б., Шевцов А. Г., Карпенко С. Р., Габер А. А. Групове експертне оцінювання та компетентність експертів / За загал. ред. д-ра техн. наук О. М. Величка – Одеса: ВМВ, 2015. – 285 с.

References

1. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. Copenhagen: Danish Institution for Educational Research, 1960.

2. Andrich D. Rasch models for measurement. Beverly Hills: Sage Publications, 1988.

3. Andrich D. Sufficiency and conditional estimation of person parameters in the polytomous Rasch model. Psychometrika. – 2010. – 75(2). – P. 292–308.

4. Linacre J. M. Rasch dichotomous model vs. One-parameter Logistic Model. Rasch Measurement Transactions. – 2005, 19:3, 1032.

5. Masters G. N., Keeves J. P. (Eds.). Advances in measurement in educational research and assessment. – New York: Pergamon, 1999.

6. Bond T. G., Fox C. M. Applying the Rasch model: fundamental measurement in the human sciences, 2nd edn. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.

7. Hagquist C., Bruce M., Gustavsson J. P. Using the Rasch model in nursing research: an introduction and illustrative example. Int. J. Nurs. Stud. – 2009, 3. – P. 380–393.

8. Ehlan A. H., Kucukdeveci A. A., Tennant A. The Rasch Measurement Model. In: Franco Franchignoni (Ed). Research Issues in Physical & Rehabilitation Medicine. Pavia: Maugeri Foundation. – 2010. – P. 89–102.

9. Wright B. D., Linacre J. M. A measurement is the quantification of a specifically defined comparison. Rasch model derived from objectivity. Rasch Measurement Transactions. – 1987, 1:1. – P. 4–5.

10. Demenchyonok O. G. Matematicheskie osnovy Rasch Measurement // Pedagogicheskie izme-reniyayu – 2010. – № 1. – S. 3–21.

11. Velychko O., Gordiyenko T. A comparative analysis of the assessment results of the competence of technical experts by methods of analytic hierarchy process and with using the Rasch model // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Control processes. – 2018. – № 3/3(93). – P. 14–21.

12. Velychko O. M., Hordiienko T. B. Analiz shkaly dlia otsiniuvannia kompetentnosti ekspertiv z metrolohii iz zastosuvanniam modeli Rasha. Metrolohiia i prylady. – 2018. – # 1. – S. 63–68.

13. A User's Guide to WINSTEPS®MINISTEP Rasch-Model Computer Programs. Program Manual 4.0.0 by John M. Linacre, 2017.

14. Evaluation scales in rehabilitation – http://www.rehab-scales.org.

15. Rasch Model / Rasch Analysis: Definition, Examples. Statistics How To – http://www.statisticshowto.com/rasch-model.

16. Institute for Objective Measurement, Inc. – http://www.rasch.org/rmt/rmt101k.htm.

17. Institute for Objective Measurement, Inc. – http://www.rasch.org/rmt/rmt101k.htm.

18. Velychko O. M., Hordiienko T. B., Kolomiiets L. V. Osnovy teorii testovykh zavdan IRT. Pidruchnyk. – Odesa: Bondarenko M. O., 2019. – 120 s.

19. Cramer, J. S. Logit Models from Economics and Other Fields, Cambridge University Press. – 2003. – P. 13.

20. Velychko O., Gordiyenko T., Gaber A. Comparative assessment of the competence of experts by different methods // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Control processes. – 2018. – № 5/3 (95). – P. 25–32.

21. Velychko O. M., Hordiienko T. B., Kolomiiets L. V., Shevtsov A. H., Haber A. A. Zastosuvannia prohramnykh zasobiv dlia otsinky kompetentnosti ekspertiv u sferi vyshchoi osvity. Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy, Vypusk 1, Kyiv 2015. – S. 275–280.

22. Velychko O. M., Kolomiiets L. V., Hordiienko T. B., Shevtsov A. H., Karpenko S. R., Haber A. A. Hrupove ekspertne otsiniuvannia ta kompetentnist ekspertiv / Za zahal. red. d-ra tekhn. nauk O. M. Velychka – Odesa: VMV, 2015. – 285 s.

Надійшла до редакції 11.11.2019

УДК 378:005+338.465: 004.89

О. І. Кисельова, к.пед.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

РОЛЬ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Статтю присвячено питанням якості освітніх послуг, їх видам, загальним і специфічним характеристикам, які надаються сучасними технічними закладами вищої освіти; досліджено умови впровадження технологій віртуальної реальності в систему вищої професійної освіти з метою підвищення якості освітніх послуг; сформульовано питання, які вирішуються завдяки впровадженню VR-технологій в систему вищої професійної освіти; проаналізовано зміст цифрової компетентності, яка вимагається від викладача для успішного впровадження VR-технологій; подано результати анкетування викладачів технічних ЗВО щодо запиту та спроможності впровадження VR в освітній процес, яке доводить взаємозв'язок вікових категорій викладачів із їх обізнаністю та готовністю до впровадження VR.

Ключові слова: *якість освітніх послуг, характеристики освітніх послуг, заклад вищої освіти, технології віртуальної реальності, цифрова компетентність викладача.*

О. И. Киселева, к.пед.н.

РОЛЬ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Статья посвящена вопросам качества образовательных услуг, их видам, общим и специфическим характеристикам, предоставляемых современными техническими вузами; исследованы условия внедрения технологий виртуальной реальности в систему высшего профессионального образования с целью повышения качества образовательных услуг; сформулированы вопросы, решаемые благодаря внедрению VR-технологий в систему высшего профессионального образования; проанализировано содержание цифровой компетентности, необходимой преподавателю для успешного внедрения VR-технологий; представлены результаты анкетирования преподавателей технических вузов о востребованности и возможности внедрения VR в образовательный процесс, доказывающие взаимосвязь возрастных категорий преподавателей с их осведомленностью и готовностью к внедрению VR.

Ключевые слова: *качество образовательных услуг, характеристики образовательных услуг, учреждение высшего образования, технологии виртуальной реальности, цифровая компетентность преподавателя.*

O. I. Kiselova, PhD

ROLE OF VIRTUAL REALITY IN QUALITY ASSURANCE EDUCATIONAL SERVICES OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The article states that education is one of the most innovative industries that provides competitiveness of the economy, which requires a constant search for new methods, tools and forms of learning. General and specific characteristics of educational services are disclosed; analyzed various types of services: educational, scientific. The complex impact of VR technologies on all types of services offered by the HEI is determined. Research into the role of virtual reality in providing quality educational services is based on the fact that these technologies meet all modern requirements and have huge potential. The conditions for the introduction of virtual reality technologies and the issues that are solved through the system of higher professional education are defined; the content of digital competence required by the teacher for successful use of VR technologies in education is analyzed. VR is the ideal learning environment, the perception of a virtual model with a high degree of reliability allows qualitative and fast training of specialists in various fields: aviation, process control, medicine, remote control of technical means and more. However, in Ukraine, VR is only just beginning to be implemented in the educational process, which is related to the economic situation of the Ukrainian HEIs and the low level of awareness and, as a result, teachers' willingness to use VR for educational purposes. The re-

sults of the questionnaire survey of the teachers of technical HV concerning the request and the ability to introduce VR in the educational process are presented, which proves the correlation of teachers' age categories with their awareness and readiness for implementation. The results of the study prove that the vast majority of teachers are positive about VR technologies, but they are not sufficiently aware of the characteristics of VR technologies and the particularities of their use in teaching.

Keywords: *quality of educational services, characteristics of educational services, institution of higher education, virtual reality technologies, digital competence of a teacher.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-22-29

Вступ

Сучасний розвиток світової спільноти відзначається наступними характеристиками: прискорення темпів соціального, економічного та наукового розвитку, як потужного соціального інституту і найважливішої складової науково-технічного прогресу, посилення впливу науки на виробництво, економіку, суспільство, природу.

З другої половини XX століття почалася епоха стрімкого розвитку різних галузей науки. Проникаючи в усі сфери матеріального і духовного виробництва, політичного та суспільного життя, наука перетворилася на безпосередню продуктивну силу, найважливіший компонент науково-технічного прогресу. Спостерігається тенденція:

- скорочення сфери некваліфікованої та малокваліфікованої праці, постійного зростання вимог до професійної кваліфікації працюючих, необхідності швидкої перепідготовки кадрів;

- глобалізації економічної діяльності, що виражається в розширенні і поглибленні міжнародних зв'язків у сфері інвестицій, виробництва, фінансів, науково-технічного прогресу, освіти;

- тотальної інформатизації і переходу до постіндустріального, інформаційного суспільства, що виражається у все більш широкому використанні комп'ютерних систем, телекомунікацій, мережі Інтернет у сучасній економіці, науці, освіті, культурі;

- розвитку глобальної інформаційно-комунікаційної системи і єдиного інформаційного простору та віртуальної реальності, нової сфери, яка розширює можливості для соціального креативу.

Ефективне володіння новими інформаційними технологіями та приєднання України до глобальної інформаційно-комунікаційної системи є умовою її процвітання, рівноправної участі в світовому співтоваристві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сфера освіти є однією з найбільш інноваційних галузей, вона багато в чому визначає створення інноваційного клімату та конкурентоспроможності економіки, тому розвиток освітньої системи має засновуватись на сучасних інформаційних, комп'ютерних та телекомунікаційних технологіях – технологічних інноваціях [1–4]. В останні роки гостро постала проблема підготовки кадрів, що забезпечують наукові дослідження і розробки, зокрема науковців технічного профілю, середнього технічного персоналу і кваліфікованих робітників. Проблему можна вирішити, лише організувавши цілеспрямовану роботу з підготовки таких кадрів з плануванням на 5-10 років (час на базове навчання кадрів і набуття ними практичних навичок роботи). При цьому слід враховувати, що новітні комп'ютерні технології – дуже швидко «старіють», змінюються і модифікуються. Вже можна говорити про те, що віртуальний простір і мережні технології – це невід'ємна частина і середовище ділового співробітництва [5, 6]. В останні кілька років набула широкого розповсюдження тенденція використання віртуальної, змішаної та доповненої реальності в освіті, її гейміфікація, такі технології відповідають всім сучасним вимогам і володіють величезним потенціалом. Їх застосування дає можливість наочно пояснювати предмет, сприяє «зануренню» в тему дослідження в ході вивчення події чи об'єкта і вносить інтерес в «рутинний» процес навчання.

Завдання дослідження: теоретично проаналізувати та емпірично визначити особливості освітніх послуг ЗВО; схарактеризувати вплив який чинить впровадження в освітній процес технологій віртуальної реальності; з'ясувати умови, запити та спроможності викладачів українських технічних ЗВО щодо впровадження VR в освітній процес.

Виклад основного матеріалу дослідження

В сучасних умовах жорсткої конкуренції на ринку освітніх послуг, з метою покращення їх якості ЗВО необхідно постійно вдосконалювати і оновлювати методи, засоби і форми навчання, актуалізувати зміст і форму надання освітніх послуг. При цьому необхідно враховувати, що ЗВО – організація зі складною структурою, механізмами координування діяльності, з формальною і неформальною формами взаємодії колективу, стандартизованою формою діяльності та

контролю. ЗВО надає освітні послуги, які, враховуючи своєрідність і специфічність, можна визначити, як «комплекс дій фізичної або юридичної особи, які спрямовані на досягнення результатів, що виражаються у вигоді (корисному ефекті), яка задовольняє освітні, наукові й виховні потреби іншої фізичної або юридичної особи» [7–9].

Освітні послуги мають загальні характеристики, притаманні всім видам послуг (див. рис. 1) та специфічні характеристики послуг, до яких ми можемо віднести наступні (рис. 2):



Рисунок 1 – Загальні характеристики освітніх послуг



Рисунок 2 – Специфічні характеристики освітніх послуг

Слід зауважити, що ЗВО надають різні види послуг (див. рис. 3).

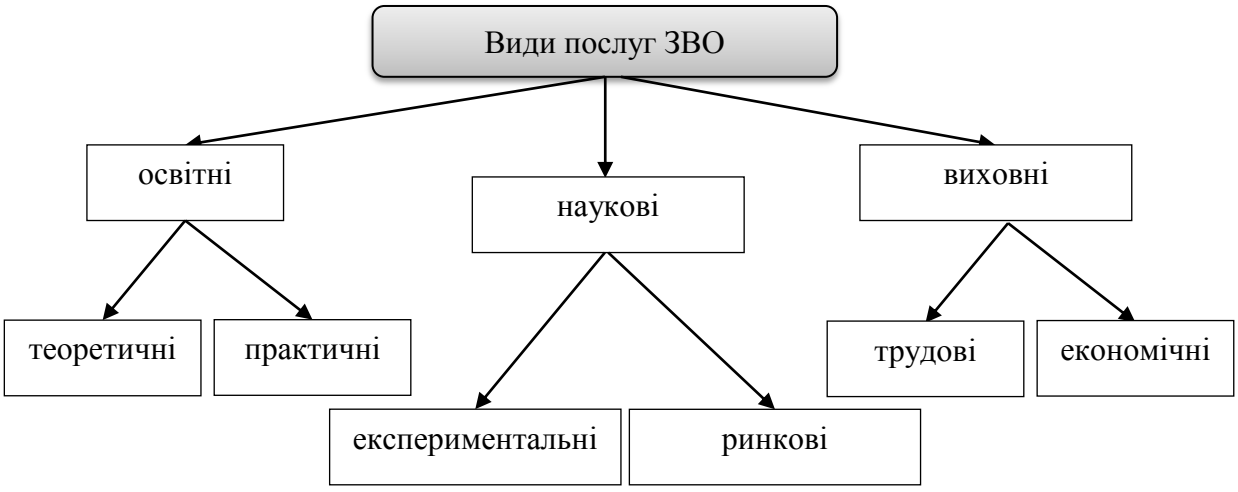


Рисунок 3 – Види послуг на освітньому ринку

Зрозуміло, що в умовах жорсткої конкуренції, швидкої зміни наукового знання та змісту освіти, якість і обсяг послуг ЗВО набувають особливого значення.

Перш за все зупинимось на аналізі освітніх послуг. Їхня якість залежить від структури організації, регламентації її діяльності, територіальних, економічних, демографічних та ін. особливостей діяльності ЗВО. Серед них є незмінні характеристики (зміст освіти, зумовлений забезпеченням компетенцій освітньо-професійної програми; демографічний і територіальний аспекти, економічна ситуація тощо), а є ті, які ЗВО змінює відповідно до вимог конкуренції (засоби і форми навчання, забезпечення актуалізації отриманих знань на практиці, створення умов для мобільності студентів та їхнього заохочення). Ці питання допомагає вирішити впровадження VR-технологій (англ. virtual reality – технологій віртуальної реальності) в систему вищої професійної освіти [5, 6].

Зміст виховних послуг ЗВО тісно пов'язаний з освітніми. Використання VR-технологій у вихованні і моделюванні соціальних ситуацій етичного змісту не достатньо вивчено, оскільки це новий, мало розроблений напрям, але, беззаперечно, виховний вплив відбувається у процесі вирішення професійних віртуальних завдань і ситуацій у штучному просторі.

Введення VR-технологій у науково-дослідну роботу ЗВО впливає на якість наукових послуг, оскільки за допомогою віртуальної реальності можна провести досліди з хімії, фізики тощо.

Проаналізувавши впровадження VR-технологій в зміст освітніх, наукових та виховних послуг, що надаються ЗВО, можна дійти висновку, що VR чинить комплексний вплив на всі види послуг пропонованих ЗВО. Зокрема, вирішуються наступні питання:

- забезпечення гнучкості та здатності змісту вищої професійної освіти пристосовуватись до швидкозмінних умов реальності;

- надання студентам можливості оперувати великою кількістю інформації і новими способами її подання;

- удосконалення моторних функцій людини, адже розвиток моторики сприяє розвитку просторового мислення [5];

- уніфікації навчання, завдяки природності та зрозумілості навчальної інформації, поданої в рамках віртуальної реальності;

- підвищення мотивації до навчання, завдяки створенню максимального впливу на емоційну сферу людини, вестибулярний апарат та майже на усі органи чуття: зір, слух, нюх, дотик;

- досягнення повного занурення у процес навчання за рахунок 3D-візуалізації і елементів гейміфікації;

- активізація і актуалізація отриманих раніше знань на практиці (симулятори професійної діяльності занурюють студента у проблемну ситуацію професійного характеру та вимагають її вирішення);

- забезпечення умов для мобільності студентів та дистанційного навчання;

- підвищення засвоюваності навчальних дисциплін, завдяки збільшенню кількості переданої інформації, причому в найбільш легкій для сприйняття формі.

Віртуальна реальність – це створений за допомогою комп'ютерної техніки і програмного забезпечення штучний простір, змодельована дійсність, в якій створюється ілюзія присутності користувача в штучному світі, його взаємодії з предметами і об'єктами цього світу за допомогою органів чуття, вестибулярного апарату, що включає відчуття рівноваги, положення в просторі, прискорення і відчуття ваги. Повне занурення у віртуальну реальність і взаємодія з її об'єктами досягається тільки при використанні спеціальних пристроїв, які називаються системами VR. До них належать системи: зображення, звуку, імітації тактильних відчуттів, управління, прямого підключення до нервової системи [10, 11].

Пристрої та технології віртуальної реальності постійно змінюються та вдосконалюються, у процесі навчання вони виступають засобами і джерелами інформації. Розвиток VR-технологій відповідає загальній тенденції розвитку джерел інформації / засобів навчання (на рис. 4 представлена їх еволюція) – від кам'яної таблички до віртуальної реальності, за загальнонауковим принципом – від простого до складного.

Введення VR-технологій до освітнього процесу ЗВО вимагає від викладача певного рівня цифрової компетентності, яка полягає в:

- умінні знаходити, аналізувати, критично оцінювати та керувати цифровим контентом;
- використовувати цифрові пристрої та технології для створення знань та інновацій в освітніх просторах;
- співпрацювати і вчитися за допомогою цифрових технологій та пристроїв;
- бути здатним захистити свої доробки, враховуючи належним чином надійність та конфіденційність;
- творчо використовувати цифрові технології для вирішення освітніх, технічних, наукових задач та проблем;
- невпинно займатися процесом самовдосконалення та саморозвитку;
- розумно оминати ризики та небезпеки, що

супроводжують нераціональне використання новітніх технологій.

VR – ідеальне навчальне середовище, оскільки сприйняття віртуальної моделі з високим ступенем достовірності дозволяє якісно і швидко готувати фахівців в різних галузях: авіація, управління технологічними процесами, медицина, дистанційне керування технічними засобами тощо.

Системи VR є мотивуючими для студентів при оволодінні новими знаннями, дозволяють слідкувати викладачам за навчальним процесом та успішністю кожного студента і при потребі втручатися у цей процес для додаткового керування. Крім того, в таких системах характер помилок студента або невірна інтерпретація ним теми автоматично визначає тип потрібної допомоги [11, 12].

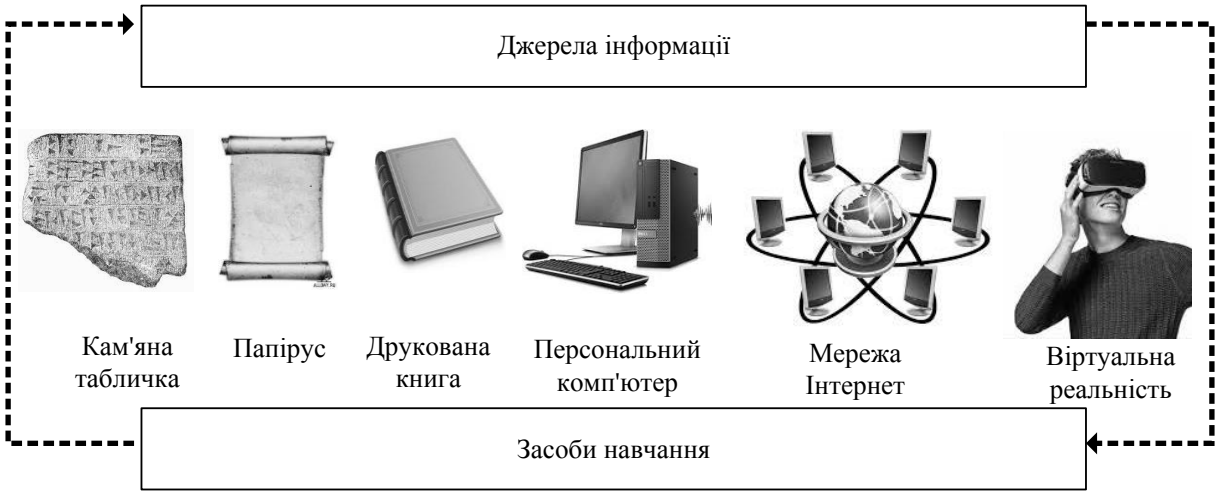


Рисунок 4 – Еволюція джерел інформації / засобів навчання

Адаптація віртуальних процесів означає, що вміст інформаційної сторінки складається із таких тем чи розділів конкретної дисципліни, щонайбільш повно відповідають рівню підготовки студента. Таким чином, система адаптується до рівня знань студента, його намірів, переваг, базових знань (це дуже важливо, бо на сьогодні рівень вхідних знань студентів дуже різниться), досвіду та швидкості сприйняття нового матеріалу.

Студенти повинні мати достатні уявлення про можливості управління навчанням у віртуальному освітньому середовищі, це допоможе їм самостійно планувати процес навчання. Педагоги разом зі студентами, спираючись на потенціал віртуального освітнього середовища, спільно визначатимуть послідовність та темпи вивчення навчального матеріалу.

Використання віртуальної реальності в навчанні і виробництві в останні десятиліття активно впроваджується в роботу зарубіжних ЗВО. Наприклад, фахівці з Oculus Rift і хірурги з Дитячого госпіталю в Лос-Анджелесі створили симулятор, який дозволяє лікарям відпрацювати навички порятунку новонароджених при анафілактичному шокові. Західні будівельні компанії широко застосовують VR для проведення навчання працівників в таких сферах, як інструктаж з техніки безпеки, робота на навантажувачі та іншій будівельній техніці, робота в екстремальних умовах, космічній галузі. Airbus використовує змішану реальність при виробництві A350 XWB і A380 для допомоги при складанні фюзеляжу; за їхнім твердженням, після впровадження даної технології, час, необхідний для перевірки того, як встановлено 80’000 сполучних скоб, скоротився з трьох тижнів до трьох днів. Google порівнював використання VR і навчальних відео при тренуванні баріста – в результаті, VR виграла за всіма статтями навіть тут.

В Україні VR тільки починають впроваджуватись в освітній процес і досліджуватись, перш за все, це пов’язано з економічним становищем українських ЗВО та наукових установ. Друга причина – низький рівень обізнаності і, як результат, готовності викладачів щодо застосування VR в освітніх цілях.

