

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Нові рішення
в сучасних технологіях**

№ 10 (1335) 2019

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series: New solutions
in modern technology**

No. 10 (1335) 2019

Collected Works

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2019

Kharkiv
NTU "KhPI", 2019

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2019. — № 10 (1335) 2019. — 123 с. — ISSN 2079-5459.

Журнал публікує наукові результати та досягнення мультидисциплінарних досліджень молодих науковців широкого профілю у сферах машинобудування, енергетики, технологій органічних і неорганічних речовин, екології, інформаційних технологій і систем управління, техніки та електрофізики високих напруг, а також з фундаментальних аспектів сучасних технологій.

The journal publishes scientific results and accomplishments of multidisciplinary researches of young scientists of a wide profile in the field of machine building, energy, technologies of organic and inorganic substances, ecology, information technologies and control systems, high voltage techniques and electrophysics, as well as on the fundamental aspects of modern technologies.

Державне видання.

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Наказом МОН України № 1328 від 21.12.2015 р. «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 15 грудня 2015 року».

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях» індексується в наукометричних базах даних Index Copernicus (Польща), OCLC WorldCat (США), Google Scholar; включений у світовий каталог періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/>

Засновник
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Редакційна колегія серії

Відповідальний редактор:

Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ»,
Україна

Відповідальний секретар:

Томашевський Р. С., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Меньшикова С. І., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

Авдєєва О. П., НТУ «ХПІ», Україна

Брагіна Л. Л., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Буряковський С. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Вехов Є., Мерилендський університет, США

Гораш Є., проф., Університет Стратклайда, Великобританія

Данько В. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Заковоротний О. Ю., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Клепиков В. Б., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Куліченко В. В., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Ларін О. О., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Львов Г. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Мележик Є., Інститут фізики напівпровідників імені В. С.

Лашкарьова НАНУ, Україна

Піментел С. Р., проф., Федеральний Університет Гояс,

Бразилія

Раскін Л. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Чжан К. Л., проф., Вроцлавський технологічний університет,

Польща

Editorial staff

Associate editor:

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences
of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Executive secretary:

Tomashevskiy R. S., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Menshikova S. I., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

Avdieieva O. P., NTU "KhPI", Ukraine

Bragina L. L., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Buriakovskui S. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Vekhov Ye., University of Maryland, College Park, USA

Gorash Ye., prof., University of Strathclyde, UK

Danko V. G., prof., NTU "KPI", Ukraine

Zakovorotniy A. Yu., prof., NTU "KPI", Ukraine

Klepikov V. B., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Kulichenko V. V., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Larin A. A., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Lvov G. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Melezhih Ye., V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics

NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

Pimentel S., prof., Federal University of Goias, Brazil

Raskin L. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Chrzan K. L., prof., Wroclaw University of Technology, Poland

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 6 від 24 травня 2019 р.

УДК 621.793.7

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.01

ФОРМУВАННЯ ТЕРМІЧНОСТІЙКОЇ ПОЛІГОНІЗАЦІЙНОЇ СУБСТРУКТУРИ З ПІДВИЩЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ В ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТЯХ

О. М. ДУБОВИЙ¹, А. А. КАРПЕЧЕНКО¹, М. М. БОБРОВ¹, С. І. ШКУРАТ¹, О. О. ЛИМАР²

¹кафедра матеріалознавства і технології металів, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, УКРАЇНА

²кафедра тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, УКРАЇНА
e-mail: laborantmtm@gmail.com

АНОТАЦІЯ У роботі досліджено можливість формування електродугових сталевих покриттів з дротів марок 65Г та Св-08Г2С з частково термічно стабілізованою полігонізаційною субструктурою за рахунок додаткової деформації та термічної обробки. Встановлено, що додаткова деформація пресуванням на 25% та 30% електродугових сталевих покриттів з дроту 65Г та 20% і 30% покриттів з дроту Св-08Г2С надає можливість підвищити тривалість витримки при термічній обробці до 15...20 хв без суттєвого зниження твердості за рахунок формування субструктури з підвищеною термічною стійкістю. Методом рентгеноструктурного аналізу розраховано середній розмір субзерен, кут їх розорієнтування та середню кількість наноструктурних елементів у напилених покриттях. Показано, що середній розмір субзерен електродугових покриттів зменшується при деформуванні, що зумовлює стабілізацію субструктури, на 40...45% у порівнянні з покриттями після напилення. Крім того, при проведенні термічної обробки і додаткової деформації забезпечується збільшення кількості наноструктурних елементів з 18 до 32...35% та підвищується середній кут розорієнтування субзерен. Досліджено вплив поверхневої пластичної деформації методом дробоструменевої обробки на можливість формування термічно стійкої полігонізаційної субструктури у покриттях з дроту 65Г. Встановлені оптимальні температуро-часові параметри термічної обробки вказаних покриттів за показниками мікротвердості по глибині наклепаного шару. Дробоструменева обробка забезпечує стабілізацію полігонізаційної субструктури при термічній обробці до тривалості витримки 40 хвилин. Проведено експериментальні дослідження впливу термічної обробки, поверхневої пластичної деформації та комбінованої деформаційно-термічної обробки на міцність та зносостійкість електродугових покриттів з дроту 65Г. Встановлено, що проведення термічної обробки покриттів з дроту 65Г забезпечує підвищення міцності зчеплення на 30% у порівнянні з покриттями після напилення за рахунок зменшення внутрішніх напружень. Термічна обробка додатково деформованих покриттів забезпечує значніше підвищення міцності зчеплення у порівнянні з термообробленими покриттями без деформації. Показано, що термічна обробка забезпечує підвищення зносостійкості покриттів із 65Г на 45% у порівнянні зі станом після напилення.