З метою з’ясування запиту та спроможності викладачів технічних ЗВО до впровадження VR в освітній процес ЗВО ми провели анкетування (були обрані запитання закритої форми, з варіантами відповідей: так, ні, не певен), яке складалося з наступних запитань:

1. Ви знаєте що таке технології віртуальної реальності (VR)?

2. Чи доцільно використовувати технології VR в освіті?

3. VR, комп’ютерне моделювання, он-лайн

курси – це подібні технології, які використовуються як засоби навчання?

4. VR може замінити практичні заняття, лабораторні досліди?

5. Ви готові використовувати технології VR у навчальному процесі?

6. Впровадження ІТ-технологій в освітній процес позитивно впливає на якість освітніх послуг?

7. VR технології можуть з часом замінити викладача?

8. Застосування технологій VR сприяє конкурентоспроможності освітніх послуг ЗВО?

У дослідженні брали участь викладачі технічних ЗВО м. Одеса (Одеської державної академії технічного регулювання та якості і Одеської державної академії будівництва та архітектури), загалом 100 осіб, кореляція за віком, статтю та рівнем освіти відповідала ≈ 50%, тобто: чоловіків – 48 осіб і жінок – 52 особи; осіб з науковим ступенем – 55, без ступеня – 45; респондентів було поділено на 3 вікові категорії: молоді фахівці до 35 років (за визначенням МОН України) – 40 осіб; 32 особи віком від 35 до 50 років і 28 осіб віком від 50 до 70 років.

Результати опитування не виявили істотної різниці між відповідями респондентів залежно від статі і наявності наукового ступеня, проте суттєві відмінності відзначалися у відповідях людей різної вікової категорії.

Результати отримані в ході анкетування представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати опитування викладачів щодо впровадження VR технологій в освітній процес технічних ЗВО (у %)

№ запитання	Вікова категорія								
	до 35 років			35-50 років			50-70 років		
	Варіанти відповідей			Варіанти відповідей			Варіанти відповідей		
	так	ні	не певен	так	ні	не певен	так	ні	не певен
1	85	7	8	60	8	32	40	14	46
2	80	5	15	57	12	31	36	20	44
3	10	78	12	22	57	21	41	36	23
4	78	11	11	50	23	27	32	30	38
5	80	8	12	57	12	31	32	31	37
6	78	10	12	57	12	31	31	35	34
7	85	10	5	52	20	28	36	29	35
8	74	12	14	48	18	34	32	32	36

Проаналізувавши відповіді, можна узагальнено зробити висновок, що розуміють сутність умов використання, позитивні і негативні чинники впровадження VR в освітній процес та готові застосовувати нові технології у власній роботі 71% викладачів віком до 35 років, 50,5% – від 35 до 50 років і лише 35% старшої вікової групи. На жаль, більшість викладачів віком від 50 років не відрізняють VR технологій від автоматичних освітніх систем та інших ІТ-технологій. Цей результат був прогнозований, у зв'язку з недостатньою поінформованістю викладачів щодо сучасних технологій навчання та психологічними бар'єрами людей старшого віку щодо впровадження новітніх технологій.

Результати обчислення середньоарифметичного значення готовності викладачів до впровадження VR технологій в освітній процес технічних ЗВО представлено на діаграмі (рис. 5).

Як свідчать дані представлені на діаграмі, переважна більшість викладачів – 71% вікової категорії до 35 років і 50,5% – 35-50 років, готові до застосування VR технологій в освітньому процесі з метою підвищення якості освітніх послуг технічних ЗВО, і лише 35% викладачів вікової групи 50-70 років. Не готові до роботи з VR технологіями 18% викладачів до 35 років, 20% викладачів віком 35-50 років і 28,4% – 50-70 років. Не визначились зі своїм вибором 11% викладачів до 35 років, 29,5 – 35-50 років і 36,6 – 50-70 років.

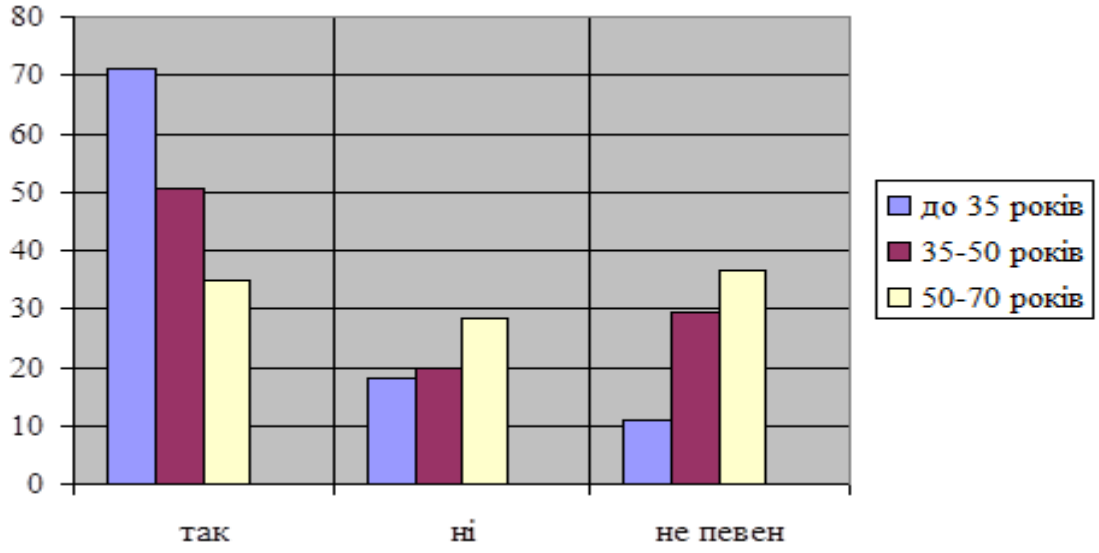


Рисунок 5 – Готовність викладачів до впровадження VR технологій в освітній процес технічних ЗВО

Висновки

Технології VR набувають все більшої популярності і вже реальні прогнози щодо поступового стирання межі між реальністю і віртуальністю, тобто набуття студентами нових компетенцій відбуватиметься не в умовах аудиторії ЗВО та навчальної практики на підприємстві, а у віртуальному просторі.

Віртуальна реальність, як більш інформаційно-насичений, безпечний і привабливий варіант реальності активно завойовує позиції у сфері передачі соціального досвіду. Це розуміють всі учасники освітнього процесу і підтверджують результати дослідження. Зокрема отримані дані свідчать про те, що переважна більшість викладачів позитивно ставиться до VR технологій, проте вони не достатньо обізнані з характеристиками і можливостями віртуальної реальності та особливостями їхнього застосування у навчанні.

Список використаних джерел

1. Кисельова О. І. Якість вищої освіти: організація навчання та вимірювання знань: монографія / О. І. Кисельова, Л. В. Коломієць, А. Г. Шевцов // Одеса: Бондаренко М. О., 2017. – 243 с.

2. Кисельова О. І. Компетентнісний підхід до оцінювання професійної підготовки майбутніх фахівців технічного профілю / О. І. Кисельова, Л. В. Коломієць, С. Л. Волков // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2018. – № 19(1295). – С. 31–35.

3. Бахрушин В. Є. Якість вищої освіти та сучасні підходи до її вимірювання / В. Є. Бахрушин, О. М. Горбань // Освіта і управління. – 2012. – Т. 14, № 4. – С. 7–11.

4. Рябченко В. Проблема якості вітчизняної вищої освіти в контексті освітянських реформ: ретроспектива й сучасність з позицій світоглядно-компетентнісного підходу / В. Рябченко / Вища освіта України. – 2015. – № 1. – С. 12–27.

5. ARNEXT. Дополненная реальность в образовании: инструмент для обучения или дань тренда? URL: https://arnext.ru/articles/dopolnennaya-realnost-obrazovanie-2630 (дата звернення 20.11.2019).

6. Глущенко Ніна. Знання на кінчику носа: Як віртуальну реальність використовують в освіті. URL: Telegram 112.ua https://ua.112.ua/statji/znannia-na-kinchyku-nosa-yak-virtualna-realnist-vykorystovuietsia-v-osviti-426810.html (Дата звернення 18.10.2019).

7. Шилова В. І. Державне регулювання ринку освітніх послуг в Україні: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук з державного управління. Спеціальність 25.00.02 – механізми державного управління. Запоріжжя – 2007. – 21 с.

8. Борецька Н. Механізм надання освітніх послуг у закладах вищої освіти України. Н. Борецька, О. Ковальчук // Науковий вісник МНУ імені В. О. Сухомлинського. Педагогічні науки. – 2019. – № 2(65) – С. 36–39.

9. Закон України про освіту (Відомості Верховної Ради (ВВР) – 2017. – № 38–39, ст. 380. URL:

https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (Дата звернення 27.11.2019).

10. AVB lab. Технологии виртуальной реальности в образовании. URL: https://avblab.com/tehnologii-virtualnoj-realnosti-v-obrazovanii/ (Дата звернення 24.11.2019).

11. Арсланбаева В. Р. Компьютерные технологии в образовании / В. Р Арсланбаева // NovaInfo – № 65-1. – 12.05.2017. URL: https://novainfo.ru/article/13028 (Дата звернення 12.11.2019).

12. Трач Ю. VR-технології як метод і засіб навчання / Ю. Трач // Освітологічний дискурс – 2017. – № 3–4(18-19) – С. 309–322.

References

1. Kyselova O. I. Yakist vyshchoi osvity: orhanizatsiia navchannia ta vymiriuvannia znan: monohrafiia / O. I. Kyselova, L. V. Kolomiiets, A. H. Shevtsov // Odesa: Bondarenko M. O., 2017. – 243 s.

2. Kyselova O. I. Kompetentnisnyi pidkhid do otsiniuvannia profesiinoi pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv tekhnichnoho profiliu / O. I. Kyse-lova, L. V. Kolomiiets, S. L. Volkov // Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskyi politekhnichnyi instytut». – 2018. – # 19(1295). – S. 31–35.

3. Bakhrushyn V. Ye. Yakist vyshchoi osvity ta suchasni pidkhody do yii vymiriuvannia / V. Ye. Bakhrushyn, O. M. Horban // Osvita i upravlinnia. – 2012. – T. 14, # 4. – S. 7–11.

4. Riabchenko V. Problema yakosti vitchyznianoi vyshchoi osvity v konteksti osvitianskykh re-form: retrospektyva y suchasnist z pozytsii svitohliadno-kompetentnisnoho pidkhodu / V. Riabchenko / Vyshcha osvita Ukrainy. – 2015. – # 1. – S. 12–27.

5. ARNEXT. Dopolnennaya real'nost' v obrazovanii: instrument dlya obucheniya ili dan' trenda? URL: https://arnext.ru/articles/dopolnennaya-realnost-obrazovanie-2630 (data zvernennya 20.11.2019).

6. Hlushchenko Nina. Znannia na kinchyku nosa: Yak virtualnu realnist vykorystovuiut v osviti. URL: Telegram 112.ua https://ua.112.ua/statji/znannia-na-kinchyku-nosa-yak-virtualna-realnist-vykorystovuietsia-v-osviti-426810.html (Data zvernennia 18.10.2019).

7. Shylova V. I. Derzhavne rehuliuvannia rynku osvitnikh posluh v Ukraini: avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata nauk z derzhavnoho upravlinnia. Spetsialnist 25.00.02 – mekhanizmy derzhavnoho upravlinnia. Zaporizhzhia – 2007. – 21 s.

8. Boretska N. Mekhanizm nadannia osvitnikh posluh u zakladakh vyshchoi osvity Ukrainy. N. Boretska, O. Kovalchuk // Naukovyi visnyk MNU imeni V. O. Sukhomlynskoho. Pedahohichni nauky. – 2019. – # 2(65) – S. 36–39.

9. Zakon Ukrainy pro osvitu (Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR) – 2017. – # 38–39, st. 380. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19 (Data zvernennia 27.11.2019).

10. AVB lab. Texnologii virtual'noj real'nosti v obrazovanii. URL: https://avblab.com/tehnologii-virtualnoj-realnosti-v-obrazovanii/ (Data zvernennya 24.11.2019).

11. Arslanbaeva V. R. Komp'yuternye texnologii v obrazovanii / V. R Arslanbaeva // NovaInfo – № 65-1. – 12.05.2017. URL: https://novainfo.ru/article/13028 (Data zvernennya 12.11.2019).

12. Trach Yu. VR-texnologiï yak metod i zasib navchannya / Yu. Trach // Osvitologichnij diskurs – 2017. – № 3–4(18-19) – S. 309–322.

Надійшла до редакції 04.10.2019

РОЗДІЛ 2

Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення

УДК 439

Л. В. Коломієць[1], д.т.н., **В. Ф. Оробей**[2], д.т.н., **О. М. Лимаренко**[2], к.т.н., **О. М. Яцинюк**[1]

[1]*Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса*
[2]*Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса*

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В роботі розглядається рухома частина скелету людини – нижня щелепа. Досліджується методика формування розрахункової схеми нижньої щелепи як просторової рамної конструкції. Для рами враховуються такі види опору як згин, кручення, зсув, та розтяг-стиск. Слід зауважити, що останніми видами опору зазвичай нехтують. В роботі схематично показано жувальне навантаження і контакт верхньої та нижньої щелепи у вигляді шарнірно-рухомої опори. Для визначення параметрів внутрішніх силових факторів, напружень і деформацій нижньої щелепи як просторової рами уперше застосовано чисельно-аналітичний варіант методу граничних елементів, а також відомі залежності механіки деформованого твердого тіла. В статті враховані лінійні розміри нижньої щелепи, схематично відображені місця прикладення зовнішнього навантаження, враховані граничні умови. Для застосування чисельно-аналітичного варіанту методу граничних елементів (ЧА МГЕ) складено рівняння спільності лінійних і кутових переміщень, а також рівняння рівноваги вузлів для поперечних сил, згинальних моментів і крутних моментів.

Ключові слова: *метод граничних елементів, рама, комп'ютерне моделювання, алгоритм, напружено-деформований стан, щелепа.*

Л. В. Коломиец, д.т.н., **В. Ф. Оробей,** д.т.н., **А. М. Лимаренко,** к.т.н., **О. М. Яцинюк**

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе рассматривается подвижная часть скелета человека - нижняя челюсть. Исследуется методика формирования расчетной схемы нижней челюсти как пространственной рамной конструкции. Для рамы учитываются такие виды сопротивления как изгиб, кручение, сдвиг, и растяжение-сжатие. Следует отметить, что последними видами сопротивления обычно пренебрегают. В работе схематически показана жевательная нагрузка и контакт верхней и нижней челюсти в виде шарнирно-подвижной опоры. Для определения параметров внутренних силовых факторов, напряжений и деформаций нижней челюсти как пространственной рамы впервые применен численно-аналитический вариант метода граничных элементов, а также известные зависимости механики деформируемого твердого тела. В статье учтены линейные размеры нижней челюсти, схематично отражены места прикладывания внешней нагрузки, учтены граничные условия. Для применения численно-аналитического варианта метода граничных элементов (ЧА МГЭ) составлены уравнения совместности линейных и угловых перемещений, а также уравнения равновесия узлов для поперечных сил, изгибающих моментов и крутящих моментов.

Ключевые слова: *метод граничных элементов, рама, компьютерное моделирование, алгоритм, напряженно-деформированное состояние, челюсть.*

L. V. Kolomiets, DSc, **V. F. Orobey,** DSc, **O. M. Lymarenko,** PhD, **O. M. Yatsyniuk**

RESEARCH OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THE LOWER JAW BOUNDARY ELEMENT METHOD

The work considers the movable part of the human skeleton - the lower jaw. The article takes into account that a person chews food many times a day. Determination of internal force factors, stresses and deformations is one of the main tasks of scientific research in orthopedics and maxillofacial surgery.

The study examined the methodology for the formation of the design scheme of the lower jaw as a spatial frame structure. For the frame, such types of resistance as bending, torsion, shear, and tension-compression are taken into account. It should be noted that the latter types of resistance are usually neglect-

ed. The work shows schematically the chewing load and the contact of the upper and lower jaw in the form of a pivotally movable support.

To determine the parameters of internal force factors, stresses, and deformations of the tender jaw as a spatial frame, a numerical-analytical version of the boundary element method was used for the first time, as well as the well-known dependences of the mechanics of a deformable solid.

The article takes into account the linear dimensions of the lower jaw, the places of applying an external load are schematically reflected, and the boundary conditions are taken into account. When applying the numerical calculation method, the model takes into account the overall dimensions of the cross-sections of the jaw and the mechanical characteristics of the bone.

To apply the numerical-analytical version of the boundary element method (CA MBE), the equation of compatibility of linear and angular displacements, the equilibrium equation of the nodes for the transverse forces, bending and torques are compiled. The state vector of the skin area of the spatial frame is compiled according to the algorithm of the CA MBE.

As a result of the calculation, the values of the deflections, bending moments and rotation angles are obtained. The CAE program implementing the CA MBE is designed so that it is possible to display on a computer monitor diagrams both for the entire frame and for individual nodes selected by the user.

Keywords: *boundary element method, computer modeling, algorithm, stress-strain state, jaw. clean row.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-31-36

Вступ

Чималу роль в біомеханіці набувають питання підвищення точності розрахунків біосистем і зниження матеріаломісткості.

Вирішення цих завдань пов'язане з удосконаленням розрахункових схем і методів визначення напружено-деформованого стану біосистем. Сучасний стан обчислювальної техніки дозволяє практично вирішувати широке коло інженерних і наукових питань.

Головним чином при визначенні напружень та деформацій біосистем використовують спрощені розрахункові схеми.

В даний час все більш широке розповсюдження в розрахунковій практиці набувають чисельні методи. Застосування цих методів особливо ефективне для конструкцій зі складною геометрією і складних граничних умовах.

В основі чисельних методів лежать дискретні розрахункові схеми. Одним з найбільш поширених чисельних методів на сьогодні є метод скінченних елементів (МСЕ), який передбачає явну апроксимацію рішення на малих підобластях – скінченних елементах.

Аналіз публікацій

У відомих джерелах [1-4] розглядається тільки процес відкушування їжі на прикладі важеля другого роду (рис. 1). Відмітимо, що в роботі [2] при дії просторового навантаження розглядається лише один зуб і не досліджується інші ділянки щелепи.

В процесі відкушування нижню щелепу можна представити у вигляді симетричної рами (рис. 2).

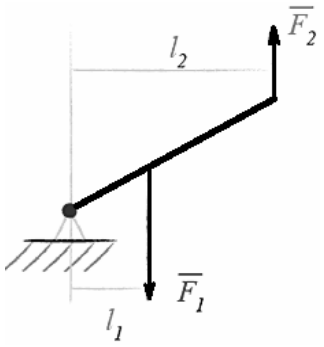


Рисунок 1 – Схематизація важеля другого роду [4]

Схема нижньої щелепи у вигляді просторової рами, що представлена на рис. 2 [4], є механізмом, тобто вона може вільно обертатися навколо шарніра, до виникнення будь-якого обмеження. В даному випадку обмежувачем руху може бути будь-який зуб-антагоніст, який вступає в контакт з даним зубом безпосередньо, або через харчову грудку [4]. Зауважимо, що в роботі [4] застосовані відомі інженерні методи розрахунку просторових рам без залучення сучасних інструментів САПР та чисельних методів дослідження. В роботі [5] увагу приділено просторовому навантаженню і не розвиваються питання геометрії моделі зубощелепної системи. На відміну від роботи [5], більш доцільно в якості зовнішньої сили приймати величину жувального навантаження F, функціями від якого будуть і реакції в опорах і внутрішні силові фактори в перерізах щелепи.

В дослідженнях [6, 7] розглянуті теоретичні питання розрахунків типових конструкції без співставлення з реальними ортопедичними

об’єктами. В роботах [8-10] розглянуті рамні конструкції з застосуванням чисельно-аналітичного методу граничних елементів, але тільки як двомірні об’єкти із спрощеним врахуванням внутрішніх силових факторів, що не може відображати реальний напружено деформований стан нижньої щелепи.

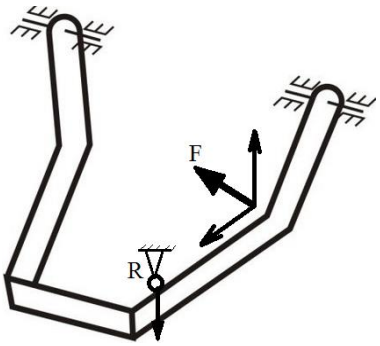


Рисунок 2 – Схема щелепи як просторової рами

Застосувати сучасний чисельний метод дослідження для моделювання і розрахунку нижньої щелепи. Врахувати в розрахунковій схемі геометрію об’єкта дослідження. Скласти матриці чисельно-аналітичного варіанту методу граничних елементів для нижньої щелепи як для просторової рами. Врахувати в розрахунках всі внутрішні силові фактори що виникають просторовій конструкції.

Основна частина

Суглобова головка щелепи є класичним шарніром, як по анатомії, так і за особливостями «роботи». До контакту з зубом-антагоністом нижньої щелепи може розглядатися як найпростіший механізм важеля. При наявності обмеження руху в зоні різців – це рама, шарнірно спирається в двох точках: в зоні суглобової головки і в зоні різців, що схематично відображено на рис. 2 у вигляді нерухомого і рухомого шарнірів.

Для аналізу напружено-деформованого стану в нижній щелепі розглянемо її як просторову раму, а розрахунок проведемо чисельно-аналітичним варіантом методу граничних елементів.

Елементи просторових рам відчувають вигин, крутіння, зсув і розтягування-стискання (рис. 2). Врахуємо останні два вида опору, якими зазвичай нехтують, тому рівняння МГЕ одного стержня для просторового випадку буде містити 8 рівнянь. Розглянемо найпростіший приклад.

1. Рама розбивається на п'ять стержнів. Але, з огляду на симетрію навантаження і розрахункової схеми, уявімо раму двома стрижнями.

2. Формуємо матриці МГЕ. Рівняння рівноваги і спільності переміщень параметрів згину і крутіння для вузла 1 (рис. 3) представлені в матриці ***Y*** (вісь OY стержнів направлена «вверх»).

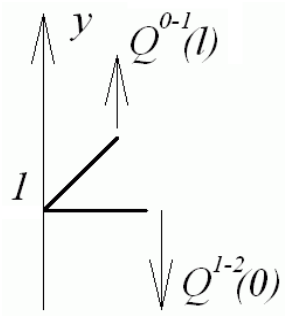


Рисунок 3 – Поперечна сила у вузлі 1

$$\boldsymbol{X}_*= \begin{array}{|c|c|}\hline 1 & EI\,v_{(0)}^{0-1}=0;\ EI\,v_{(\ell)}^{1-2} \\ \hline 2 & EI\,\varphi_{(0)}^{0-1}=0;\ M_{(\ell)}^{1-2} \\ \hline 3 & M_{(0)}^{0-1} \\ \hline 4 & Q_{(0)}^{0-1} \\ \hline 5 & GI_k\theta_{(0)}^{0-1}=0;\ GI_k\theta_{(\ell)}^{1-2} \\ \hline 6 & M_{kp\,(0)}^{0-1} \\ \hline 7 & EI\,v_{(0)}^{1-2} \\ \hline 8 & EI\,\varphi_{(0)}^{1-2} \\ \hline 9 & M_{(0)}^{1-2} \\ \hline 10 & Q_{(0)}^{1-2} \\ \hline 11 & GI_k\theta_{(0)}^{1-2} \\ \hline \end{array} ;\quad \boldsymbol{Y}= \begin{array}{|c|c|}\hline 1 & EI\,v_{(\ell)}^{0-1}=EI\,v_{(0)}^{1-2} \\ \hline 2 & EI\,\varphi_{(\ell)}^{0-1}=EI\,\theta_{(0)}^{1-2} \\ \hline 3 & M_{(\ell)}^{0-1}=M_{kp\,(0)}^{1-2} \\ \hline 4 & Q_{(\ell)}^{0-1}=Q_{(0)}^{1-2} \\ \hline 5 & GI_k\theta_{(\ell)}^{0-1}=-GI_k\varphi_{(0)}^{1-2} \\ \hline 6 & M_{kp\,(\ell)}^{0-1}=-M_{(0)}^{1-2} \\ \hline 7 & EI\,v_{(\ell)}^{1-2} \\ \hline 8 & EI\,\varphi_{(\ell)}^{1-2}=0 \\ \hline 9 & M_{(\ell)}^{1-2} \\ \hline 10 & Q_{(\ell)}^{1-2}=0 \\ \hline 11 & GI_k\theta_{(\ell)}^{1-2} \\ \hline \end{array} ;\quad \boldsymbol{B}= \begin{array}{|c|c|}\hline 1 & \\ \hline 2 & \\ \hline 3 & \\ \hline 4 & \\ \hline 5 & \\ \hline 6 & \\ \hline 7 & -1/24 \\ \hline 8 & -1/6 \\ \hline 9 & -1/2 \\ \hline 10 & -1 \\ \hline 11 & \\ \hline \end{array}$$

Для виключення символів у вигляді літер приймаємо, що $q = l = 1$. Топологічна матриця **C** і система рівнянь МГЕ для рами приймають вигляд:

$\boldsymbol{C}$ =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1							-1					
2											-1,3	
3												-1
4										-1		
5								1/1,3				
6									1			
7	-1											
8												
9		-1										
10												
11					-1							
12												

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1			1/2	1/6			-1						$EI\,v_{(\ell)}^{1-2}$		7
2			1	1/2							-1,3		$M_{(\ell)}^{1-2}$		11
3			1	1								-1	$M_{(0)}^{0-1}$		3
4				1						-1			$Q_{(0)}^{0-1}$		4
5						1		1/1,3					$GI_k\theta_{(\ell)}^{1-2}$		8
6						1			1				$M_{kp\,(0)}^{0-1}$	=	6
7	-1						1	1	1/2	1/6			$EI\,v_{(0)}^{1-2}$	1/24	1
8								1	1	1/2			$EI\,\varphi_{(0)}^{1-2}$	1/6	9
9		-1							1	1			$M_{(0)}^{1-2}$	1/2	2
10										1			$Q_{(0)}^{1-2}$	1	10
11					-1						1	1	$GI_k\theta_{(0)}^{1-2}$		5
12												1	$M_{kp\,(0)}^{1-2}$		12

3. Переставляючи рядки, як показано цифрами праворуч, і застосовуючи метод Гауса, отримуємо значення граничних параметрів:

$$EIv_{(\ell)}^{1-2} = -0{,}4692q\ell^4;\ M_{(\ell)}^{1-2} = 0{,}3550q\ell^2;$$

$$M_{(0)}^{0-1} = -q\ell^2;\ Q_{(0)}^{0-1} = q\ell;$$

$$GI_k\theta_{(\ell)}^{1-2} = -0{,}3846q\ell^3;\ M_{kp\,(0)}^{0-1} = 0{,}1449q\ell^2;$$

$$EIv_{(0)}^{1-2} = -0{,}3333q\ell^4;\ EI\varphi_{(0)}^{1-2} = -0{,}1884q\ell^3;$$

$$M_{(0)}^{1-2} = -0{,}1449q\ell^2;\ Q_{(0)}^{1-2} = q\ell;$$

$$GI_k\theta_{(0)}^{1-2} = -0{,}3846q\ell^3;\ M_{kp\,(0)}^{1-2} = 0{,}0.$$

Значення моменту $M_{(\ell)}^{1-2}$ збігається з результатом роботи [7]. Отримані методом сил значення внутрішніх силових факторів дозволя-

ють визначити *M, Q, $M_{кр}$* і, завдяки їм, визначити напруження і деформації.

Висновки

1. Відпрацьована методика формування розрахункової схеми нижньої щелепи як просторової рамної конструкції.

2. Обґрунтовані граничні умови обпирання та навантаження щелепної системи.

3. Для визначення параметрів напружено-деформованого стану в просторовій рамі застосовано чисельно-аналітичний варіант методу граничних елементів.

Список використаних джерел

1. Мандзюк Т. До моделювання біомеханічних конструкцій з м'якими прошарками / Т. Мандзюк, В. Вовк // Вісник Львівського Університету. Серія прикладна математика та інформатика. – 2011. – Вип. 17. – С. 85–93.

2. Шелковников Е. Ю. Трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы / Е. Ю. Шелковников, А. И. Кириллов, С. М. Ефремов, Т. Л. Реди нова, А. А. Тимофеев, Т. Ю. Метелева // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 54–58.

3. Жолудев С. Е. Об одной задаче оптимизации формы в стоматологии / С. Е. Жолудев, И. Н. Кандоба // Российский журнал биомеханики. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 135–146. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2017.2.02.

4. Чуйко А. Н. О некоторых особенностях расчета нижней челюсти на прочность при функциональной нагрузке / А. Н. Чуйко, А. В. Маргвелашвилли // Российский журнал биомеханики. – 2008. – Т. 13, № 2 (44). – С 69–79.

5. Лохов В. А. Сравнительная оценка уровня функциональных нагружений, развивающихся в эмали зубов при использовании различных типов спортивных зубных шин / В. А. Лохов, Н. Б. Асташина, Е. С. Сергеева, А. Ф. Мерзляков, А. А. Байдаров // Российский журнал биомеханики. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 211–217.
DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2017.2.08.

6. Stankevich A. N. The history and development prospects of the methods for solving multidimensional problems of structural mechanics. ISSN 1997-0935. – Vestnik MGSU. – 2015. – № 12. – С. 76–91.

7. Orobey V. Boundaru element metod in problems of plate elements bending of engineering structures [Text] / V. Orobey, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Metalurgical and Mining Industry. – 2015. – 7(4). – P. 295–302.

8. Kolomiets L. V., Determination of the stressed-deformed status of the lower jaw numerous-analytical optional method of boundary elements / Kolomiets L. V., Orobey V. F., Lymarenko O. M., Lymarenko A. S. // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2019. – 1(14). – С. 33-38.

9. Маланчук В. Вивчення біомеханіки нижньої щелепи на тривимірних комп'ютерних моделях методом скінченних елементів / В. О. Маланчук, М. Г. Крищук, А. В. Копчак // Вісник стоматології. – 2009. – № 3. – С. 56–62.

10. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes[Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4-11.

References

1. Mandziuk T. Do modeliuvannia biomekhanichnykh konstruktsii z miakymy prosharkamy / T. Mandziuk, V. Vovk // Visnyk Lvivskoho Universytetu. Seriia prykladna matematyka ta informatyka. – 2011. – Vyp. 17. – S. 85–93.

2. Shelkovnikov E. Yu. Trexmernoe matematicheskoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zuba i plomby / E. Yu. Shelkovnikov, A. I. Kirillov, S. M. Efremov, T. L. Redinova, A. A. Timofeev, T. Yu. Meteleva // Polzunovskij vestnik. – 2014. – № 2. – S. 54–58.

3. Zholudev S. E. Ob odnoj zadache optimizacii formy v stomatologii / S. E. Zholudev, I. N. Kandoba // Rossijskij zhurnal biomexaniki. – 2017. – T. 21, № 2. – S. 135–146. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2017.2.02.

4. Chujko A. N. O nekotoryx osobennostyax rascheta nizhnej chelyusti na prochnost' pri funkcional'noj nagruzke / A. N. Chujko, A. V. Margvelashvilli // Rossijskij zhurnal biomexaniki. – 2008. – T. 13, № 2 (44). – S 69–79.

5. Loxov V. A. Sravnitel'naya ocenka urovnya funkcional'nyx nagruzhenij, razvivayushhixsya v e'mali zubov pri ispol'zovanii razlichnyx tipov sportivnyx zubnyx shin / V. A. Loxov, N. B. Astashina, E. S. Sergeeva, A. F. Merzlyakov, A. A. Bajdarov // Rossijskij zhurnal biomexaniki. – 2017. – T. 21, № 2 – S. 211–217. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2017.2.08.

6. Stankevich A. N. Nhe history and development prospects of the methods for solving multidimensional problems of structural mechanics. ISSN 1997-0935. – Vestnik MGSU. – 2015. – № 12. – С. 76–91.

7. Orobey V. Boundaru element metod in

problems of plate elements bending of engineering structures[Text] / V. Orobey, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Metalurgical and Mining Industry. – 2015. – 7(4). – P. 295–302.

8. Kolomiets L. V., Determination of the stressed-deformed status of the lower jaw numerous-analytical optional method of boundary elements / Kolomiets L. V., Orobey V. F., Lymarenko O. M., Lymarenko A. S. // Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation of Quality. – 2019. – 1 (14). – P. 33-38.

9. Malanchuk V. Vyvchennia biomekhaniky nyzhnoi shchelepy na tryvymirnykh kompiuternykh modeliakh metodom skinchennykh elementiv / V. O. Malanchuk, M. H. Kryshchuk, A. V. Kopchak // Visnyk stomatolohii. – 2009. – # 3. – S. 56–62.

10. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes[Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8 (89). – P. 4–11.

Надійшла до редакції 19.11.2019.

УДК 534.111

О. А. Романов, О. М. Лимаренко, к.т.н., **А. Ю. Бажанова,** к.т.н.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА ЧИСЕЛЬНИМ МЕТОДОМ

У роботі розглянуто підхід до оцінки напружено-деформованого стану підйомно-транспортної машини, що знаходиться тривалий час в експлуатації, з використанням математичного моделювання, а саме використанням методу скінченних елементів для визначення полів напружень та виявлення найбільш небезпечних зон при експлуатаційному навантаженні. Для отримання реальних навантажень, що виникають в металоконструкції крана були використані дані експерименту. На підставі отриманих результатів зроблені висновки про поточний стан металоконструкції крана і про умови можливості подальшої експлуатації його металоконструкції. Визначено небезпечні місця в металоконструкції крана, які можуть бути осередком руйнування, для подальшого проведення замірів фізичних властивостей металу та обґрунтування висновку про стан кранової металоконструкції. Модель причального контейнерного перевантажувача створювалася з використанням програмного комплексу Solid Works.

Ключові слова: *метод скінченних елементів, причальний контейнерний перевантажувач, комп'ютерне моделювання, алгоритм, напружено-деформований стан.*

А. А. Романов, А. М. Лимаренко, к.т.н., **А. Ю. Б ажанова,** к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

В работе рассмотрен подход к оценке напряженно-деформированного состояния подъемно-транспортной машины, которая находится длительное время в эксплуатации, с использованием математического моделирования, а именно использованием метода конечных элементов для определения полей напряжений и выявления наиболее опасных зон при эксплуатационной нагрузке. Для получения реальных нагрузок, возникающих в металлоконструкции крана, были использованы данные эксперимента. На основании полученных результатов сделаны выводы о текущем состоянии металлоконструкции крана и об условиях возможности дальнейшей эксплуатации его металлоконструкции. Определены опасные места в металлоконструкции крана, которые могут быть очагом разрушения, для дальнейшего проведения замеров физических свойств металла и обоснования заключения о состоянии крановой металлоконструкции. Модель причального контейнерного перегружателя создавалась с использованием программного комплекса Solid Works.

Ключевые слова: *метод конечных элементов, причальный контейнерный перегружатель, компьютерное моделирование, алгоритм, напряженно-деформированное состояние.*

O. A. Romanov, **O. M. Lymarenko,** PhD, **A. Yu. Bazhanova,** PhD

RESEARCH OF STRENGTH-DEFORMED CONDITION OF MOORAGE CONTAINER LOADERS BY NUMERICAL METHODS

The paper considers the approach to the estimation of the stress-strain state of a lifting-transport machine, which has been in operation for a long time, with the introduction of mathematical modeling, namely, the introduction of the finite element method for determining the stress fields and the identification of the most dangerous zones during the operational load. Experimental data were used to obtain real loads occurring in the crane metalwork. A review of the sources shows that the elements of the metalwork of all cranes have a personal prior history of strength and deformation, which is difficult to overestimate, especially the cranes that have been in operation for decades. It is substantiated that the parameters of stiffness and strength determined in the material exceed the permissible error of linear and angular dimensions. Obviously, modern calculations of metal structures should be carried out with the obligatory application of numerical experiment and determination of mechanical parameters by computer methods to ensure the operation of cranes without damage. On the basis of the obtained results, conclusions were drawn about the current state of the crane's metalwork and the conditions for the possibility of further operation of its crane. Hazardous locations in the crane metal structure have been identified, which can be a source of destruction, for further measurements of the physical properties of the metal and the conclusion in the state of the Crane metal structure. The model of the mooring container reloader was created with the introduction of the Solid Works software package. The metal structure of the mooring container reloader was calculated numerically using CAD. The stressed and deformed state in accordance with the requirements for hoisting-and-transport machines were determined. Hazardous locations in the crane metal structure, which can be a source of destruction, have been determined to further measure the physical properties of the metal and to conclude on the state of the crane metal structure. The proposed method of solving the problem can be applied in most cases of trucks.

Keywords: *finite element method, mooring container container, computer simulation, algorithm, stress-strain state.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-36-40

Вступ

Аналіз стану підйомно-транспортної техніки показує, що середній вік кранів знаходиться за межами дозволених норм.

Проблема відновлення парку вантажопідйомальних кранів і технічного переозброєння промислових підприємств вимагає часу і великих капітальних витрат. Придбання нового крана потребує вирішення комплексу питань щодо його вибору за критерієм вартість-якість, способу його транспортування до місця призначення, монтажу крана, його налаштування й інших поточних проблемах, що вимагає суттєвих витрат часу на очікування і значних капітальних витрат.

Останнім часом в інженерну практику впроваджуються методи і технології, які дозволяють вже сьогодні при відносно невеликих витратах істотно збільшувати експлуатаційний ресурс наявного парку вантажопідйомних кранів.

Отже, вдосконалення існуючого крана, в першу чергу, ставить питання про визначення реального стану металоконструкції, причини її руйнування, визначення способів реконструкції цієї металоконструкції, які дали б можливість надалі використовувати кран як дієву одиницю робочого процесу без значних подальших витрат на ремонт металоконструкції крана.

Продовження терміну безпечної експлуатації технічних пристроїв здійснюється на основі оцінки їх індивідуального технічного стану. Такий підхід використовується зараз в цивільній авіації, в енергетиці, важкій і гірничодобувній промисловості, в практиці експлуатації автомобілів, будівельно-дорожніх машин і сільськогосподарської техніки.

Як правило, при оцінці залишкового ресурсу обмежуються перевіркою статичної міцності металоконструкції і розрахунком на опір втоми. Розрахунок на опір втоми при цьому є допоміжним, оскільки втома металоконструкції характерна тільки для інтенсивно експлуатованих кранів.

В роботі розглянуто існуючі, найбільш поширені методики визначення напружено-деформованого стану конструкцій підйомних кранів.

Аналіз публікацій

Основним завданням українських механіків і фахівців в галузі підйомно-транспортних машин, спецтехніки і взагалі машинобудування є науково обґрунтовані роботи направлені на підвищення механізації, продуктивності і розширення

технологічних можливостей підйомно-транспортних машин, тому наукові дослідження що проводяться в роботі дуже актуальні в сучасних умовах.

Науковому обґрунтуванню методів вирішення завдань міцності, жорсткості і надійності кранових металоконструкцій присвячені роботи вчених Баженова В. А., Коломійця Л. В., Андрієнка М., Семенюка В. Ф. Роботи авторів Бузуна І. М., Городецького А. С., Москвічьової Л. Ф., Піскунова В. Г., Оробея В. Ф. присвячені розрахунку і аналізу несучої здатності металоконструкції з використанням автоматизованих систем розрахунку і сучасної обчислювальної техніки.

Робота [1] присвячена дослідженню причального контейнерного перевантажувача методом скінченних елементів. Для моделювання використано балочні скінченні елементи, що не дає можливості врахувати поперечні діафрагми жорсткості по довжині всіх конструктивних елементів. В дослідженні [2] розраховуються конструктивні стержневі елементи тільки у вигляді двомірних задач без врахування просторового навантаження яке випробовують реальні конструкції. В науковому дослідженні [3] розглянуто зміцненні деталі машин з урахуванням концентраторів напружень, але на прикладі тільки лабораторних зразків, що не відображає виробничих умов експлуатації конструкцій. В роботах [4, 5] розглянуто конструктивні елементи машин із спрощенням геометрії, що не відображає реального розподілу напружень і деформацій. В наукових дослідженнях [6-10] при розрахунках просторових і плоскопросторових стержневих систем не враховуються нормальні зусилля, що не відображає напружено-деформований стан в повному обсязі.

Мета дослідження. Розробити та апробувати тривимірну розрахункову модель для визначення напружено-деформованого стану і найбільш навантажених ділянок причального контейнерного перевантажувача (ПКП).

Врахувати в роботі вплив поперечних діафрагм жорсткості на розподіл напружень і деформацій в металоконструкції перевантажувача. Навантажити несучу систему ПКП всіма видами просторового навантаження для точного визначення параметрів міцності та жорсткості.

При вирішенні важливої науково-технічної проблеми застосувати методи і засоби просторового моделювання та автоматичного забезпечення проектування, а в розрахунковій практиці отримати поширення числових методів.

Основна частина

На першій стадії проекту необхідно зібрати всю можливу інформацію і технічну документацію про об’єкт (паспорт крана, креслення металоконструкції, інформацію про перевантажувати вантаж і т.д.). У випадку з причальним контейнерним перевантажувачем частина креслень були відтворені в результаті ручних вимірів існуючої металоконструкції.

Чисельне визначення НДС в основному виконується методом скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє вести розрахунок елементів зі складною конфігурацією та видами навантажень. При необхідності можуть бути враховані нелінійності (геометричні, фізичні).

Виходячи з існуючих методик визначення НДС, скористаємося чисельним методом. У практиці конструювання вантажопідйомних машин не всі навантаження обчислюються теоретично, частина з них визначається за емпіричними формулами (наприклад, зусилля від взаємодії реборди колеса з головкою рейки), а їх значення може лежати в досить широких діапазонах. У зв’язку з вищесказаним, для перевірки відповідності розрахункової моделі крана реальним умовам його навантаження виконаємо порівняння чисельного розрахунку з експериментальними даними. Для коректно побудованої розрахункової моделі та доданих навантаженнях необхідно, щоб дані про НДС отримані чисельним і експериментальним методами, збіглися в межах інженерної похибки.

Для розрахункової моделі використовуємо випадок, якому відповідають максимальні навантаження робочого стану.

Сюди входять:

• вагові навантаження від номінального вантажу;

• вага металоконструкції;

• максимальні навантаження від тиску вітру робочого стану;

• інерційні навантаження, що виникають при підйомі вантажу;

• навантаження від відхилення вантажу від вертикалі;

• навантаження, викликані перекосом крана в процесі роботи;

• навантаження від позацентрового положення кабіни оператора.

Модель причального контейнерного перевантажувача створювалася з використанням програмного комплексу Solid Works. Для моделювання листів використовувалися скінченні елементи оболонкового типу, а для моделювання жорсткостей – скінченні елементи балкового типу з подальшим присвоєнням поперечного перерізу профілю. Моделювання велося «знизу-вгору» – від точки до лінії і площини.

При розрахунку металоконструкції крана (рис. 1) були використані такі властивості матеріалу: модуль Юнга $E = 2,06 \cdot 10^5 МПа$; коефі-

цієнт Пуассона $\mu = 0,3$; коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 0,12 \cdot 10^{-4}$ $^{\circ}C^{-1}$; густина металу $\rho = 7,85 \cdot 10^{3}$ $\frac{кг}{м^3}$.

На рисунках 2-5 наведено окремі результати розрахунків причального контейнерного перевантажувача.