Ключові слова: газотермічне покриття; термічна обробка; субструктура; твердість; полігонізація; деформація

FORMATION OF A THERMALLY SUSTAINABLE POLYGONIZATION SUBSTRUCTURE WITH ENHANCED PROPERTIES IN ELECTRIC ARC COATINGS

O. DUBOVYI¹, A. KARPECHENKO¹, M. BOBROV¹, S. SHKURAT¹, O. LYMAR²

¹ Department of Material Science and technology of metals, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, UKRAINE

² Department of tractors and agricultural machinery, operation and technical service, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, UKRAINE

ABSTRACT The paper studies the possibility of forming electric arc steel sprayed coating from wires of grades 65G and Sv-08G2C with a partially thermally stabilized polygonal substructure due to additional deformation and heat treatment. It has been established that additional deformation by pressing 25% and 30% of electric arc steel coating from wire 65G and 20% and 30% of coatings from wire Sv-08G2S provides an opportunity to increase the duration of exposure of heat treatment for 15 ... 20 minutes without significant reduction of hardness due to the formation of partially stabilized substructure. The method of X-ray diffraction analysis has calculated the average size of sub-grains, the angle of divergence between them and the number of nanostructured elements in sprayed coatings. It has been shown that the average size of subgrains of electric arc coatings decreases with deformation and stabilization of the substructure by 40 ... 45% in comparison with coatings after spraying. Also, when carrying out the heat treatment and additional deformation, an increase in the number of nanostructured elements from 18% to 32 ... 35% is ensured and the average angle of subgrains divergence increases. The influence of surface plastic deformation by shot blasting processing on the possibility of forming a stable polygonization substructure in the coatings of 65G wire has been investigated. Shot blasting provides stabilization of the polygonal substructure during heat treatment to the duration of exposure 40 minutes. Experimental investigations of the influence of heat treatment, surface plastic deformation and combined deformation-heat treatment on the bond strength and wear resistance of the electric arc steel coatings from wire 65G have been carried out. It has been established that carrying out heat treatment of 65G wire coatings provides an increase in the bond strength by 30% compared to the coatings after deposition by reducing internal stresses. Heat treatment of additionally deformed coatings provides a significant increase in bond strength

compared to heat treated coatings without deformation. It is shown that heat treatment provides an increase in the wear resistance of coatings from 65G by 45% compared with the state after spraying.

Keywords: thermal sprayed coating; heat treatment; substructure; hardness; polygonization; deformation

Вступ

Захист деталей машин і конструкцій від корозії і зношування, підвищення довговічності машин і механізмів – одна з найважливіших технічних проблем. Щорічно суднобудівні та судноремонтні підприємства витрачають більше 40% всього споживаного металу на виготовлення запасних деталей різних вузлів тертя, в металобрухт здаються деталі при зносі сполучних поверхонь 0,5...2,0 мм і втрати маси лише 3%. Перспективним напрямком підвищення терміну служби виробів є формування поверхневого шару, що контактує із зовнішнім середовищем, з підвищеними експлуатаційними властивостями. Найбільш ефективне і сучасне рішення цієї проблеми – використання газотермічних захисних та відновлювальних покриттів з комплексом підвищених фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. Про це свідчить узагальнений аналіз даних, виконаний консалтинговою компанією Grand View Research Inc. у 2018 році, який показав, що річний обсяг світового ринку газотермічних покриттів у 2017 році оцінювався в 8,92 млрд. доларів США. Прогноз на період з 2018 по 2025 рік, показує поступове збільшення даних показників в середньому на 6,7 % щорічно. Крім того рушійною силою збільшення об'єму використання покриттів стануть саме переваги, що пов'язані з захистом від корозії, зносу та екологічності [1].

Приріст міцнісних властивостей компактних конструкційних металевих матеріалів в останні роки забезпечується в основному за рахунок цілеспрямованого формування здрібненої мікро- і нанокристалічної структури. Основним методом створення таких матеріалів є інтенсивна пластична деформація (ПД) [2]. Однак, наноструктурування деталей великого розміру методами ПД викликає значні технічні та технологічні труднощі і не є економічно доцільним. Основна частина цих методів не доведена до практичного застосування, тому більш перспективним є створення наноструктурованих покриттів. Щодо формування покриттів та шарів зі здрібненою мікро- та субструктурою, то для цього застосовують багато способів, таких як: напилення агломерованих порошків [3] та суспензій [4], формування наноструктурних зміцнюючих елементів при розпаді аморфної фази [5], використання нанопорошків при наплавці [6]. Але всі ці способи мають суттєві недоліки, які пов'язані зі спеціальною трудомісткою підготовкою порошків, потребують значної модернізації обладнання чи створення нових пристроїв. Окрему ланку складають способи, направлені на створення композиційних покриттів за рахунок застосування металічних матеріалів та недорогих наповнювачів (скло, полімер, кераміка та ін.) [7]. Однак, на практиці реалізовано нанесення

таких покриттів плазмовим [8] або детонаційним методом [9], що характеризуються високою вартістю за рахунок значної потужності розпилювачів та використання дорогих плазмотвірних і горючих газів та синтезованих порошків. Щодо електродугового методу напилення, який майже в 10 разів дешевше та в 3-5 разів продуктивніше, то гетерофазну композиційну структуру можна отримати лише шляхом застосування порошкових струмопровідних дротів [10], що теж значно підвищує вартість покриття, при цьому вони мають порівняно низьку міцність та високу пористість. Автори роботи [11] пропонують використання порошкового матеріалу, який подається у вільному вигляді у високотемпературну зону електродугового розпилювача за рахунок атмосферної інжекції, що дозволило значно розширити можливості даного методу шляхом отримання композиційних покриттів.

Альтернативний шлях полягає у застосуванні передрекristалізаційної термічної обробки (ПТО) напилених покриттів, що дозволяє підвищити їх фізико-механічні властивості за рахунок отримання здрібненої і нанорозмірної полігонізаційної субструктури [12,13]. Попередніми дослідженнями встановлено, що ПТО напилених покриттів дозволяє підвищити межу міцності, твердість, міцність втоми, демпфувальні властивості та знизити теплопровідність з одночасним незначним підвищенням пластичності. Але цей спосіб підвищення фізико-механічних властивостей має недолік – час витримки при температурі, яка відповідає або дещо нижче температурного порогу первинної рекristалізації, складає не більше 10 хв, що позбавляє можливості обробляти великогабаритні масивні деталі. Для вирішення цієї проблеми пропонується використання додаткової деформації після напилення.

Мета роботи

Метою статті є підвищення властивостей електродугових покриттів формуванням термічностію субструктури.

Виклад основного матеріалу

Електродугові покриття наносили за допомогою установки КДМ-2 в комплект якої входить металізатор ЕМ-14М. Як напилюваний матеріал використовували дроти марок Св-08Г2С та 65Г діаметром 1,2 мм. Оптимальні режими напилення встановлено у попередніх роботах [12,13].

Термічну обробку зразків проводили в лабораторній електричній пічці СНОЛ-1.6.2.0.08/9-М1. Вимірювання твердості за Віккерсом проводили з використанням твердоміру типу ТП. Деформацію зразків здійснювали за допомогою пресу Losen

Hausenwerk Dusseldorfer Maschinenbau A.G. Для пресування розраховувалась необхідна товщина покриття, яку необхідно отримати в результаті деформації. Рентгеноструктурний аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН-3 у випромінюванні міді ($\lambda=0,154$ нм) з використанням Ni β -фільтра. Обертання зразків здійснювалось в інтервалі подвійних кутів від 18 до 23°, швидкість розгортки складала 1 град/хв. Розмір ОКР розраховували за формулою Шеррера.

Міцність зчеплення покриттів визначали шляхом витягування конусного штифта з бобишки із записом зміни зусилля, після відриву штифта від покриття визначали відношення максимального навантаження до площі торця штифта. Для розтягування зразків використовували розривну машину УММ-5. Зразки для визначення міцності зчеплення виготовляли з вуглецевої конструкційної якісної сталі 45.

Визначення зносостійкості проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «диск-колодка». Колодку і диск виготовляли з вуглецевої конструкційної якісної сталі 45. Покриття наносили на колодку.

Обговорення результатів

Твердість покриття з дроту 65Г після напilenня – 2,8 ГПа. Деформовані покриття на 25% і 30% піддавались ПТО за температури 400 °С при різних значеннях тривалості витримки. Температура обиралася згідно результатів попередніх досліджень [12,13]. Результати досліджень наведені на рис. 1.