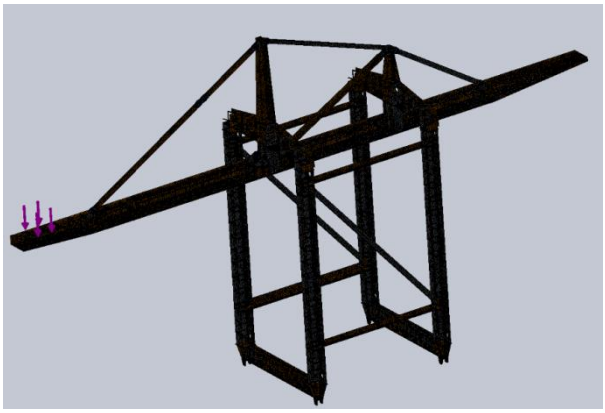


Рисунок 1 – Скінченно-елементна модель ПКП

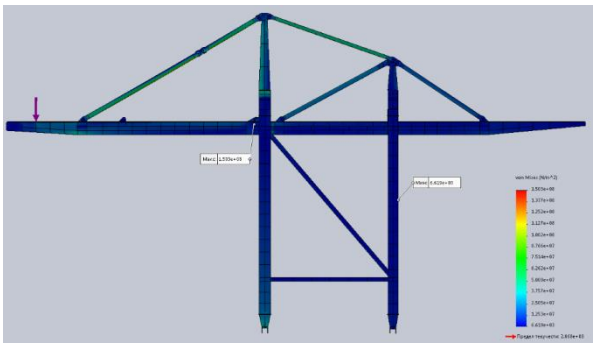


Рисунок 2 – Еквівалентні напруження в крані за гіпотезою Губера-Мізеса (МПа)

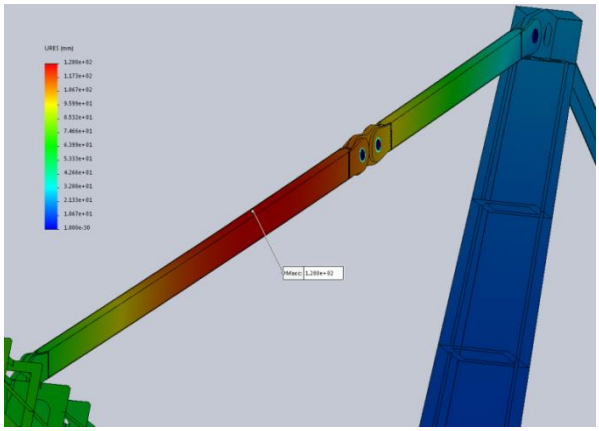


Рисунок 3 – Місце виникнення максимальних переміщень (передня відтяжка)

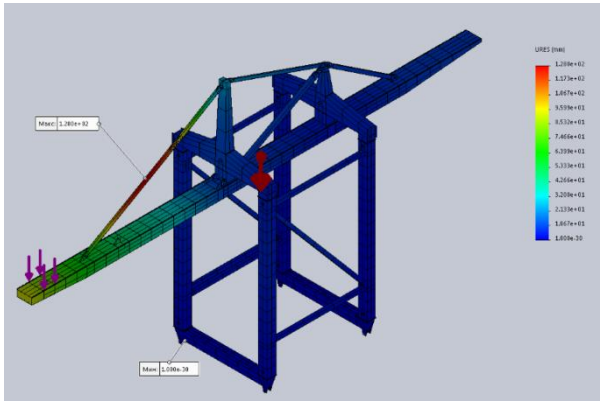


Рисунок 4 – Сумарні переміщення в металоконструкції крана (мм)

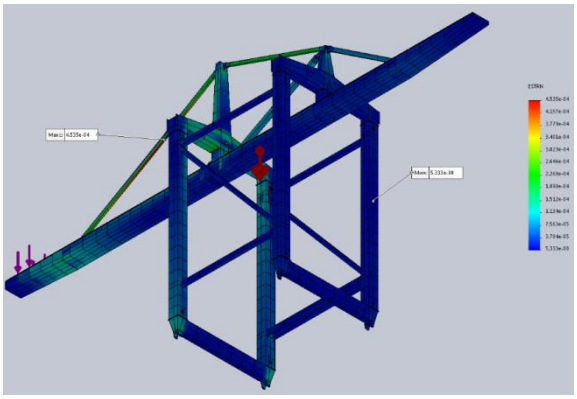


Рисунок 5 – Еквівалентні деформації в металоконструкції

Максимальні еквівалентні напруження в металоконструкції склали 150 МПа, а максимальні переміщення (вертикальні переміщення кінцевого перерізу стріли) – 12,8 см.

Осередки концентрації напружень в крані: з'єднання передньої відтяжки і стріли; передня верхня балка; передній пілон; місця кріплення основи порталу.

В цілому експлуатація крана можлива за визначеними параметрами міцності та жорсткості.

Висновки

1. Проведено розрахунок металоконструкції причального контейнерного перевантажувача чисельним методом з використанням САПР.

2. Визначено напружений і деформований стан згідно вимог до підйомно-транспортних машин.

3. Визначено небезпечні місця в металоконструкції крана, які можуть бути осередком руйнування. В подальшому в цих місцях будуть проводитися заміри ступеня деградації фізичних властивостей металу і по ним буде зроблено висновок про стан кранової металоконструкції.

Запропонована методика вирішення задачі може бути застосована в більшості випадків підйомно-транспортних машин.

Список використаних джерел

1. Коломієць Л. В. Комп'ютерний та натурний експеримент при визначенні напружень і деформацій металоконструкції причального контейнерного перевантажувача / Л. В. Коломієць, О. М. Лимаренко // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2018. – № 2(13). – С. 32–41.

2. Оробей В. Ф. Применение численных методов к расчету элементов судовых конструкций / В. Ф. Оробей, А. О. Немчук, А. М. Лимаренко // Вісн. Одес. нац. морського ун-ту. – 2009. – № 26. – С. 85–90.

3. Кравчук В. С. Влияние конструктивно-технологических факторов на коэффициент запаса прочности поверхностно-упрочненных деталей машин / В. С. Кравчук, А. М. Лимаренко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2006. – № 1 (25). – С. 14–17.

4. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method. / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 51, ч. 1. – С. 586–589.

5. Лимаренко А. М. Методика расчета рулевого управления с применением модуля программы Solid Works / А. М. Лимаренко, В. В. Хамрай А. А. Дащенко // Материалы 9 международной научно-практической конференции «Современные исследования и развитие», Болгария, София, 2015. – Том 16. – С. 11–13.

6. Баженов В. А. Численные методы в механике / В. А. Баженов, А. Ф. Дащенко, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса: «Стандартъ», 2005. – 564 с.

7. Оробей В. Ф. Расчет арок на устойчивость методом граничных элементов / В. Ф. Оробей, А. Ф. Дащенко, А. М. Лимаренко // Проблеми техніки. – Одеса, 2009. – № 2. – С. 114–123.

8. Orobej V. Boundary element method in problem of plate elements bending of engineering structures [Text] / V. Orobey, L. Kolomiets, A. Lymarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 4. – P. 295–302.

9. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes[Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8(89). – P. 4–11.

10. Orobey V. Stability of structural elements of special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7(92). – P. 4–10.

References

1. Kolomiets L. V. Kompiuternyi ta naturnyi eksperyment pry vyznachenni napruzhen i deformatsii metalokonstruktsii prychalnoho konteinernoho perevantazhuvacha / L. V. Kolomiets, O. M. Lymarenko // Zbìrnik naukovih prac′ Odes′koї deržavnoї akademìї tehnìčnogo regulûvannâ ta âkostì. – 2019. – # 2(13). – S. 32–41.

2. Orobej V. F. Primenenie chislennyx metodov k raschetu e'lementov sudovyx konstrukcij / V. F. Orobej, A. O. Nemchuk, A. M. Limarenko // Visn. Odes. nac. mors'kogo un-tu. – 2009. – № 26. – S. 85–90.

3. Kravchuk V. S. Vliyanie konstruktivno-texnologicheskix faktorov na koe'fficient zapasa prochnosti poverxnostno-uprochnennyx detalej mashin / V. S. Kravchuk, A. M. Limarenko // Praci Odes'kogo politexnichnogo universitetu. – 2006. – № 1 (25). – S. 14–17.

4. Limarenko A. M. The optimization of car engine piston-rod by numerical method. / A. M. Limarenko, V. V. Khamray, A. A. Druzhynin // Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva i arkhitektury. – 2015. – Vyp. 51, ch. 1. – S. 586–589.

5. Limarenko A. M. Metodika rascheta rulevogo upravleniya s primeneniem modulya programmy Solid Works / A. M. Limarenko, V. V. Xamraj A. A. Dashhenko // Materialy 9 mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennye issledovaniya i razvitie», Bolgariya, Sofiya, 2015. – Tom 16. – S. 11–13.

6. Bazhenov V. A. Chislennye metody v mexanike / V. A. Bazhenov, A. F. Dashhenko, L. V. Kolomiec, V. F. Orobej, N. G. Sur'yaninov. – Odessa: «Standart"», 2005. – 564 s.

7. Orobej V. F. Raschet arok na ustojchivost' metodom granichnyx e'lementov / V. F. Orobej, A. F. Dashhenko, A. M. Limarenko // Problemi texniki. – Odesa, 2009. – № 2. – S. 114–123.

8. Orobej V. Boundary element method in problem of plate elements bending of engineering structures [Text] / V. Orobey, L. Kolomiets, A. Lymarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 4. – P. 295–302.

9. Orobey V. Mathematical modeling of the stressed-deformed state of circular arches of specialized cranes[Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko, Y. Ovcharov // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/8(89). – P. 4–11.

10.Orobey V. Stability of structural elements of special lifting mechanisms in the form of circular arches [Text] / V. Orobey, O. Daschenko, L. Kolomiets, O. Lymarenko // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – 2/7(92). – P. 4–10.

Надійшла до редакції 09.10.2019.

РОЗДІЛ 3

Інформаційно-вимірювальні системи і технології

УДК 621.317.1

О. М. Величко, д.т.н., **О. В. Грабовський,** к.т.н., **Т. Б. Гордієнко,** д.т.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СПІРАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У статті подано порівняльний аналіз різних методів проектування, тестування і випробувань програмного забезпечення (ПЗ) різноманітного призначення. Для більш детального аналізу щодо застосування для проектування ПЗ обрано спіральну модель, здійснено аналіз її переваг і недоліків. Представлено удосконалену спіральну модель розроблення ПЗ, яка може бути застосована для розроблення ПЗ засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Деталізовано етап спіральної моделі, який стосується випробувань ПЗ, з урахуванням всіх специфічних складових випробування ПЗ як вбудованого у ЗВТ, так і встановленого на універсальних комп'ютерах. Визначено послідовність перевірки складових ПЗ ЗВТ з урахуванням вимог документів і рекомендацій міжнародних та регіональних метрологічних організацій.

***Ключові слова**: програмні засоби, спіральна модель, оцінювання якості, засіб вимірювальної техніки, випробування*

О. Н. Величко, д.т.н., **О. В. Грабовский,** к.т.н., **Т. Б. Гордиенко,** д.т.н.

Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПИРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье представлен сравнительный анализ различных методов проектирования, тестирования и испытаний программного обеспечения (ПО) различного назначения. Для более детального анализа по применению для проектирования ПО избрана спиральная модель, осуществлен анализ ее преимуществ и недостатков. Представлена усовершенствованная спиральная модель разработки ПО, которая может быть использована для разработки ПО средств измерительной техники (СИТ). Детализирован этап спиральной модели, касающийся испытаний ПО, с учетом всех специфических составляющих испытания ПО, как встроенного в СИТ, так и установленного на универсальных компьютерах. Определена последовательность проверки составляющих ПО СИТ с учетом требований документов и рекомендаций международных и региональных метрологических организаций.

***Ключевые слова**: программное средство, спиральная модель, оценка качества, средство измерительной техники, испытания программных средств.*

O. M. Velychko, DSc, **O. V. Hrabovskyi,** PhD, **T. B. Gordiyenko,** DSc

Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Odesa

FEATURES OF APPLICATION OF SPIRAL MODEL FOR TESTING OF MEASURING INSTRUMENTS SOFTWARE

The article presents a comparative analysis of different methods of designing, testing and testing of software for various purposes. For a more detailed analysis of the application for software design, a spiral model was selected and its advantages and disadvantages were analyzed. Although the spiral model has a complicated structure to compare it with other models, its use is appropriate for the development of software for measuring instruments (MI), which can be attributed to middle- and high-risk software. Proper use of the spiral model contributes to the avoidance of deliberate damage to the software, that is increases the level of software protection.

The modified spiral model of software development that can be applied to software development of MI is presented. It is established that only the stages of conceptual definition of the software development

project, conceptual prototype of the software and definition of general requirements for the software, as well as the stages of set for testing, module design, coding, module testing, acceptance and passing tests have their specific features for the MI software. When developing software for measuring instruments, you must take into account the testing features of the software modules, memory, storage devices and data transfer devices. The stage of the spiral model related to the software test is detailed, taking into account all the specific components of the software test, both built in MI and installed on universal computers. The necessity to set the level of division of software into legislatively significant and other parts is taken into account.

For the testing tasks of the MI software, the sequence of verification of the software components is defined, such as the verification of the readability of the MI software, the verification of storage devices and the verification of data transfer devices, taking into account the requirements of documents and recommendations of international and regional metrology organizations. It has been established that acceptance tests of the MI software cannot be completed without eliminating the discrepancies found by the developer.

Keywords: *software, spiral model, software estimation, measuring instrument, software testing.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-42-49

Вступ

Сучасні методи проектування, тестування і випробувань програмного забезпечення (ПЗ) різноманітного призначення набувають все більшої складності. Це пов'язано з відповідним зростанням складності і обсягів застосовуваного ПЗ. Все це вимагає удосконалення існуючих методів випробування ПЗ [1, 2].

Однією із сфер діяльності створеного у США Інституту якості ПЗ (Software Quality Institute, SQI) [3] є впровадження різноманітних методів оцінювання якості ПЗ. Широке використання для розроблення та випробування ПЗ знайшли такі основні моделі: каскадна з її різновидами, V-модель, інкрементна та еволюційна. Ці моделі можна застосувати також і для оцінювання якості ПЗ.

Міжнародна стандартизація з питань розроблення та випробування ПЗ базується на таких основних стандартах: ISO/IEC 25010 [4], у якому представлені моделі якості ПЗ; ISO/IEC 15939 [5], у якому розглянуті моделі вимірювання характеристик ПЗ; ISO/IEC 12207 [6], де представлена каскадна модель розроблення ПЗ; ISO/IEC TR 15271 [7], у якому розглянуте застосування однієї з модифікацій каскадної моделі, орієнтованої на колективне розроблення ПЗ.

В той же час, актуальним є питання вибір та застосування найбільш оптимальної моделі розроблення та випробування ПЗ, зокрема ПЗ для засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), кількість, різноманітність і складність якого останнім часом значно зросла [8, 9].

Аналіз публікацій та досліджень

Розроблена у 1970-х рр. класична каскадна модель дозволила вперше формалізувати послідовність етапів розроблення ПЗ та його випробування, однак реалізувати її у такому вигляді доволі важко. Зважаючи на це з'явились певні удосконалення базової моделі, які мали деякі варіанти її реалізації, зокрема із реалізацією зворотних зв'язків між окремими її стадіями. До основних переваг цієї моделі та її удосконалених варіантів можна віднести простоту планування та контролю виконання всіх етапів розроблення ПЗ, в тому числі етапу випробування ПЗ, а до основних їх недоліків – недостатнє залучення замовника (користувача) ПЗ до етапів розроблення ПЗ [1, 10].

Останнім часом доволі широко застосовується V-модель, яка спрямована на забезпечення планування випробування ПЗ вже на ранніх стадіях його розроблення. Ця модель призначена для визначення базової процедури розроблення та випробування ПЗ та відомі її застосування до розроблення та випробування ПЗ ЗВТ [11]. Розроблена низка удосконалених варіантів V-моделі для скорочення основних недоліків використаних у ній елементів каскадної моделі. Це, зокрема, стосується використанням певних різновидів зворотних зв'язків з метою забезпечення можливості зміни результатів вже виконаних етапів розроблення ПЗ. Удосконаленим варіантом V-моделі стала модель XT [12].

Інкрементна модель розроблення ПЗ використовує багаторазове повторення етапів із вже запланованим поліпшенням результату за кожним етапом. Зважаючи на це її специфікою є велика кількість етапів розроблення ПЗ при незначній їх тривалості та невеликих відмінностях з попередніми етапами. До такої моделі також відносять і екстремальне програмування [3, 10]. До основних переваг цієї моделі слід віднести коротку тривалість і стабільність вимог етапів розроблення, певне зниження ризиків, у порівнянні з каскадною моделлю та залучення до процесу розроблення ПЗ користувача, а до основних їх недоліків – необхідність повного встановлення вимог до ПЗ вже на першому етапі розроблення

ПЗ, складність планування і розподілу етапів розроблення ПЗ.

Еволюційна модель розроблення ПЗ як і попередня модель використовує багаторазове повторення етапів, однак у ній вимоги до ПЗ можуть поступово уточнюватися у наступних етапах його розроблення. Це істотно зменшує кількість етапів розроблення ПЗ, однак їх тривалість стає більшою ніж при використанні інкрементної моделі. До основних переваг цієї моделі слід віднести можливість уточнення чи формування нових вимог на етапах розроблення ПЗ і широку участь користувача на етапах розроблення ПЗ, а до основних їх недоліків – складність планування і контролю етапів розробленням ПЗ і необхідність участі користувачів на цих етапах [1, 2].

Постановка завдання

Метою цього дослідження є проведення детального аналізу щодо можливості застосування спіральної моделі до розроблення та випробування ПЗ ЗВТ. За результатами проведеного аналізу має бути розроблена спіральна модель розроблення та випробування ПЗ ЗВТ з деталізацією її етапу, пов'язаного з випробуванням ПЗ ЗВТ.

Методи дослідження

Спіральна модель, яка запропонована у 1988 р. [1, 13], є класичним прикладом застосування еволюційної моделі. Спіральна модель розроблення ПЗ втілює в собі переваги відповідної каскадної моделі. В ній передбачено розробку ПЗ при використанні методу прототипування або швидкої розробки додатків. Кожен цикл (ітерація) цієї моделі є набором певних операцій (етапів), якому відповідає така ж кількість етапів каскадної моделі. З кожною ітерацією по спіралі, тобто просуванням від центру до периферії, створюються все більш вдосконалені версії ПЗ.

Основними ітераціями розроблення спіральної моделі з розроблення ПЗ, які називаються квадрантами, є такі:

1) визначення цілей, альтернативних варіантів та обмежень (*аналіз вимог до ПЗ*);

2) оцінка альтернативних варіантів, ідентифікація і дозвіл ризиків (*проектування ПЗ*);

3) розробка продукту наступного рівня (*конструювання ПЗ*);

4) планування наступної фази (*оцінювання ПЗ замовником*).

До кожного квадранту спіральної моделі входять як цільові, так і допоміжні дії.

У першому квадранті визначаються:

основні цілі, такі як робоча характеристика, виконувані функції, можливість внесення змін, вирішальні фактори досягнення успіхів, апаратний і програмний інтерфейс ПЗ;

альтернативні способи щодо конструювання ПЗ, повторного використання ПЗ, купівлі, субпідрядників тощо;

обмеження щодо застосування альтернативних варіантів, таких як витрати, графік виконання розробки ПЗ, інтерфейс ПЗ, обмеження, пов'язані із середовищем тощо;

створення документації щодо підтвердження ризиків, пов'язаних з недоліком досвіду в цій сфері діяльності, застосуванням нових технологій, жорсткими графіками розроблення ПЗ, погано організованими процесами розроблення тощо.

У другому квадранті:

оцінюються альтернативні варіанти щодо цілей і обмежень щодо ПЗ;

визначаються і дозволяються ризики щодо їх менеджменту, методики економічно вигідного вибору джерел дозволу, оцінка інших пов'язаних з ризиком ситуацій, зокрема через продовження чи припинення робіт з розроблення ПЗ тощо.

У третьому квадранті реалізуються:

типові дії, що можуть включати створення проекту та його критичний аналіз, розробку та перевірку коду ПЗ, тестування та компоновку ПЗ;

оцінювання замовником першої версії ПЗ та повернення у початковий стан з метою врахування зауважень і побажань замовника;

врахування зауважень і побажань замовника при розробленні наступних версій ПЗ;

зменшення ступеня внесених змін до ПЗ з кожною новою його версією з метою отримання функціональної системи.

У четвертому квадранті розробляються плани:

проекту в цілому;

менеджменту конфігурації ПЗ,

випробування ПЗ;

встановлення ПЗ.

У всіх квадрантах спіральної моделі відсутня задана кількість циклів, тому їх кількість потрібно вибирати у разі потреби, а ітерації можна адаптувати під певний проект розроблення ПЗ.

Для кожної ітерації слід:

визначити цілі, альтернативні варіанти і обмеження;

встановити і дозволити ризики;

дати оцінку альтернативних варіантів;

розробити результативні дані для ітерації та підтвердити їх правильність;

спланувати наступну ітерацію, якщо потрібно її виконання, та вибрати метод її здійснення.

Оскільки спіральна модель була розроблена з більшою ретельністю, ніж інші моделі, в розробці за принципом спіралі особливу увагу приділено оцінці альтернативних варіантів і оцінки ризиків. Здійснюваний в кінці кожної фази кри-

тичний аналіз забезпечує перехід до наступної фази. В разі необхідності визначається потреба у повторному виконанні кожної фази.

На кожному кроці руху по спіралі моделі розглядається один або кілька головних факторів ризику, починаючи з найвищого. Типові ризики можуть включати в себе невірно трактовані вимоги користувача, потенційні проблеми, пов'язані з експлуатацією ПЗ, проблеми у базовій технології створення ПЗ тощо.

Належне використання спіральної моделі або одного з її варіантів сприяє уникненню навмисного пошкодження ПЗ, тобто підвищується рівень захисту ПЗ. Проведення великого обсягу аналізу та оцінки ризиків на кінцевих фазах спіральної моделі можна спостерігати етапи процесу, що нагадують відому каскадну модель. Кодування ПЗ у спіральній моделі виконується значно пізніше, ніж в інших моделях. Це пов'язано з мінімізацією ризиків за допомогою здійснення послідовного уточнення вимог користувача.

При використанні спіральної моделі розроблення ПЗ, для чого вона у достатній мірі підходить, виявляються такі основні переваги:

користувачі ПЗ можуть оцінити його на ранніх етапах розроблення та брати участь у аналізі ризиків на різних витках спіралі;

великі за обсягом роботи з розроблення ПЗ можуть розбиватися на певні частини з великим ступенем ризику з метою можливого припинення робіт та зменшення витрат на його розроблення;

удосконалення управління розробленням ПЗ зважаючи на можливість виконання необхідного аналізу на різних витках спіралі;

підвищення продуктивності розроблення ПЗ зважаючи на можливість аналізу та уточнення поставлених завдань;

потенційне зменшення витрат на розроблення ПЗ за рахунок аналізу ризиків на різних витках спіралі;

скорочення термінів розроблення ПЗ за рахунок існування переваг інкрементної моделі;

можливість гнучкого проектування ПЗ за рахунок існування переваг каскадної моделі;

забезпечення необхідної якості ПЗ шляхом використання зворотного зв'язку користувача та розробника ПЗ тощо.

Спіральної моделі розроблення ПЗ властиві також і такі основні недоліки:

можлива висока вартість розроблення ПЗ зважаючи на багаторазовий аналіз ризиків, хоча ця розробка може мати низький ступінь ризику;

можлива велика тривалість розроблення ПЗ за рахунок виникнення необхідності нових ітерацій (нових витків спіралі);

існування підвищених вимог щодо знань замовника розроблення ПЗ для оцінювання різноманітних ризиків тощо.

Розробники ПЗ можуть бути впевнені у доцільності застосування спіральної моделі у випадку, коли:

недоцільне виконання довготривалого проекту через потенційні зміни, які можуть відбутися за рахунок врахування певних економічних пріоритетів;

виконуються тривалі та великі проекти з розроблення ПЗ, які можуть викликати певні труднощі як у розробника, так і замовника;

замовники чи користувачі ПЗ не впевнені в своїх потребах і ця невизначеність впливає на час розроблення ПЗ;

замовник розроблення ПЗ не може одразу знайти всі необхідні кошти чи кошти на певні додаткові ітерації (витки спіралі);

застосовуються нові технології чи об'єктно-орієнтовані принципи з необхідністю тестування базової концепції реалізації ПЗ;

виконання розроблення ПЗ пов'язане із середнім і високим ступенями ризику та вимоги до ПЗ занадто складні;

очікуються суттєві зміни чи необхідне розроблення ПЗ із новими функціями;

важливо підрахувати витрати, пов'язані з проведенням аналізу ризиків;

необхідна демонстрація якості та досягнення цілей за короткий період часу;

при розробленні ПЗ вимагається великий обсяг обчислень для забезпечення прийняття необхідних рішень тощо.

SQI розроблений свій варіант спіральної моделі, який включає такі компоненти [3]:

1) *планування*: аналіз вимог і планування, засноване на оцінках замовника;

2) *аналіз ризиків*: аналіз ризиків, заснованих на початкових вимогах, аналіз ризиків, заснований на оцінках замовника;

3) *розроблення*: прийняття рішення щодо продовження розроблення, розроблення початкового прототипу, прототипів наступних рівнів, кінцевого продукту;

4) *оцінювання замовником*: оцінювання результатів замовником.

4. Результати досліджень

Аналіз можливостей застосування спіральної моделі дозволив реалізувати таку модель щодо розроблення ПЗ ЗВТ. На рис. 1 наведена базова спіральна модель розроблення ПЗ.

Використані наступні цифрові позначення етапів:

1 – концептуальне визначення проекту з розроблення ПЗ (*замовник*);

2 – концептуальний прототип ПЗ;

3 – визначення загальних вимог до ПЗ (*замовник–виконавець*);

4 – планування життєвого циклу ПЗ і виконання вимог замовника;

5 – цілі, завдання, варіанти підходів до вирішення завдань та організації процесів;

6 – аналіз ризиків;

7 – демонстративний прототип ПЗ;

8 – імітаційне моделювання;

9 – аналіз встановлених вимог до ПЗ;

10 – планування розроблення ПЗ;

11 – варіанти організації процесів розроблення ПЗ;

12 – операційний прототип ПЗ;

13 – проектування ПЗ;

14 – верифікація і валідація проекту;

15 – план інтегрування і випробування ПЗ;

16 – варіанти рішення розроблення ПЗ та його модулів;



Рисунок 1 – Базова спіральна модель розроблення ПЗ

17 – функціональний (робочий) прототип ПЗ;

18 – набори для тестування ПЗ (зчитування ПЗ ЗВТ, запам'ятовуючих пристроїв, пристроїв передачі даних [8, 14–17]);

19 – проектування модулів ПЗ (розділення ПЗ ЗВТ на законодавчо значиму та інші частини [9, 14–17]);

20 – кодування ПЗ;

21 – тестування модулів ПЗ (зчитування ПЗ ЗВТ, запам'ятовуючих пристроїв, пристроїв передачі даних [8, 14–17]);

22 – інтеграція і комплексне тестування ПЗ (законодавчо значимої та інших частин ПЗ ЗВТ [9, 14–17]);

23 – приймально-здавальні випробування ПЗ (*замовник–виконавець*);

24 – впровадження розробленого ПЗ (*замовник*).

Планування розроблення ПЗ ЗВТ розпочинається ще на перших етапах розроблення ПЗ (етапи 1–3). Результатом виконання цих етапів стає визначення замовником і виконавцем загальних вимог до ПЗ з урахуванням особливостей побудови самого ЗВТ, вимог документів і рекомендацій міжнародних та регіональних метрологічних організацій [14–18].

Етапи 4–17 моделі не мають якихось особливостей для ПЗ ЗВТ. Етапи 18, 19, 21 і 22 моделі мають деякі особливості для ПЗ ЗВТ, зокрема щодо наборів і самого тестування модулів ПЗ, а також проектування, інтеграції та комплексного тестування ПЗ з урахуванням законодавчо значимої та інших частин ПЗ ЗВТ.

На 23-му етапі здійснюються приймально-здавальні випробування ПЗ ЗВТ. Цей етап більш детально розглянутий на рис. 2 з урахуванням всіх специфічних складових випробування ПЗ як вбудованого у ЗВТ, так і встановленого на універсальних комп'ютерах. На ньому визначено функції як замовника проекту (встановлення вимог до ПЗ, аналіз виявлених невідповідностей), так і виконавця (розроблення завдання випробувань, проведення випробувань і підготовка протоколу випробувань ПЗ).

При формуванні завдання випробувань ПЗ ЗВТ повинні враховуватися встановлені загальні вимоги до ПЗ, вбудованого у ЗВТ (P) чи до ПЗ, встановленого на універсальних комп'ютерах (U) залежно від особливостей побудови самого ЗВТ [8, 9]. Крім того, для ПЗ ЗВТ також необхідно встановити рівень розділення ПЗ (S) на законодавчо значиму та інші частини і врахувати це у завданнях випробувань.



Рисунок 2 – Деталізація етапу здійснення приймально-здавальних випробувань ПЗ ЗВТ

Завдання випробувань ПЗ ЗВТ повинні мати таку послідовність:

перевірка зчитування (D) ПЗ ЗВТ;

перевірка запам'ятовуючих пристроїв (L);

перевірка пристроїв передачі даних (T).

Після проведення випробувань ПЗ ЗВТ за встановленими завданнями формується відповідний протокол випробувань. В ньому повинні бути відображені всі виявлені невідповідності встановленим вимогам за завданнями, які надаються замовнику. У разі виявлені суттєвих невідповідностей замовник може скорегувати вимоги до ПЗ для наступної ітерації та уточнення завдання випробувань.

За результатами виконання етапу 23 виконавцем розроблення ПЗ формується звіт про випробування частин ПЗ на конкретній ітерації, який надається замовнику проекту.

Виконавець проекту доопрацьовує вимоги до ПЗ для наступної ітерації та погоджує із замо-

вником уточнений варіант завдання на випробування ПЗ. Лише після успішного завершення всіх вказаних перевірок ПЗ ЗВТ, замовник приймає виконану виконавцем роботу і лише тоді можна стверджувати про завершення приймально-здавальних випробувань ПЗ ЗВТ в цілому.

Висновки

Аналіз можливостей застосування базової спіральної моделі розроблення ПЗ і застосування її для ПЗ ЗВТ показав таку доцільність. Запропонована удосконалена спіральна модель розроблення ПЗ ЗВТ, яке можна віднести до ПЗ середнього та високого ризику. Здійснена деталізація етапу приймально-здавальних випробувань ПЗ ЗВТ може бути використана при розробленні ПЗ для конкретного ЗВТ. При цьому враховуються всі специфічні складові тестування та випробування ПЗ для ЗВТ відповідно до спеціальних вимог документів і рекомендацій міжнародних та регіональних метрологічних організацій.

Список використаних джерел

1. Технология разработки программного обеспечения: учеб. пособие / В.В. Бахтизин, Л. А. Глухова. – Минск: БГУИР, 2010. – 267 с.
2. Software Development Methodology Today. Software Development Strategies and Life-Cycle Models [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу: http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=605374&seqNum=2
3. Software Quality Institute, SQI [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: https://isqi.org/ua/en/
4. ДСТУ ISO/IEC 25010:2015 Інженерія програмних засобів і систем. Вимоги щодо якості та оцінювання систем і програмного продукту (SQuaRE). Моделі якості системи та програмних засобів (ISO/IEC 25010:2011, IDT).
5. ДСТУ ISO/IEC 15939:2008 Інженерія систем і програмних засобів. Процес вимірювання (ISO/IEC 15939:2007, IDT).
6. ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering – Software life cycle processes.
7. ISO/IEC TR 15271:1998, Software Engineering – Software life cycle processes – Guide for ISO/IEC 12207 (Software Life Cycle Processes).
8. Velychko O., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software on the national level // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2018. – № 2/9 (92). – P. 35–42.
9. Velychko O., Gaman V., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2019. – № 1/9 (97). – P. 19–26.
10. Фатрелл Р., Шафер Д., Шафер Л. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат. – М.: Вильямс, 2003. – 1125 с.
11. Величко О. М., Грабовський О. В., Гордієнко Т. Б. Особливості застосування V-моделі при розробленні та оцінюванні якості програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2019. – Вип. 1 (14). – С. 6–11.
12. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2004. – 655 с.
13. Boehm B. W. A spiral model of software development and enhancement. IEEE Computer. – 1988. – 21 (5). – P. 61–72.
14. OIML D 31:2008. General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. OIML. Paris, 2008. 53 p.
15. WELMEC 7.1. Informative Document: Development of Software Requirements.
16. WELMEC 7.2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2004/22/EC).
17. WELMEC 2.3. Guide for Examining Software (Non-automatic Weighing Instruments).
18. COOMET R/LM/10:2004. COOMET Recommendation: Software for Measuring Instruments: General Technical Specifications. COOMET. 2004. 10 p.

References

1. Texnologiya razrabotki programmnogo obespecheniya: ucheb. posobie / V.V. Baxtizin, L. A. Gluxova. – Minsk: BGUIR, 2010. – 267 s.
2. Software Development Methodology Today. Software Development Strategies and Life-Cycle Models [Elektronnyi resurs]. – 2008. – Rezhymdostupu: http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=605374&seqNum=2
3. Software Quality Institute, SQI [Elektronnyi resurs]. – 2019. – Rezhym dostupu: https://isqi.org/ua/en/
4. DSTU ISO/IEC 25010:2015 Inzheneriia prohramnykh zasobiv i system. Vymohy shchodo yakosti ta otsiniuvannia system i prohramnoho produktu (SQuaRE). Modeli yakosti systemy ta prohramnykh zasobiv (ISO/IEC 25010:2011, IDT).
5. DSTU ISO/IEC 15939:2008 Inzheneriia system i prohramnykh zasobiv. Protses vymiriuvannia (ISO/IEC 15939:2007, IDT).

6. ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering – Software life cycle processes.

7. ISO/IEC TR 15271:1998, Software Engineering – Software life cycle processes – Guide for ISO/IEC 12207 (Software Life Cycle Processes).

8. Velychko O., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software on the national level // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2018. – № 2/9 (92). – P. 35–42.

9. Velychko O., Gaman V., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. – 2019. – № 1/9 (97). – Pp. 19–26.

10. Fatrell R., Shafer D., Shafer L. Upravlenie programmnymi proektami: dostizhenie optimal'nogo kachestva pri minimume zatrat. – M.: Vil'yams, 2003. – 1125 s.

11. Velychko O. M., Hrabovskyi O. V., Gordiyenko T. B. Osoblyvosti zastosuvannia V-modeli pry rozroblenni ta otsiniuvanni yakosti prohramnoho zabezpechennia zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky // Zbìrnik naukovih prac′ Odes′koï deržavnoï akademìï tehnìčnogo regulûvannâ ta âkostì. – 2019. – Vyp. 1 (14). – S. 6 – 11.

12. Braude E'. Texnologiya razrabotki programmnogo obespecheniya. – SPb.: Piter, 2004. – 655 s.

13. Boehm B. W. A spiral model of software development and enhancement. IEEE Computer. – 1988. – 21 (5). – P. 61–72.

14. OIML D 31:2008. General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. OIML. Paris, 2008. 53 p.

15. WELMEC 7.1. Informative Document: Development of Software Requirements.

16. WELMEC 7.2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2004/22/EC).

17. WELMEC 2.3. Guide for Examining Software (Non-automatic Weighing Instruments).

18. COOMET R/LM/10:2004. COOMET Recommendation: Software for Measuring Instruments: General Technical Specifications. COOMET. 2004. 10 p.

Надійшла до редакції 17.09.2019

УДК 004.932

В. А. Мащенко[1], к.ф.-м.н., **П. В. Кіндрат[2],** к.ю.н.

[1]*Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса*
[2]*Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне*

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДИ РЕЗОНАНСНИХ КОЛИВАНЬ ЗАКРІПЛЕНОГО ПОЛІМЕРНОГО СТРИЖНЯ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕННЯ

В статті представлені структура інформаційно-вимірювальної системи та алгоритм керування апаратними засобами для визначення амплітуди резонансних коливань вільного кінця закріпленого полімерного стрижня. Запропонована послідовність операцій цифрової обробки зображення для визначення лінійних розмірів області бінарного зображення, що відповідає амплітуді коливань зразка. Алгоритм керування апаратними засобами та алгоритм цифрової обробки зображення реалізований в системі MATLAB з використанням можливостей графічного середовища користувача. На основі отриманих результатів показана можливість побудови резонансної кривої відносної амплітуди коливань зразка від частоти його збудження.

Ключові слова: *покращення зображення, поріг яскравості пікселя, виділення меж, бінаризація, функції системи MATLAB, алгоритм визначення амплітуди коливань.*

В. А. Мащенко, к.ф.-м.н., **П. В. Киндрат,** к.ю.н.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУДЫ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЗАКРЕПЛЕННОГО ПОЛИМЕРНОГО СТЕРЖНЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ

В статье представлены структура информационно-измерительной системы и алгоритм управления аппаратными средствами для определения амплитуды резонансных колебаний свободного конца закрепленного полимерного стержня. Предложена последовательность операций цифровой обра-

ботки изображения для определения линейных размеров области бинарного изображения, соответствующей амплитуде колебаний образца. Алгоритм управления аппаратными средствами и алгоритм цифровой обработки изображения реализован в системе MATLAB с использованием возможностей графической среды пользователя. На основе полученных результатов показана возможность построения резонансной кривой относительной амплитуды колебаний образца от частоты его возбуждения.

Ключевые слова: *улучшение изображения, порог яркости пикселя, выделение контуров, бинаризация, функции системы MATLAB, алгоритм определения амплитуды колебаний.*

V. A. Mashchenko, PhD, **P. V. Kindrat,** PhD

INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR DETERMINATION OF RESONANCE VIBRATION AMPLITUDES OF THE FIXED POLYMER ROD BASED ON DIGITAL PROCESSING AND IMAGE ANALYSIS

For the experimental determination of the real part of the complex dynamic Young's modulus and the tangent of the mechanical loss angle of the polymeric materials, the method of shear oscillations of the fixed sample is used. The essence of the method is to measure the amplitude of the resonance oscillations of the sample, in the form of a rod when the frequency of the disturbing force changes. Based on the values of the amplitude of the transverse oscillations of the sample at different frequencies, a resonance curve is constructed, the parameters of which are the oscillation frequency and the relative amplitude.

The structure of the information-measuring system for determining in real time the amplitude of the resonant oscillations of the rod in the set frequency range is presented. The determination of the amplitude of the oscillations is based on the digital processing and analysis of the image of the sample obtained by the webcam. The information management system hardware and digital image processing algorithm is implemented in the MATLAB software application using the capabilities of the graphical user environment and the NI-VISA package.

The proposed sequence of operations of digital image processing which consists of capturing RGB image, converting the image to monochrome, improving the image by changing the brightness of pixels, local averaging with defined pixel window size and impulse response of the filter, border selection on the image and binarization of the image by clipping threshold of brightness.

The algorithm for determining the amplitude of oscillations is based on the determination of the right and left boundaries and the linear size of the area of the binary image with pixel values equal to one relative to the vertical baseline. In addition to determining the left and right boundaries, the algorithm provides for the adjustment of the vertical baseline to the image of the sample oscillations.

Based on the obtained results the possibility of constructing a resonance curve of the relative amplitudes of oscillations of the sample from the frequency of its excitation is shown.

Keywords: *image enhancement, pixel brightness threshold, allocation of borders, binarization, MATLAB system functions, algorithm for determining the amplitude of oscillations.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-49-57

Вступ

Для експериментального визначення дійсної частини комплексного динамічного модуля Юнга та тангенса кута механічних втрат полімерних матеріалів застосовують метод зсувних коливань вільного кінця закріпленого зразка [1].

Суть методу полягає у вимірюванні амплітуди коливань *(A)* вільного кінця зразка, у вигляді стрижня, при зміні частоти збурюючої сили, що прикладена до іншого закріпленого кінця. На основі значень величини $|A|$ поперечних коливань зразка при різних частотах будується резонансна крива, параметрами якої є частота коливань (f) та відношення амплітуд ($|A|/|A_{max}|$), де A_{max} – максимальне значення амплітуди, що відповідає головній резонансній частоті (f_r). Для f_r визначають ширину резонансної кривої (Δf_r) нарівні $\frac{|A_{max}|}{\sqrt{2}}$.

Вимірювання величини A та побудову резонансної кривої реалізують за допомогою різних експериментальних методів з використанням інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) [2, 3].

Аналіз останніх публікацій

В роботі [2] запропоновано метод детектування зміни інтенсивності відбитого лазерного променя від поверхні зразка. Напруга з фототранзистора

передається до персонального комп'ютера (ПК), де проводиться обробка даних за допомогою програмного забезпечення LabVIEW. Інформація отримана за допомогою оптико-електронної ІВС спотворюється під дією завад різного характеру, що впливають на результат визначення амплітуди коливань і побудову резонансної кривої.

В роботі [3] визначення амплітуди резонансных коливань зразка реалізовано за допомогою аналізу зображення отриманого із веб-камери. Алгоритм аналізу зображення базується на визначенні порогу яскравості, як середньої яскравості пікселей на визначеному горизонтальному відрізку. Методом порівняння яскравості двох сусідніх пікселів проводиться пошук меж коливань зразка. В методі, при зміні частоти збудження, не завжди вдається отримати чітку картину коливань зразка за рахунок зміни амплітуди із частотою. В такому випадку, оптична система веб-камери та канал перетворення інформації вносять відповідні завади у роботу алгоритмів аналізу зображення та визначення амплітуди коливань зразка. Зменшення дії завад може бути компенсовано за рахунок цифрової обробки отриманого зображення.

Вирішення задач цифрової обробки зображень, створених різними системами, може бути реалізовано за допомогою підходів та програмних засобів системи інженерно-фізичних розрахунків MATLAB. Запропоновані в роботі [4] алгоритми базуються на отриманні зображень, математичному представленні та аналізі зображень на основі системної моделі комп'ютерного зору.

Програмні засоби MATLAB дають можливість керувати світловими і кольоровими характеристиками [4, 5], проводити модифікацію пікселів у малих околах, що використовуються для однорідної обробки зображення засобами зміни рівня яскравості [6], змінювати геометричні параметри, виділяти області і межі отриманих зображень [4–7], покращувати зображення в просторовій та частотній областях за допомогою різних фільтрів [8–10]. Крім цього, в [8] запропоноване використання середньої квадратичної помилки (MSE) та пікового відношення сигнал/шум (PSNR) для вимірювання якості зображення при обробці зображення різними фільтрами низьких частот.

Основними складовими системи збору інформації в [11] є відео камера, процесорний блок та розроблене програмне забезпечення в системі MATLAB з використанням можливостей графічного інтерфейсу користувача (GUI) [9]. Робота системи передбачає захоплення відеосигналу з камери, перетворення відеосигналу в кадри зображень. Методологія цифрової обробки отриманих зображень базується на перетворенні RGB-зображення у монохромний формат та покращенні зображення засобами MATLAB.

Алгоритм обробки цифрового зображення біологічного об'єкту засобами MATLAB в [7] передбачає отримання зображення, зміну контрастності та кластерізацію на основі алгоритму *k*-середніх для класифікації областей зображення об'єкту з метою виділення меж та областей із різними RGB-характеристиками.

В роботі [12] розглянуті основні операції для цифрової обробки зображень з метою отримання контурів об'єктів засобами MATLAB і LabVIEW. Алгоритм обробки передбачає перетворення RGB (червоний, зелений, синій) параметрів пікселей зображення до відтінків сірого з подальшим переходом до двійкового зображення та процесу виявлення контурів об'єктів.

Мета дослідження

Метою роботи є розробка програмного коду для керування апаратними засобами в інформаційно-вимірювальній системі для автоматизації процесу вимірювання та алгоритму цифрової обробки зображення, отриманого із веб-камери, для визначення амплітуди коливань вільного кінця закріпленого полімерного стрижня.

Виклад основного матеріалу

Інформаційно-вимірювальна система для визначення амплітуди коливань в реальному часі вільного кінця закріпленого полімерного стрижня складається з ПК, генератора коливань Siglent SDG 1010 та веб-камери UVS з оптичним збільшенням зображення (рис. 1).

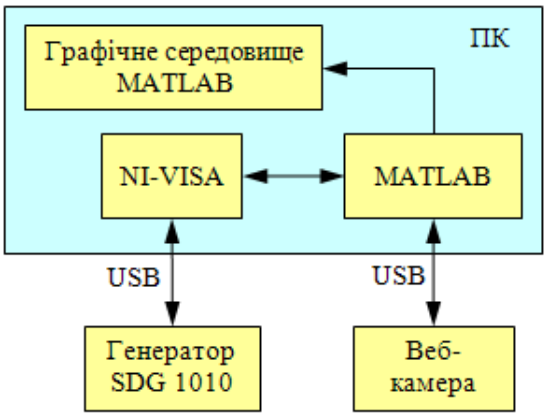


Рисунок 1 – Схема обміну даними в ІВС

Програмний додаток «Резонансні вимірювання» ІВС розроблено в системі MATLAB з використанням можливостей графічного середовища кори-

стувача GUI. Інтерфейс програмного додатку «Резонансні вимірювання» представлений на рис. 2.

Пакет **NI-VISA** включає драйвер пристрою NI (NI device driver) і утиліту NI MAX (Measurement & Automation Explorer), яка надає користувачу базовий інтерфейс для керування зовнішнім пристроєм.

Додаток «Резонансні вимірювання» реалізує наступні кроки:

– сканує наявність підключених веб-камер в ІВС системі;

– дає можливість вибрати необхідну веб-камеру;

– створює об'єкт для керування веб-камерою;

– дозволяє змінювати параметри веб-камери, зокрема роздільну здатність;

– створює об'єкт для керування і керує дистанційною роботою генератора для збудження коливань у визначеному частотному діапазоні із заданим кроком зміни частоти**;**

– реалізує цифрову обробку захопленого зображення;

– дозволяє встановити базові лінії на захопленому зображенні для визначення амплітуди коливань;

– створює матриці даних для монохромного або/та бінарного зображень;

– реалізує алгоритм визначення амплітуди коливань вільного кінця закріпленого зразка при кожному значенні частоти коливань;

– будує графік залежності відносної амплітуди $|A|/|A_{max}|$ від f.

Дистанційне керування генератором SDG 1010 реалізовано за допомогою команд SCPI через утиліту NI-VISA [13]. Програмний код функції `USBTMC_SDG` представлений рис. 3.

В алгоритмі керування передбачений запит на внутрішнє тестування генератора за допомогою команди *TST?. Самотестування включає перевірку апаратури всіх каналів. Відмова апаратури ідентифікується унікальним двійковим кодом, що повертається числом. Відповідь „0" означає, що у роботі приладу не має ніяких помилок.

В циклі `while` функції `USBTMC_SDG` реалізується зміна частоти генератора від 10 до 140 Гц з кроком 0,5 Гц для синусоїдального сигналу амплітудою 12 В. При кожній частоті проводиться захоплення RGB-зображення веб-камерою для подальшої цифрової обробки.

Алгоритм цифрової обробки захопленого RGB-зображення із веб-камери представлений на рис. 4. Захоплене RGB-зображення з веб-камери переводиться у монохромний формат.

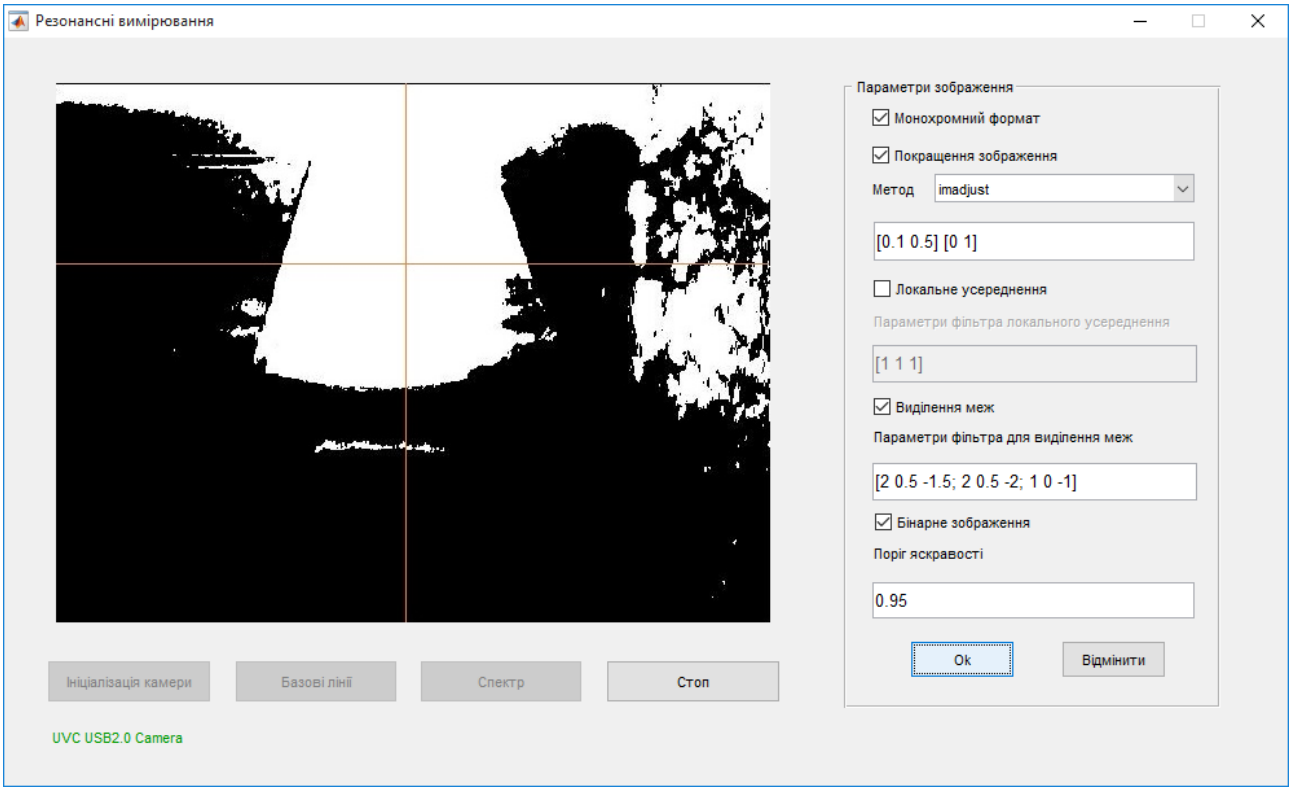


Рисунок 2 – Інтерфейс програмного додатку «Резонансні вимірювання»

```
function USBTMC_SDG
% Функція для керування роботою генератора Siglent SDG-1010 за допомогою NI-VISA
global img;
global cam;
% Створюємо об’єкт VISA-USB підключений до USB-інструменту
vu=visa('ni','USB0::0xF4EC::0xEE38::0123456789::INSTR');
% Відкриваємо створений об'єкт VISA.
fopen(vu);
% Відпраляє рядок "*IDN?" із запитом ідентифікації пристрою
fprintf(vu,'*IDN?');
% Запит даних від пристрою
outputbuffer=fscanf(vu);
disp(outputbuffer);
% Відпраляє рядок "*TST?" із
fprintf(vu,'*TST?');
outputbuffer=fscanf(vu);
if outputbuffer==0
    % Включаємо перший канал генератора
    fprintf(vu,'C1:OUTP ON');
    frequency=10;
    string_1='C1:BSWV WVTP,SINE,FRQ,';
    string_3='HZ,AMP,12';
    while frequency<=140
        string_2=num2str(frequency);
        string=strcat(string_1,string_2,string_3);
        % Встановлюємо тип сигналу, частоту та амплітуду
        fprintf(vu,string);
        pause(5.0);
        % Захоплюємо зображення з веб-камери
        img=snapshot(cam);
        frequency=frequency+0.5;
    end;
end;
% Закриваємо об'єкт VISA
fclose(vu);
delete(vu);
clear vu;
end
```

Рисунок 3 – Програмний код функції керування генератором

В рамках етапу цифрової обробки монохромного зображення можна проводити його покращення методом зміни яскравості за допомогою зміни передаточної характеристики яскравості пікселя або вирівнюванням гістограми розподілу яскравості пікселей. Дані методи вибираються у списку, що розкривається, і реалізуються за допомогою функцій:

```
g=imadjust(f,[low_in,high_in],[low_out,high_out],gamma)
```

або

```
g=histeq(f,hspec)
```

системи MATLAB [14, 15], де `f` – вихідне зображення; `g` – нове зображення в якому значення яскравості у інтервалі `[low_in, high_in]` переходять у значення інтервалу `[low_out, high_out]`, а значення, меньше порогу `low_in` або більше порогу `high_in` відкидаються; `gamma` – параметр для визначення форми кривої відображення яскравості; `hspec` – задана гістограма (вектор-рядок), значення якої відповідають однаковим розбиттям діапазону рівнів.

В подальшому, для захопленого зображення можна проводити локальне усереднення за допомогою фільтра із заданою імпульсною характеристикою та розміром вікна для $m \times n$ пікселей. Розмір вікна та імпульсна характеристика задається у вигляді вектора `[m n Impuls_characteristic]` у текстовому полі «Параметри фільтра локального усереднення» програмного додатку (рис. 2).

На наступному етапі монохромне зображення обробляється фільтром для виділення меж.

Для операцій локального усереднення та виділення меж використовуємо функцію

```
g=imfilter(f, w),
```

що реалізує фільтрацію багатовимірних зображень, де `w` – імпульсна характеристика фільтра [14, 15].

Імпульсна характеристика фільтра для виді-

лення меж задається у вигляді вектора-рядка в текстовому полі «Параметри фільтра для виділення меж» програмного додатку (рис. 2). Встановлення параметрів фільтра локального усереднення та фільтра для виділення меж проводиться емпірично при головній резонансній частоті f_r коливання зразка на основі візуальної оцінки чіткості меж отриманого зображення коливань.

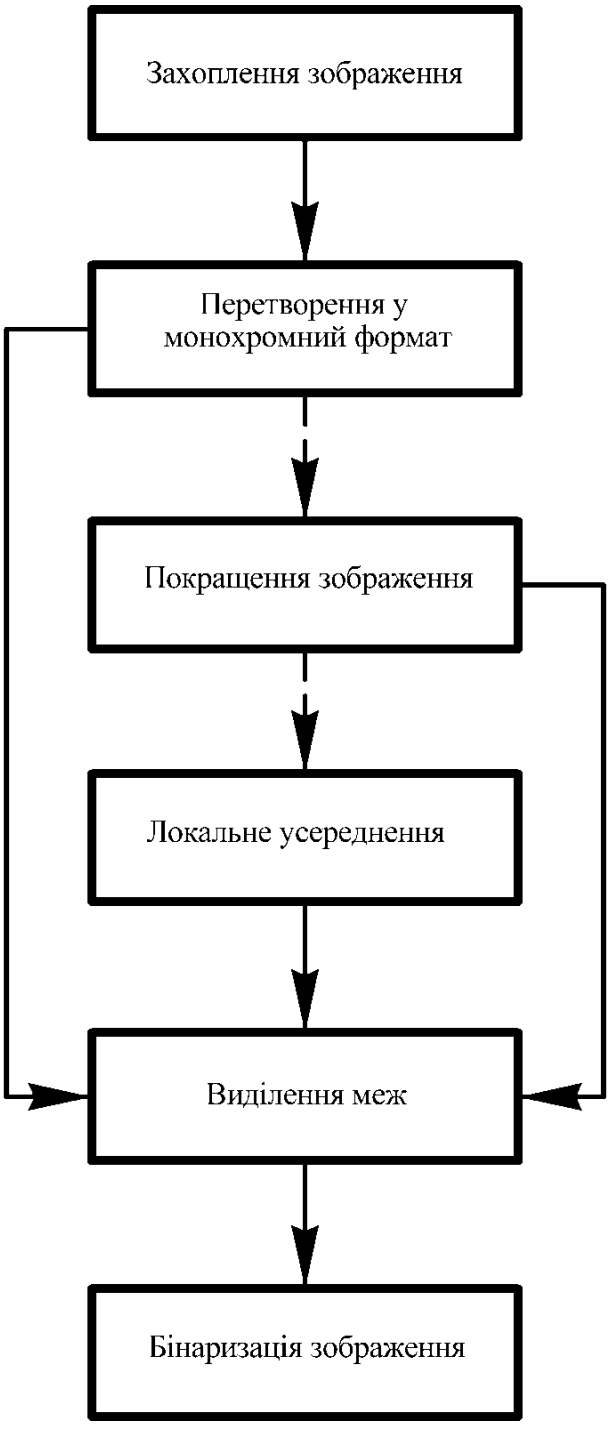


Рисунок 4 – Алгоритм цифрової обробки захопленого RGB-зображення

При перетворені монохромного зображення у бінарне програмний додаток використовує операцію відсікання за порогом яскравості. Якщо яскравість пікселя менше визначеного порогу, то його відносимо до області фону, в іншому випадку – до області об'єкта:

$$G(x,y)=\begin{cases}0, \text{ якщо } F(x,y)<T,\\ 1, \text{ якщо } F(x,y)\geq T,\end{cases} \quad (1)$$

де $G(x,y)$ – перетворена яскравість пікселя з координатами x, y; $F(x,y)$ – вихідна яскравість того ж пікселя; T – поріг яскравості. Операція бінаризації реалізується за допомогою функції

```
g=im2bw(f, T),
```

де `T` задається в межах [0, 1,0] [14, 15].

Алгоритм цифрової обробки завершується створенням матриць даних монохромного та бінарного зображень розмірністю, що відповідає встановленій роздільній здатності веб-камери.

На рис. 5 представлено етапи цифрової обробки зображення коливання полімерного стрижня: 1 – RGB-зображення, 2 – монохромний формат, 3 – покращення зображення за допомогою функції `imadjust()`, 4 – виділення меж зразка як об'єкта зображення, 5 – бінарне зображення.

Після цифрової обробки будуємо базові лінії: вертикальну і горизонтальну, що визначають стовбець і рядок матриці даних для реалізації алгоритму визначення амплітуди коливань (рис. 2).

Алгоритм визначення амплітуди коливань базується на визначенні правої і лівої меж області на встановленій базовій горизонтальній лінії із значенням пікселей рівними одиниці відносно вертикальної базової лінії. Лінійний розмір області в такому випадку рівний значенню $2A$.

Крім визначення лівої та правої меж алгоритм передбачає корегування вертикальної базової лінії – номер стовпця матриці даних.

Процес вимірювання починається із підбору f_r коливань, яка залежить від формфактора зразка (відношення довжини l до товщини d) [3], захоплення зображення, визначення, за необхідності, методу покращення зображення та встановлення параметрів необхідних фільтрів цифрової обробки.

На наступному кроці програмний додаток «Резонансні вимірювання» повністю автоматизує процес у визначеному частотному діапазоні при встановлених методах та параметрах фільтрів цифрової обробки зображення.



Рисунок 5 – Етапи цифрової обробки захопленого RGB-зображення

При кожній встановленій частоті генератора проводиться захоплення RGB-зображення, його цифрова обробка та визначається амплітуда коливань в реальному часі. За сукупністю вимірювань будується резонансна крива відносної амплітуди коливань вільного кінця полімерного зразка від частоти збудження. На рис. 6 представлена резонансна крива для зразка конструкційного полівінілхлориду (ПВХ) марки PVC-SAW при температурі 298 К. Зразок ПВХ був виготовлений у вигляді стрижня розміром: l = 30 мм, d = 0,74 мм та шириною 5 мм.

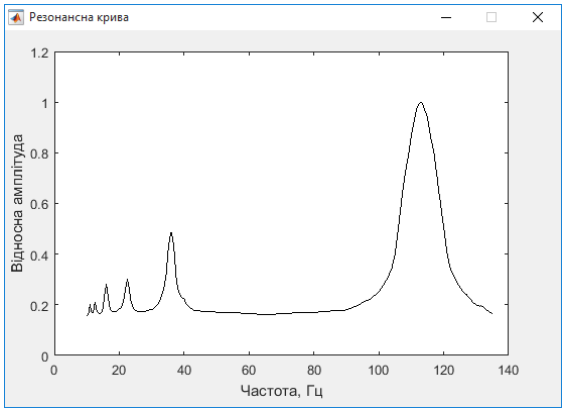


Рисунок 6 – Резонансна крива відносної амплітуди коливань зразка ПВХ

Відносну похибку (ε_A) амплітуди резонансних коливань A оцінювали за наступними співвідношенням:

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta N}{N}, \qquad (2)$$

де ΔN – кількість пікселей при визначені межі області коливання зразка у бінарному зображенні при резонансній частоті, N – кількість пікселей області коливання зразка на встановленій горизонтальній базовій лінії у бінарному зображенні при резонансній частоті.

Для зразка ПВХ на f_r (рис. 2) велична N дорівнює 221 піксель. При ΔN = 2 значення ε_A дорівнює 0,9 %. При цьому, точність вимірювання величини A на основній резонансній частоті із використанням алгоритмів аналізу зображення та визначення амплітуди коливань в роботі [3] не перевищує 2 %. При інших резонансних частотах значення ε_A буде зростати відповідно із зменшенням відносної амплітуди коливань.

Висновки

1. Запропонований алгоритм керування апаратними засобами в інформаційно-вимірювальній системі розширює можливості автоматизації процесу вимірювання амплітуди у методі зсувних коливань вільного кінця закріпленого зразка.

2. Реалізований в системі MATLAB алгоритм отримання зображень коливання зразка при зміні частоти його збудження та алгоритми циф-

рової обробки та аналізу зображення дає можливість компенсувати небажані завади при визначенні лінійних розмірів області бінарного зображення, що відповідає амплітуді коливань вільного кінця зразка на визначеній горизонтальній базовій лінії.

3. Комплексний підхід до автоматизації процесу вимірювання з використанням запропонованих алгоритмів вперше дозволив отримати значення відносної амплітуди від частоти збудження коливань зразка полівінілхлориду з більшою точністю на основній резонансній частоті у порівнянні із існуючими методиками.

Список використаних джерел

1. Ferry J. D. Viscoelastic properties of polymers. – New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, INC, 1980.

2. Gamboa F., López A, Avilés F., Corona J. E., Oliva A. I. A vibrating reed apparatus to measure the natural frequency of multilayered thin films. Measurement Science and Technology. 2016. V. 27, No 4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://iopscience.iop.org/issue/ 0957-0233/27/4.

3. Mashchenko V., Krivtsov V., Kvasnikov V., Drevetskiy V. Determination of Young's dynamic module of polymer materials by resonance vibrating-reed method // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska. – 2019. – Vol. 9. – No 4. – P. 34–37. DOI: 10.35784/IAPGOS.244.

4. Umbaugh S. E. Digital Image Processing and Analysis Applications with MATLAB and CVIPtools. – Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2018. – 861 p.

5. Russ J. C., Neal F. B. The Image Processing Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2018.

6. Гундин А. А. Обработка цифровых изображений при дефектоскопии поверхностей промышленных объектов / А. А. Гундин, М. А. Гундина, А. Н. Чешкин // Наука и техника. – 2016. – Т. 15. – № 3. – С. 225–232. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-3-225–232.

7. Singh M. K., Chetia S. Detection and Classification of Plant Leaf Diseases in Image Processing using MATLAB // International Journal of Life Sciences Research. – 2017. – Vol. 5. – Iss. 4. – P. 120–124.

8. Swaminathan R., Meyyappan T. Digital Image Filtering in Transform Domain using MATLAB // International Journal of Computer Applications (0975–8887). – 2017. – V. 158. – No 2. – P. 27–30.

9. Singh P. P., Singh R., Gupta B. Basic Image Processing Toolbox Functions in MATLAB for Implementation of Image Enhancement Application GUI // International Journal of Engineering Science and Computin. – 2016. – V. 6. – No 4. – P. 3945–3957.

10. Белоус Н. В. Выравнивание яркости фона изображений текстовых знаков с использованием высокочастотного фильтра / Н. В. Белоус, В. П. Власенко, А. И. Красов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Мат. моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2018. – Вип. 37. – С. 5–19.

11. Sahgal D. Real-Time Vehicle Queue Detection at Urban Traffic Intersection using Image Processing / D. Sahgal, A. Ramesh, M. Parida // International Journal of Engineering Science and Generic Research. – 2018. – V. 4. – Iss. 2. – P. 12–15.

12. Rao B. J. Implementation of Image Processing Techniques using LabVIEW and MATLAB // CVR Jornal of Science and Technology. – 2018. – V. 15. – P. 51–55.

13. USB Instrument Control Tutorial [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ni.com (25.11.2019).

14. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – Москва: Техносфера, 2006. – 616 с.

15. Image Processing Toolbox [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mathworks.com/products/image.html (25.11.2019).

References

1. Ferry J. D. Viscoelastic properties of polymers. – New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, INC, 1980.

2. Gamboa F., López A, Avilés F., Corona J. E., Oliva A. I. A vibrating reed apparatus to measure the natural frequency of multilayered thin films. Measurement Science and Technology. 2016, V. 27, No 4. – [Electronic resource]. – Access mode: https://iopscience.iop.org/issue/ 0957-0233/27/4.

3. Mashchenko V., Krivtsov V., Kvasnikov V., Drevetskiy V. Determination of Young's dynamic module of polymer materials by resonance vibrating-reed method // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska // 2019. – Vol. 9. – No 4. – P. 34–37. DOI: 10.35784/IAPGOS.244.

4. Umbaugh S. E. Digital Image Processing and Analysis Applications with MATLAB and CVIPtools. – Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2018. – 861 p.

5. Russ J. C., Neal F. B. The Image Processing Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2018.

6. Gundin A. A. Digital image processing dur-

ing flaw detection of surfaces of industrial objects / A. A. Gundin, M. A. Gundina, A. N. Cheshkin // Science and Technology. – 2016. – V. 15. – N. 3. – P. 225–232. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-3-225–232.

7. Singh M. K., Chetia S. Detection and Classification of Plant Leaf Diseases in Image Processing using MATLAB // International Journal of Life Sciences Research. – 2017. – Vol. 5. – Iss. 4. – P. 120–124.

8. Swaminathan R., Meyyappan T. Digital Image Filtering in Transform Domain using MATLAB // International Journal of Computer Applications (0975–8887). – 2017. – V. 158. – No 2. – P. 27–30.

9. Singh P. P., Singh R., Gupta B. Basic Image Processing Toolbox Functions in MATLAB for Implementation of Image Enhancement Application GUI // International Journal of Engineering Science and Computin. – 2016. – V. 6. – No 4. – P. 3945–3957.

10. Belous N. V. Aligning the background brightness of text character images with the use of a high-frequency filter / N. V. Belous, V. P. Vlasenko, A. I. Krasov // Bulletin of the Karazin Kharkiv National University. Mat. modeling. Information Technology. Automated control systems. – 2018. – Iss. 37. – P. 5–19.

11. Sahgal D. Real-Time Vehicle Queue Detection at Urban Traffic Intersection using Image Processing / D. Sahgal, A. Ramesh, M. Parida // International Journal of Engineering Science and Generic Research. – 2018. – V. 4. – Iss. 2. – P. 12–15.

12. Rao B. J. Implementation of Image Processing Techniques using LabVIEW and MATLAB // CVR Jornal of Science and Technology. – 2018. – V. 15. – P. 51–55.

13. USB Instrument Control Tutorial [Electronic resource]. – Access mode: https://www.ni.com (25.11.2019).

14. Gonzalez R. Digital image processing in MATLAB / R. Gonzalez, R. Woods, S. Eddins. – Moscow: Technosphere, 2006. – 616 p.

15. Image Processing Toolbox [Electronic resource]. – Access mode: https://www.mathworks.com/products/image.html (25.11.2019).

Надійшла до редакції 30.10.2019

УДК 621.396.6:621.317

Г. Д. Братченко, д.т.н., **Г. Г. Смаглюк, І. С. Сенів, Д. І. Орел**

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Україна

ВИМІРЮВАННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ БЛИСКУЧИХ ТОЧОК ЦІЛІ В ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНІЙ РЛС З ІСА ЗА УМОВ СКОШЕНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Розраховані залежності методичної похибки вимірювань просторових координат блискучих точок (БТ) при відновленні тривимірного радіозображення цілі за умов скошеного спостереження в інтерферометричному радіолокаторі з інверсним синтезуванням апертури. Розрахунки проведені для конкретних умов спостереження цілі на прикладі вимірювання висоти БТ для цілі, яка знаходиться в дальній зоні спостереження. Запропоновано уточнене співвідношення для розрахунку просторових координат БТ з урахуванням моделі скошеного спостереження. Співвідношення для розрахунку висоти також перевірено методом імітаційного моделювання. Отримано теоретичні залежності для оцінки середнього квадратичного відхилення (СКВ) результатів вимірювань координат БТ при різних кутах скосу. Представлені розрахункові залежності СКВ результатів вимірювань висоти БТ для двох варіантів L-конфігурації з розташування приймальних антен.

Ключові слова: *інтерферометрична РЛС з інверсним синтезуванням апертури, фазовий (інтерферометричний) метод вимірювань, тривимірне радіозображення, скошена модель спостереження, відношення сигнал-шум, методична похибка, середнє квадратичне відхилення.*

Г. Д. Братченко, д.т.н., **Г. Г. Смаглюк, И. С. Сенива, Д. И. Орел**

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТОРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ БЛЕСТЯЩИХ ТОЧЕК ЦЕЛИ В ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ РЛС С ИСА ПРИ СКОШЕННОМ НАБЛЮДЕНИИ

Рассчитаны зависимости методической погрешности измерений пространственных координат блестящих точек (БТ) при восстановлении трехмерного радиоизображения (РИ) цели для условий скошенного наблюдения в интерферометрическом радиолокаторе с инверсным синтезированием апертуры. Расчеты проведены для конкретных условий наблюдения цели на примере измерения вы-

соты БТ для цели находящейся в дальней зоне наблюдения. Предложено уточненное соотношение для расчета пространственных координат БТ с учетом модели скошенного наблюдения. Соотношение для расчета высоты также проверено методом имитационного моделирования. Получены теоретические зависимости для оценки среднего квадратического отклонения (СКО) результатов измерений координат БТ при различных углах скоса. Представлены расчетные зависимости СКО результатов измерения высоты БТ для двух вариантов L-конфигурации расположения приемных антенн.

Ключевые слова: *интерферометрическая РЛС с инверсным синтезированием апертуры, фазовый (интерферометрический) метод измерений, трехмерное радиоизображение, скошенная модель наблюдения, отношение сигнал-шум, методическая погрешность, среднее квадратическое отклонение.*

H. D. Bratchenko, Dsc, **H. H. Smaglyuk, I. S. Seniva, D. I. Orel**

3D POSITION MEASUREMENT OF TARGET'S SCATTERRERS IN INTERFEROMETRIC ISAR FOR SQUINT MODEL

The restoration of 3D images of targets in the interferometric inverse synthetic aperture radars (InISAR) has been the subject of research for nearly two decades. Antennas arranged in height and horizontally are used for phase (interferometric) measurements and for adjusting the cross-range of scatterers separated by using ISAR with the broadband probing signal. In the case of an electronic beam scanning, it is possible the "squint model" of observation. This leads to additional errors.

A computational model is proposed that reproduces the geometric conditions of the target observation for two L-shape configurations of three receiving antennas in the InISAR. The model allows calculating the error of the method of measurement for the whole range of possible squint angles in the vertical and horizontal planes. The calculated dependences of the error of the method of measurement of the scatterers coordinates in the restored three-dimensional InISAR images of the targets under conditions of the squint observation model are obtained. The capabilities of the model are illustrated by calculations for specific observation conditions using the example of measuring the scatterer height, provided that the target is observed in the far-field region. The refined formula for the calculation of the height and other spatial coordinates of the scatterer, which takes into account the squint model of observation, is proposed. Results with similar order of errors also occur for measuring other spatial coordinates of the scatterer. The performance of the ratio for the calculation of altitude was also tested by simulation for the 5-point scatterer target model. Theoretical dependences were also obtained for the standard deviation (SD) estimation of the results of measurements of scatterer's coordinates at different squint angles in the vertical and horizontal planes at a fixed signal-to-noise ratio. The calculated dependencies for the SD of the results of measuring the height of the scatterer for two variants of the L-shape configurations of the receiving antennas are obtained. Recommendations are given on the possibility of combining these configurations to improve the accuracy of the measurement results.

Keywords*: interferometric inverse synthetic aperture radar (InISAR), phase (interferometric) method of measurement, three-dimensional radar image, squint model, signal-to-noise ratio, standard deviation, the error of method of measurement.*

DOI 10.32684/2412-5288-2019-2-15-57-66

Вступ

Одновимірні, двовимірні та тривимірні радіолокаційні зображення (радіозображення) (РЗ) об’єктів можуть бути використані з метою визначення їх класу (типу) на великих відстанях та в умовах поганої метеорологічної видимості [1]. Чим краще визначено форму об’єкта, тим більшу ймовірність його розпізнавання слід очікувати. Отримання розподілу відбивальних властивостей об’єктів також є важливим для дослідження проблеми зменшення або збільшення радіолокаційної помітності цілей. Тривимірне РЗ є просторовим розподілом блискучих точок (БТ) цілі, який відповідає формі об’єкта на відповідному ракурсі спостереження. Тому порівняно з одновимірними радіолокаційними дальнісними портретами (РЛДП) та з двовимірними РЗ воно може бути більш надійною ознакою розпізнавання. В той же час точність вимірювання координат БТ залежить від умов спостереження цілі та обмежень методу відновлення тривимірного РЗ, які потребують урахування для вірної інтерпретації ре-

зультатів.

Аналіз останніх публікацій та досягнень

Останні два десятиріччя активно досліджуються можливості відновлення тривимірних РЗ в радіолокаційних станціях (РЛС) з інверсним синтезуванням апертури (ІСА) за рахунок фазових вимірювань при застосуванні рознесених у просторі додаткових антен, які можуть бути тільки приймальними або ж також випромінювати ортогональні сигнали [2-17]. Такі локатори отримали назву інтерферометричних РЛС з ІСА (InISAR – interferometric inverse synthetic aperture radar). Для РЛС з ІСА є характерним вимірювання координат тільки для окремих блискучих точок (БТ) на об'єкті. Це пов'язано з чутливістю фазових вимірювань до впливу шумових завад. Крім цього, у разі електронного сканування променем антени має місце, так звана, «модель скошеного спостереження» (squint model), яка також може погіршити точність вимірювання координат БТ [6, 8, 9, 11-14]. В обзорі [8] показано наявність додаткової складової фази, яка призводить до зростання похибок вимірювання при скошеному спостереженні. Підкреслюється, що зміна фази для кожної БТ є різною, а її закон є складним. Для усунення складової методичної похибки в такій ситуації аналізуються кілька відомих методів. Так, в [6] запропоновано алгоритм обчислення тривимірних координат БТ на цілі за умов скошеного спостереження, в якому прийняті наближення щодо знаходження цілі малого розміру в дальній зоні, а також незначне її переміщення в напрямку лінії візірування за час спостереження. Застосовані в [6] наближення щодо похилої дальності до цілі суттєво не впливають на результат відновлення тривмірних координат БТ. Вони отримуються в системі координат, вісі якої спрямовані паралельно осям наземної системи координат. Результати імітаційного моделювання для точкової моделі цілі якісно підтвердили добрий збіг координат значної кількості БТ з розміщенням точок в моделі за умови, що вектор напрямку візування цілі є апріорі відомим. В [6], однак, відсутні чисельні оцінки відповідності координат БТ їх розміщенню в моделі.

В [11, 12] для вирішення проблеми спотворення результатів вимірювань координат БТ в горизонтальній площині в моделі скошеного спостереження зроблено спробу більш точного урахування наявної методичної похибки та її усунення. Для цього застосовується нелінійна ітераційна процедура оптимізації за критерієм найменшої квадратичної відстані (НКВ). Як і в [6], застосовується L-конфігурація з трьох антен, що розташовуються в горизонтальній площині. Для пошуку висоти БТ застосовується перетворення координат за результатом вимірювання похилої дальності БТ із застосоуванням широкосмугового сигналу з відповідною роздільною здатністю та координати кута місця та азимуту цілі, які вважаються відомими. Тобто фактично, як і в [6], вектор візування цілі вважається відомим. Застосування процедури НКВ оптимізації за результатами вимірювань різниць фаз окремих БТ дозволяє отримати якісні тирвимірні РЗ. В той же час наведені приклади не дають можливості визначити вплив методичної похибки порівняно з іншими складовими. З [12] не ясно, який виграш щодо точності відновлення координат БТ дає запропонований метод порівняно з [6].

В [13, 14] запропоновано ітераційний метод відновлення РЗ, який має приблизно такі ж характеристики з точності вімірюванняя координат БТ, як й ітераційний алгоритм в [12], але за менших обчислювальних витрат.

В [9] вказується на необхідність у разі скошеної моделі спостереження проектувати площину антени InISAR на площину перпендикулярну до лінії візирування. Наведені співвідношення, що застосовуються для розрахунку координат БТ фазовим методом з урахуванням поправок до розташування фазових центрів антен. Представлені в [9] результати імітаційного моделювання за умов скошеного спостереження

В розглянутих вище роботах дослідження виконувались для двух варантів L-конфігурації приймальних антен: всі три антени розміщені в горизонтальній площині та дві антени в горизонтальній площині і одна у вертикальній. Обидві ці конфігурації застосовуються для спостереження повітряних цілей. Тому представляє інтерес оцінити можливі переваги тої чи іншої залежно від умов скошеного спостереження цілей. У розглянутих вище роботах також не представлено теоретичних оцінок методичної похибки в залежності від кута скосу і розташування БТ відносно опорної.

В [10] була запропонована методика та отримане теоретичне співвідношення для оцінювання СКВ результатів вимірювань висоти БТ. Однак в цьому співвідношенні не враховувалась модель скошеного спостереження. Отримані в [10] результати імітаційного моделювання вимірювання висоти БТ не відповідають дійсним її значенням з наближенням цілі до РЛС, тобто за умов скошеного спостереження, и потребують уточнення.

Метою роботи є отримання оцінок методичної похибки вимірювань просторових координат БТ при відновленні тривимірного РЗ, а також теоретичних співвідношень для оцінки середнього квадратичного відхилення (СКВ) результатів

вимірювань координат БТ за умов скошеного спостереження для двох варіантів L-конфігурації розташування приймальних антен.

Викладення основного матеріалу

Розглянемо задачу відновлення тривимірних РЗ в інтерферометричній РЛС з ІСА.

В РЛС з ІСА при рівномірному прямолінійному русі цілі з відомим напрямом і швидкістю руху потрібна роздільна здатність у напрямку поперечному до лінії візирування забезпечується вибором часу спостереження. За цей час ціль розвертається на кут $\Delta\theta$, і роздільна здатність складає [18]

$$\delta R_n = \frac{\lambda}{2\Delta\theta}, \qquad (1)$$

де λ – довжина хвилі РЛС.

Роздільна здатність у напрямку лінії візирування визначається співвідношенням [19]

$$\delta R = \frac{c}{2\Pi_{\text{еф}}}, \qquad (2)$$

де c – швидкість поширення електромагнітних хвиль;

$\Pi_{\text{еф}}$ – ефективна ширина спектру сигналу, яка у випадку застосування зондувальних широкосмугових лінійно-частотно-модульованих (ЛЧМ) радіоімпульсів приблизно дорівнює девіації частоти Δf.

Для вимірювання третьої координати (висоти) розділених у площині БТ може бути застосований фазовий метод вимірювання. Для цього принципово достатньо мати один додатковий приймальний канал з антеною піднятою за висотою відносно приймально-передавальної антени. В той же час, якщо масштаб двовимірного РЗ за поперечною дальністю точно не відомий, координата БТ може бути уточнена фазовим методом вимірювань при введенні додаткового приймального каналу з антеною, що рознесена по відношенню приймально-передавальної в напрямку поперечної дальності. Така L-конфігурація досліджуваласть, наприклад в [9] для отримання тривимірних РЗ повітряних і надводних цілей. В роботах [6, 11-14] досліджено L-конфігурацію з трьох антен в горизонтальній площині для спостереження космічних та повітряних цілей. У будь-якому разі потрапляння двох і більше БТ в один елемент розділення на двовимірному РЗ призводить до неможливості коректного вимірювання фаз окремих БТ (так званий glint effect). Така ситуація в представленій роботі не розглядається. Дослідження точності вимірювання просторових координат стосується лише ізольованих БТ в елементі розділення.

Оскільки фазові вимірювання для окремих приймальних каналів виконуються незалежно, розглянемо спочатку випадок «скошеного спостереження» цілі у вертикальній площині. Тобто ціль рухається уздовж вісі координат *OZ*, а її спостереження розпочинається в момент часу, коли відрізок, що поєднує дві антени лежить в площині *xoy* (рис. 1). Кут азимуту в такому випадку $\beta = 0$. При цьому умови спостереження дозволяють вважати, що ціль перебуває в дальній зоні. За таких умов є прийнятним наближення щодо паралельності променів антен 1 і 2 у напрямку опорної БТ 2. Фаза опорної БТ зазвичай дорівнює 0 в усіх приймальних каналах, тому антени 1 і 2 відносно БТ 2 мають бути розташовані на однаковій відстані R_0, яка на рис. 1 відраховується від точки посередині між антенами 1 і 2. При куті місця цілі ε, який в цьому випадку є кутом «скошеного спостереження», відстань між антенами фактично складе $h_a\cos\varepsilon$ замість вихідної відстані h_a (рис. 1).

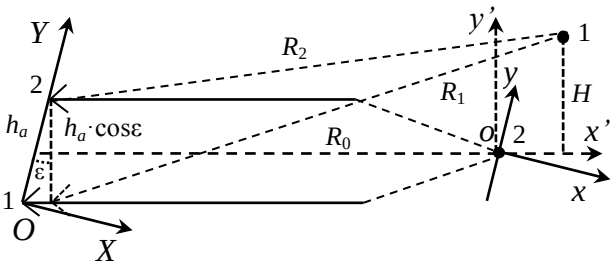


Рисунок 1 – Спостереження двох БТ двома антенами у вертикальній площині

З урахуванням прийнятого наближення порівняно з виразом для обчислення висоти БТ 1, що не враховує модель скошеного спостереження [10, 13], маємо

$$H = \frac{\lambda(\varphi_1 - \varphi_2)}{2\pi}\,\frac{(R_1 + R_2)}{2h_a\cos\varepsilon}, \qquad (3)$$

де H – висота БТ 1;

φ_1 та φ_2 – виміряні початкові фази БТ для РЗ отриманих від першого та другого елементів антени;

R_1 та R_2 – відстані від першої та другої антен до БТ 1 вздовж лінії візирування.

Корегування співвідношення для оцінки висоти БТ 1 полягає, таким чином, у діленні відомого співвідношення на косинус кута місця ε. Для порівняння виміряних згідно співвідношення

(3) та за рахунок високого розділення уздовж лінії візирування спрямованої уздовж осі *ox'* координат БТ 1 в системі координат *x'oy'* з відомими її координатами в системі координат *xoy* потрібно виконати поворот осей системи *x'oy'* по годинниковій стрілці на кут ε із застосуванням матриці повороту

$$M(\varepsilon)=\begin{pmatrix}\cos\varepsilon & \sin\varepsilon\\ -\sin\varepsilon & \cos\varepsilon\end{pmatrix}.$$

У вихідному положенні системи координат *xoy* вісь *oy* спрямована вертикально, тоді як вісь *ox* – горизонтально (рис. 1).

Графіки на рис. 2, б ілюструють суттєве зменшення методичної похибки при скошеному спостереженні цілі із застосуванням співвідношення (3) порівняно з випадком, коли не враховується кут скосу (рис. 2, а).

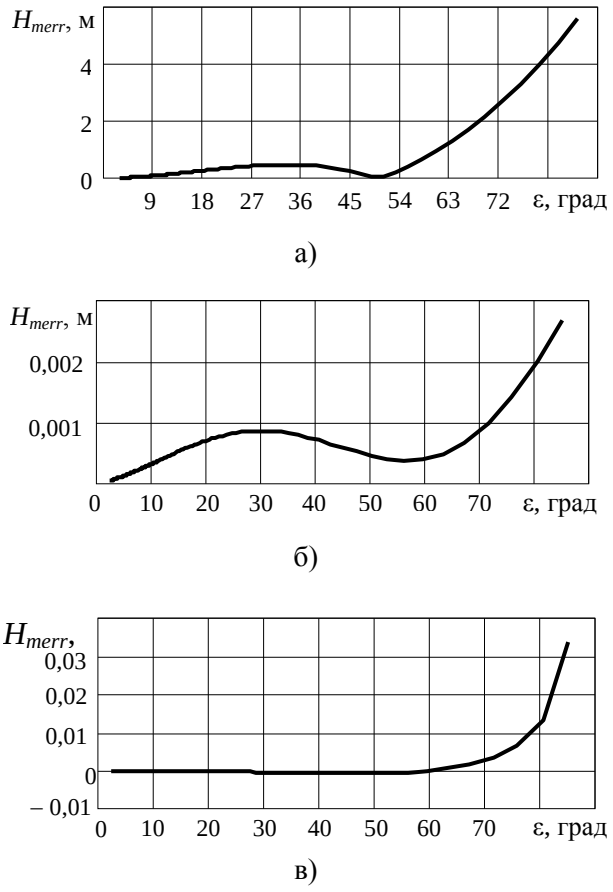


Рисунок 2 – Розрахункові залежності методичної похибки результатів вимірювань висоти БТ в залежності від кута місця цілі: без урахування кута скосу (а); згідно співвідношення (3) з порівнянням в системі координат *xoy* (б) та в системі координат *x'oy'* (в)

Графіки побудовані за умови, що БТ 1 має координати (6,43, 7,66) м в системі координат *xoy*, тобто довжина радіус-вектора ρ від т. *o* до БТ 1 складає 10 м. Зміна кута місця в межах від 85,236 до 2,291 градусів забезпечується для дальностей спостереження цілі уздовж горизонтальної площини від 0,5 до 150 км та висоті її польоту 8 км. Відстань між приймальними антенами складала h_a = 1,75 м.

Порівняння висоти БТ 1 з очікуваним її значенням може бути також виконане в системі координат *x'oy'*. Вихідні координати БТ 1 в системі координат *x'oy'* у цьому випадку обчислюються шляхом повороту системи координат *xoy* із застосуванням матриці $M^T(\varepsilon)$, де ^{T} – є знаком транспонування. Результат розрахунку в середовищі MathCad поданий на рис. 2, в показує дещо більші відилення результатів вимірювання висоти при великих кутах місця порівняно з рис. 2, б, але менші при малих кутах місця. У будь-якому з цих випадків методична похибка при кутах місця менших за 65 градусів складає долі міліметра. При збільшенні довжини радіус-вектора ρ значення похибки при куті місця 85,236 градусів зростає приблизно за квадратичним законом.

Отримані результати імітаційного моделювання, які підтвердили працездатність співвідношення (3) та дозволили уточнити результати моделювання представлені в [10]. Модель вторинного випромінювання, яка застосовується при імітаційному моделюванні, складається з п'яти ізотропних точкових відбивачів на поверхні та в геометричному центрі куба з ребром 16 м. Дві БТ розміщуються на ближній до РЛС грані у вершинах нижнього ребра, дві у вершинах верхнього ребра на протилежній грані та одна БТ – в його геометричному центрі. На рис. 3 представлені графіки для восьми значень відстані до цілі уздовж горизонтальної площини: 16, 24, 32, 48, 64, 80, 96 та 112 км при висоті польоту цілі 8 км на ракурсі її спостереження близькому до 90º. Відношення сигнал-шум при моделюванні задавалось рівним близько 100 дБ на один РЛДП цілі.

З графіків на рис. 3 видно, що теоретична та отримана методом імітаційного моделювання криві є близькими на всіх відстанях спостереження цілі. Максимальне відхилення складає близько 9 см, що пояснюється наявністю додаткової похибки за рахунок не точного суміщення максимумів піків на зображеннях в двох приймальних каналах при роздільній здатності лінійно-частотно-модульованого (ЛЧМ) сигналу близько 1 м. Середнє значення відхилення складає близько 3 см.

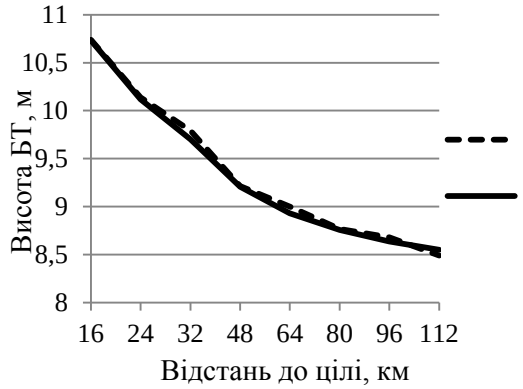


Рисунок 3 – Залежності висоти БТ 1 відносно лінії візирування від відстані до радіолокатора (1 – результати імітаційного моделювання вимірювань, 2 – теоретичні розрахунки [10])

Таким чином, методична похибка вимірювання висоти БТ при скошеному спостереженні згідно співвідношення (3) може бути прийнятною для більшої частини діапазону кутів скосу.

В той же, на відміну від отриманого в [10] співвідношення для оцінки СКВ результатів вимірювань висоти

$$\sigma_H = \frac{\lambda\sqrt{2}}{4\cdot\pi\cdot h_a}\cdot\sqrt{\sigma_\varphi^2\cdot\left(R_2+R_1\right)^2+\sigma_R^2\cdot\left(\varphi_2-\varphi_1\right)^2}\,, \quad (4)$$

де σ_φ та σ_R – СКВ результатів вимірювань фази та дальності уздовж лінії візирування відповідно, з урахуванням СКВ результатів вимірювань кута місця за методикою, яка описана [10], отримаємо

$$\sigma_{H1}^2 = \frac{\sigma_H^2}{\cos^2\varepsilon}+\left(\frac{\lambda}{4\cdot\pi\cdot h_a\cdot\cos\varepsilon}\right)^2\times \quad (5)$$
$$\times\left(R_2+R_1\right)^2\cdot\left(\varphi_1-\varphi_2\right)^2\cdot\sigma_\varepsilon^2\cdot\mathrm{tg}^2\varepsilon,$$

де σ_{H1} – СКВ результатів вимірювань висоти БТ при скошеному спостереженні згідно співвідношення (3);

σ_ε – СКВ результатів вимірювань кута місця цілі.

В подальших розрахунках σ_φ та σ_R обчислюються за тими ж співвідношеннями, що й в [10]. Середнє квадратичне відхилення σ_ε задається згідно співвідношення для обчислення потенційної точності вимірювань для антенної решітки з двох елементів [19]

$$\sigma_\varepsilon = \frac{1}{q l_{\text{еф норм}}}, \quad (6)$$

де $l_{\text{еф норм}} = \pi\cdot\frac{h_a}{\lambda}\cdot\left|\cos\varepsilon\right|$ – нормована по відношенню до довжини хвилі ефективна довжина антенного розкриву.

У разі виконання повороту системи координат *x'oy'* висота БТ 1 визначена в системі координат *xoy* матиме вигляд

$$H_\varepsilon = R\sin\varepsilon + H_0, \quad (7)$$

де R – проекція радіус-вектора $\vec{\rho}$ на лінію візирування: $R=\vec{r}_0\vec{\rho}$, $\vec{r}_0$ – одиничний вектор лінії візирування у напрямку БТ 2.

$H_0 = H\cos\varepsilon$ – висота БТ без урахування кута скосу.

Згідно з формулою (7) отримаємо дисперсію результатів вимірювання висоти БТ

$$\sigma_{H_\varepsilon}^2 = \sigma_H^2+\sigma_R^2\sin^2\varepsilon+\sigma_\varepsilon^2\cdot R^2\cdot\cos^2\varepsilon, \quad (8)$$

де σ_{H_ε} – СКВ результатів вимірювань висоти БТ в системі координат *xoy*.

На рис. 4 представлені теоретичні залежності побудовані за формулами (4), (5) та (8) при відношенні сигнал/шум близько 60 дБ для окремої БТ. Як і в [10], розрахунки виконані за умови застосування в РЛС зондувального ЛЧМ сигналу з девіацією частоти 150 МГц. Умови спостереження цілі такі ж як і при отриманні графіків на рис. 2.

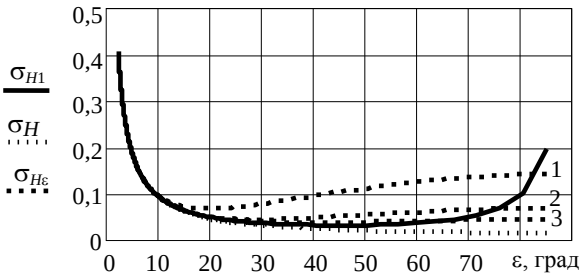


Рисунок 4 – Теоретичні залежності СКВ результатів вимірювання висоти БТ 1 в метрах (криві $\sigma_{H\varepsilon}$ для дискретності відліків по дальності: 1 – 0,5 м; 2 – 0,25 м; 3 – 0,125 м)

З рис. 4 видно, що випадкова складова похибки вимірювань є найбільшою при малих кутах місця (скосу). Вона також зростає при кутах місця більших за 70 градусів у випадку вимірювання висоти БТ згідно співвідношення (3), СКВ результатів вимірювань σ_{H1}.

Найбільшу частку у всіх трьох випадках вносить складова СКВ, пов'язана з СКВ резуль-

татів вимірювань фаз σ_φ (4).

При застосуванні трьох приймальних антен, які утворюють L-конфігурацію у вертикальній площині з'являється додаткова можливість вимірювання поперечної дальності БТ фазовим методом. Третя антена відстоїть від антени 1 у напрямку осі *OZ*, яка утворює з осями *OX* та *OY* (рис. 1) правосторонню систему координат, на відстань h_g. На рис. 1 вісь *OZ* не показано. Співвідношення для визначення поперечної дальності є подібним до (3)

$$Z_{BP} = \frac{\lambda(\varphi_1 - \varphi_3)}{2\pi} \frac{(R_1 + R_3)}{2h_g \cos\beta}, \qquad (9)$$

де β – кут азимуту, на якому спостерігається ціль, який відраховується від осі *OX* по часовій стрілці в площині *XOZ*;

φ_3 та R_3 – виміряна початкова фаза БТ 1 для РЗ отриманого в приймальному каналі третьої антени та відстань цієї антени до БТ 1 вздовж лінії візирування відповідно.

Результати розрахунків σ_{Z1} у порівнянні з σ_{H1} представлені на рис. 5 отримані згідно співвідношення подібного до (4) та (5) із заміною кута ε на β та виміряної фази φ_2 на φ_3 та R_2 на R_3 також при відношенні сигнал/шум 60 дБ.

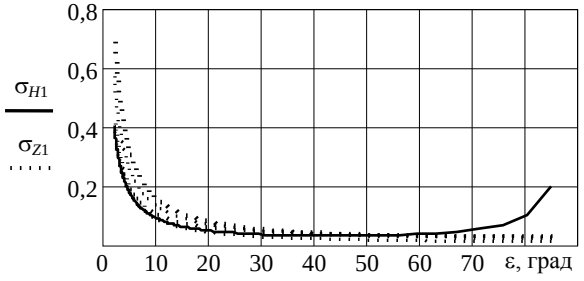


Рисунок 5 – Теоретичні залежності СКВ результатів вимірювання висоти БТ 1: суцільна крива σ_{H1} така ж, як на рис. 3; крапкові криві σ_{Z1} для кутів β: 0º; 15º; 45º та 55º

Як видно з рис. 5, СКВ зростає при збільшенні кута скосу β в горизонтальній площині при спостереженні цілі й більш суттєво на малих кутах місця (приблизно в 1,74 рази при β = 55º). В той же час на кутах місця більших за 45º σ_{Z1} є меншою, ніж при вимірюванні висоти БТ згідно (3). Зменшення СКВ при вимірюванні можливе за рахунок збільшення відстані між антенами з урахуванням умови однозначного вимірювання різниці фаз [6].

Вимірювання висоти БТ можливо виконувати при розташуванні антен у вигляді L-конфігурації в горизонтальній площині [6, 11-14]. Координата *y* БТ в цьому випадку обчислюється за результатами вимірювань координат *x*, *z*, вектора $\vec{r}_0$ та проекції радіус-вектора $\vec{\rho}$ на лінію візирування R. Рішення, що отримується з рівняння $R = \vec{r}_0\vec{\rho}$, в якому $\vec{r}_0 = \left(\cos\varepsilon\cdot\cos\beta \quad \sin\varepsilon \quad \cos\varepsilon\cdot\sin\beta\right)^T$ і $\vec{\rho} = \left(x \quad y \quad z\right)^T$, має вигляд

$$H_\beta = R/\sin\varepsilon - R\cos\varepsilon\cdot\operatorname{ctg}\varepsilon - \\ -\left(Z_{BP}\cos\beta + X_{BP}\sin\beta\right)\operatorname{ctg}\varepsilon\cdot\sin\beta, \qquad (10)$$

де H_β – висота БТ 1 (координата *y*);

$X_{BP} = \frac{\lambda(\varphi_1 - \varphi_4)}{2\pi} \frac{(R_1 + R_4)}{2h_x \sin\beta}$ – результат вимірювання координати *x* БТ 1 із застосування додаткової антени, яка відстоїть від антени 1 на відстань h_x уздовж осі *OX* (рис. 1).

Співвідношення для обчислення СКВ H_β згідно з (10) легко отримати за тією ж методикою, що наведена в [10]. Воно, однак, є доволі громіздким і тому обмежимось прикладами графічних залежностей σ_{H_β} для різних кутів скосу β (рис. 6) і дискретності відліків по дальності 0,25 м.

Як видно з рис. 6 СКВ σ_{H_β} і σ_{H_ε} при великих кутах скосу ε мають близькі значення, які можуть бути зменшені при збільшенні дискретності відліків по дальності (див. рис. 4). При малих кутах ε при скошеному спостереженні СКВ результатів вимірювань згідно (10) матиме значно більші значення, ніж при вимірюваннях з антеною піднятою за висотою. Слід зазначити, що й методична похибка на малих кутах місця в цьому випадку також є більшою. В той же час на при великих кутах місця (приблизно більше 45°) вона виявляється меншою, ніж у випадку вимірювання згідно (7). Таким чином, в деяких випадках було б доцільно комбінувати дві L-конфігурації для підвищення точності визначення координат БТ, застосовуючи на великих кутах місця алгоритм визначення висоти (10).

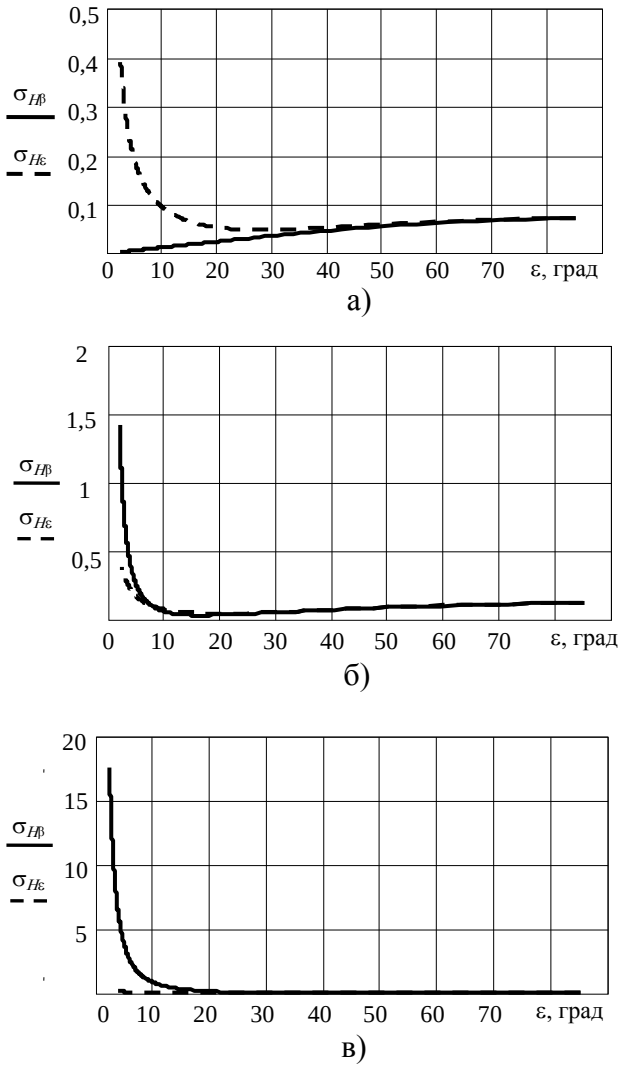


Рисунок 6 – Теоретичні залежності СКВ σ_{H_β} і σ_{H_ε} результатів вимірювання висоти БТ 1: суцільна крива для кутів β: а) 0º; б) 5º; в) 85º

Висновки

В представленій роботі отримані розрахункові оцінки методичної похибки вимірювань просторових координат БТ при відновленні тривимірного РЗ в інтерферометричній РЛС з ІСА за умов скошеного спостереження для двох варіантів L-конфігурації шляхом відтворення геометричних умов спостереження. Розрахункова модель дозволяє обчислювати методичну похибку для всього діапазону можливих кутів скосу як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Можливості застосування моделі ілюструються прикладами розрахунків за конкретних умов спостереження на прикладі вимірювання висоти БТ за умови, що ціль перебуває в дальній зоні спостереження. Для цього випадку отримане уточнене співвідношення для розрахунку висоти та інших просторових координат БТ, що урахо-вує модель скошеного спостереження. Близькі за порядком значень результати отримані иакож при вимірюваннях інших просторових координат БТ. Працездатність уточненого співвідношення для розрахунку висоти перевірена методом імітатаційного моделювання на прикладі відновлення тривимірного РЗ моделі цілі з 5 точкових відбивачів.

Також отримані теоретичні залежності для оцінки СКВ результатів вимірювань координат БТ при різних кутах скосу у вертикальній та горизонтальній площині та відношеннях сигнал-шум. Представлені розрахункові залежності СКВ вимірювання координат БТ на прикладі вимірювання висоти для двох варіантів L-конфігурації при розташуванні приймальних антен. Надані рекомендації щодо можливості комбінування цих конфігурацій. При цьому при великих кутах місця доцільно застосовувати L-конфігурацію з розміщенням антен в горизонтальній площині. Для малих кутів місця кращі точні сні характеристики матиме L-конфігурація з розміщенням у вертикальній площині.

Список використаних джерел

1. Ширман Я.Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я. Д. Ширман, С. А. Горшков, С. П. Лещенко, Г. Д. Братченко, В. М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – № 11. – С. 3–63.

2. Soumekh M. Automatic aircraft landing using interferometric inverse synthetic aperture radar imaging, IEEE Trans. Image Process., Sep. 1996, Vol. 5, No. 9, pp. 1335–1345.

3. Wang G., Xia X., Chen V. C. Three-dimensional ISAR imaging of maneuvering target using three receivers, IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 3, Mar. 2001, pp. 436–447.

4. Xu X., Narayanan R. M. Three dimensional interferometric ISAR imaging for target scattering diagnosis and modeling, IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 7, Jul. 2001, pp. 1094–1102.

5. Felguera-Martín D., González-Partida J.-T., Almorox-González P., Burgos-García M., Dorta-Naranjo B.-P. Interferometric inverse synthetic aperture radar experiment using an interferometric linear frequency modulated continuous wave millimetre-wave radar, IET Radar, Sonar & Navigation, Volume 5, Issue 1, 2011 , p. 39–47.

6. Ma C. Z. , Yeo T. S., Tan H. S., et al., Inter-

ferometric ISAR imaging on squint model, Progress electromagn. res. lett., 2(2008), pp. 125–133.

7. Liu C. L., Gao X. Z., Jiang W. D., and Li X. Interferometric ISAR three-dimensional imaging using one antenna, Progress In Electromagnetics Research M, 2011, Vol. 21, pp. 33–45.

8. Tian Biao, Lu Zhejun, Liu Yongxiang, Li Xiang. Review on interferometric ISAR 3D imaging: concept, technology and experiment, Signal Processing 153 (2018), 164–187, journal homepage: www.elsevier.com/locate/sigpro.

9. M. Martorella, D. Staglianò, F. Salvetti, F. Berizzi. 17 Jun 2016, 3D interferometric ISAR from: radar imaging for maritime observation, CRC Press Accessed on: 09 Jan 2019, https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.1201/9781315374253-8.

10. Bratchenko H. D., Smaglyuk H. H., Grygoriev D. V., Plotnik A. I. 3D position measurement simulation of air target's scatterrers in interferometric ISAR // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2017. – Вип. 2(11). – С. 58–64.

11. Liya Li, Liu H., Bo J., et al. An Interferometric Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging Algorithm For Squint Model (in Chinese), J. Xian Jiaotong Univ. (2008).

12. Liu C.L., He F., Gao X.Z., et al., Squint-mode InISAR Imaging Based on Nonlinear Least Square and Coordinates Transform, Sci. China Technol. Sci. 54 (12) (2011) 3332–3340.

13. Tian B., Zou J., Xu S., et al. Squint model interferometric ISAR imaging based on respective reference range selection and squint iteration improvement, Radar & Sonar Navig. IET 9 (9) (2015), 1366–1375.

14. Tian B., Liu Y., Tang D., et al. Interferometric ISAR Imaging for space moving targets on a squint model using two antennas, J. Electromagn. Waves Appl. 28 (17) (2014), pp. 2135–2152.

15. Staglianò D., Giusti E., Lischi S., Martorella M. Bistatic three-dimensional interferometric ISAR, IET Radar Sonar Navig. vol. 10 (1) (2016), pp. 63–75.

16. Staglianò D., M. Martorella, Casalini E. Interferometric bistatic ISAR processing for 3D target reconstruction, in: Proceedings of the 2014 Eleventh European Radar Conference, Rome, 2014, pp. 161–164.

17. Qiu W., Martorella M., Berizzi F. Interferometric ISAR imaging based on compressive sensing, 2nd International Workshop on Compressed Sensing (CoSeRa 2013), 17-19 September 2013, Bonn, Germany, https://workshops.fhr.fraunhofer.de/cosera/cosera2013/pdf/A7_3.pdf

18. Wehner D. R. High Resolution Radar. – Norwood: Artech House, 1987.

19. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

References

1. Shirman Ya.D. Metody radiolokacionnogo raspoznavaniya i ix modelirovanie / Ya. D. Shirman, S. A. Gorshkov, S. P. Leshhenko, G. D. Bratchenko, V. M. Orlenko // Zarubezhnaya radioe'lektronika. Uspexi sovremennoj radioe'lektroniki. – 1996. – № 11. – S. 3-63.

2. Soumekh M. Automatic aircraft landing using interferometric inverse synthetic aperture radar imaging, IEEE Trans. Image Process., Sep. 1996, Vol. 5, No. 9, pp. 1335-1345.

3. Wang G., Xia X., Chen V. C. Three-dimensional ISAR imaging of maneuvering target using three receivers, IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 3, Mar. 2001, pp. 436–447.

4. Xu X., Narayanan R. M. Three dimensional interferometric ISAR imaging for target scattering diagnosis and modeling, IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 7, Jul. 2001, pp. 1094–1102.

5. Felguera-Martín D., González-Partida J.-T., Almorox-González P., Burgos-García M., Dorta-Naranjo B.-P. Interferometric inverse synthetic aperture radar experiment using an interferometric linear frequency modulated continuous wave millimetre-wave radar, IET Radar, Sonar & Navigation, Volume 5, Issue 1, 2011 , p. 39 – 47.

6. Ma C. Z. , Yeo T. S. , Tan H. S., et al., Interferometric ISAR imaging on squint model, Progress electromagn. res. lett., 2 (2008), pp. 125–133.

7. Liu C. L., Gao X. Z., Jiang W. D., and Li X. Interferometric ISAR three-dimensional imaging using one antenna, Progress In Electromagnetics Research M, 2011, Vol. 21, pp. 33–45.

8. Tian Biao, Lu Zhejun, Liu Yongxiang,

Li Xiang. Review on interferometric ISAR 3D imaging: concept, technology and experiment, Signal Processing 153 (2018), 164–187, journal homepage: www.elsevier.com/locate/sigpro.

9. M. Martorella, D. Staglianò, F. Salvetti, F. Berizzi. 17 Jun 2016, 3D interferometric ISAR from: radar imaging for maritime observation, CRC Press Accessed on: 09 Jan 2019, https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.1201/9781315374253-8.

10. Bratchenko H. D., Smaglyuk H. H., Grygoriev D. V., Plotnik A. I. 3D position measurement simulation of air target's scatterrers in interferometric ISAR // Zbìrnik naukovih prac′ Odes′koï deržavnoï akademìï tehnìčnogo regulûvannâ ta âkostì. – Odesa, 2017. – Vyp. 2(11). – P. 58–64.

11. Liya Li, Liu H., Bo J., et al. An Interferometric Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging Algorithm For Squint Model (in Chinese), J. Xian Jiaotong Univ. (2008).

12. Liu C. L., He F., Gao X. Z., et al., Squint-mode InISAR Imaging Based on Nonlinear Least Square and Coordinates Transform, Sci. China Technol. Sci. 54 (12) (2011) 3332–3340.

13. Tian B., Zou J., Xu S., et al. Squint model interferometric ISAR imaging based on respective reference range selection and squint iteration improvement, Radar & Sonar Navig. IET 9 (9) (2015), 1366–1375.

14. Tian B., Liu Y., Tang D., et al. Interferometric ISAR Imaging for space moving targets on a squint model using two antennas, J. Electromagn. Waves Appl. 28 (17) (2014), pp. 2135–2152.

15. Staglianò D., Giusti E., Lischi S., Martorella M. Bistatic three-dimensional interferometric ISAR, IET Radar Sonar Navig. vol. 10 (1) (2016), pp. 63–75.

16. Staglianò D., M. Martorella, Casalini E. Interferometric bistatic ISAR processing for 3D target reconstruction, in: Proceedings of the 2014 Eleventh European Radar Conference, Rome, 2014, pp. 161–164.

17. Qiu W., Martorella M., Berizzi F. Interferometric ISAR imaging based on compressive sensing, 2nd International Workshop on Compressed Sensing (CoSeRa 2013), 17-19 September 2013, Bonn, Germany, https://workshops.fhr.fraunhofer.de/cosera/cosera2013/pdf/A7_3.pdf

18. Wehner D.R. High Resolution Radar. – Norwood: Artech House, 1987.

19. Shirman Ya. D. Teoriya i texnika obrabotki radiolokacionnoj informacii na fone pomex / Ya. D. Shirman, V. N. Manzhos. – M.: Radio i svyaz', 1981. – 416 s.

Надійшла до редакції 19.09.2019

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Бажанова А. Ю. ……..…….. 36
Братченко Г. Д. ……..... 57
Величко О. М. ……..... 14, 42
Габер А. А. …….. 14
Гордієнко Т. Б. ……..... 14, 42
Грабовський О. В. ……..... 42
Кисельова О. І. ……..…….. 22
Кіндрат П. В. …….. 49
Коломієць Л. В. ……... 31
Лимаренко О. М. ……..... 31, 36
Мащенко В. А. ……... 49
Никитюк О. А. …….. 6
Новіков В. М. …… 6
Орел Д. І. …… 57
Оробей В. Ф. …….. 31
Романов О. А. ……. 36
Сеніва І. С. ……. 57
Смаглюк Г. Г. ……. 57
Яцинюк О. М. …… 31

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БАЖАНОВА Анастасія Юріївна — *Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, доцент кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів», кандидат технічних наук*

БРАТЧЕНКО Геннадій Дмитрович — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків, доктор технічних наук, професор*

ВЕЛИЧКО Олег Миколайович — *ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ, директор Науково-виробничого інституту вимірювань електромагнітних величин та оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, професор кафедри електроніки та мікросистемної техніки, доктор технічних наук, професор*

ГАБЕР Антоніна Анатоліївна — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, старший викладач кафедри стандартизації, оцінки відповідності та освітніх вимірювань, кандидат технічних наук*

ГОРДІЄНКО Тетяна Богданівна — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри стандартизації, оцінки відповідності та освітніх вимірювань, доктор технічних наук, професор*

ГРАБОВСЬКИЙ Олег Вікторович — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, директор Навчально-наукового інституту метрології, автоматизації, інтелектуальних технологій та електроніки, кандидат технічних наук, доцент*

КИСЕЛЬОВА Ольга Ігорівна — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, докторант, кандидат педагогічних наук, доцент*

КІНДРАТ Павло Вадимович — *Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне, доцент кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та методики викладання інформатики, кандидат юридичних наук*

КОЛОМІЄЦЬ Леонід Володимирович — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, ректор, доктор технічних наук, професор*

ЛИМАРЕНКО Олександр Михайлович — *Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, доцент кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів», кандидат технічних наук, доцент*

МАЩЕНКО Володимир Андрійович — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, докторант, кандидат фізико-математичних наук, доцент*

НИКИТЮК Олександр Андрійович — *Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, проректор з науково-педагогічної роботи та перспективного розвитку, доктор сільськогосподарських наук, професор*

НОВІКОВ Володимир Миколайович — *Відокремлений структурний підрозділ «Інститут підвищення кваліфікації фахівців в галузі технічного регулювання та споживчої політики» Одеської державної академії технічного регулювання та якості, м. Київ, директор, доктор фізико-математичних наук, професор*

ОРЕЛ Дарина Ігорівна *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, магістрант*

РОМАНОВ Олександр Андрійович *Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, інститут машинобудування, молодший науковий співробітник кафедри "Динаміка, міцність машин та опір матеріалів"*

СЕНІВА Ірина Сергіївна *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, аспірант*

СМАГЛЮК Геннадій Геннадійович *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, старший викладач кафедри електроніки та мікросистемної техніки*

ОРОБЕЙ Віктор Федорович *Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, завідувач кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів», ОНПУ, доктор технічних наук, професор*

ЯЦИНЮК Олена Михайлівна *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, молодший науковий співробітник*

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

Випуск 2(15) 2019

Редактор Братченко Г. Д.

Комп’ютерна верстка Постоварова В. Д.

Адреса редакції: 65020, м. Одеса, вул. Ковальська 15, ОДАТРЯ,
Тел.: (048)728-07-11 – довідки;
E-mail: bratchenkohd@gmail.com

Надруковано з готового оригінал макету
в видавництві – друкарні «ВМВ»

Підписано до друку 20.12.2019
*Формат 60*88/8. Папір офсетний.*
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 8,1
Тираж 100 прим.
65053, м. Одеса, пр-т Добровольского 84-а.
www.vmv.odessa.ua