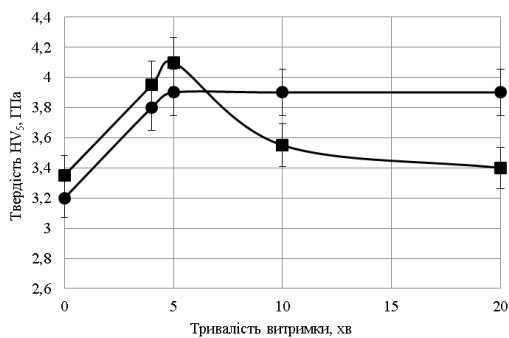


Рис. 1 - Залежність твердості додатково деформованих електродугових покриттів з дроту 65Г від тривалості витримки при ПТО та ступеня деформації:
■ – 25%; ● – 30%

Згідно до наведених даних, залежність носить екстремальний характер. Покриття із величиною деформації 25% досягає максимальної твердості 4,12 ГПа при витримці 5 хв, проте збільшення часу призводить до зменшення показників твердості. Покриття із величиною деформації 30% при аналогічній витримці має максимальну твердість – 3,91 ГПа. Подальша витримка до 20 хвилин не призводить до суттєвого зменшення приросту

твердості. Ймовірно, що у електродугових покриттях, деформованих на 25%, дислокаційні сплетіння утворились недостатньо стійкими, що зумовили прояв збиральної полігонізації субструктури. В той же час деформація пресуванням величиною 30% забезпечила термічну стійкість субструктури впродовж витримки 20 хвилин.

Подальші дослідження проводили на електродугових покриттях з дроту Св-08Г2С. Деформацію здійснювали обкатуванням на діючій моделі прокатного стану. Товщина покриттів складала 1,0...1,2 мм. Твердість покриття після напilenня – 2,7 ГПа; після прокатки на 30% - 2,9 ГПа. Температура ПТО складала 400 °С. Результати досліджень наведені на рис. 2.

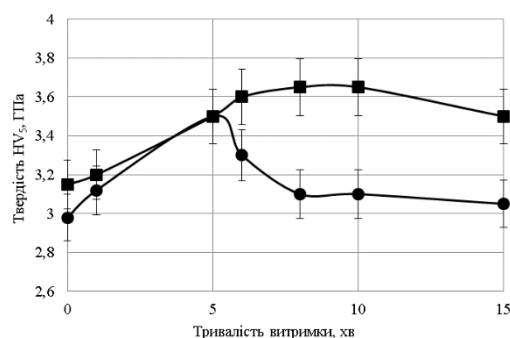


Рис. 2 - Залежність твердості додатково деформованих електродугових покриттів з дроту Св-08Г2С від тривалості витримки при ПТО та ступеня деформації:
■ – 20%; ● – 30%

Згідно даних, наведених на рис. 2, при проведенні ПТО максимальна твердість досягається при витримці 5 та 8 хвилин для ступеня деформації 30% і 20% відповідно. При цьому твердість покриття, деформованого на 20% є більш термічно стабільною, про це свідчить незначне зниження показника при витримці до 15 хв. На рис. 3-4 наведено інформацію щодо приросту твердості електродугових покриттів з дротів 65Г та Св-08Г2С у порівнянні з показниками після напilenня (без додаткової деформації та ПТО) у залежності від величини деформації та часу витримки.

Відповідно до наведених даних, максимальна твердість забезпечується при витримці 5 хв. Більший приріст твердості спостерігається при деформації на 25% - 47%, проте зі збільшенням часу витримки показники падають до 20% для покриття з дроту 65Г. Цей результат пояснюється утворенням при додатковій деформації дислокаційних сплетінь, що сповільнюють рух малокутових субграниць при нагріванні. Ймовірно, деформація величиною 25% не забезпечує достатньої термічної стабільності субструктури через недостатній рівень ущільнення дислокаційних сплетінь. Тому ПТО зумовлює підвищення твердості за короткий час із подальшою збиральною полігонізацією. Пресування на 30% є оптимальним видом деформування виробів для

підвищення термічної стійкості субструктури. Аналіз даних, представлених на рис. 4, показує, що максимальний приріст твердості спостерігається при витримці 5 хвилин деформованого на 30% покриття – 29,6%. Проте зразок, деформований на 20% досягає максимального приросту твердості на 29,2% при витримці 8 хвилин. При деформації на 30% та збільшенні тривалості витримки до 6...15 хвилин спостерігається різке зменшення приросту твердості. Отже, підвищена деформація не здатна забезпечити термічну стійкість субструктури, ймовірно, за рахунок нерівномірного розподілу дислокацій.

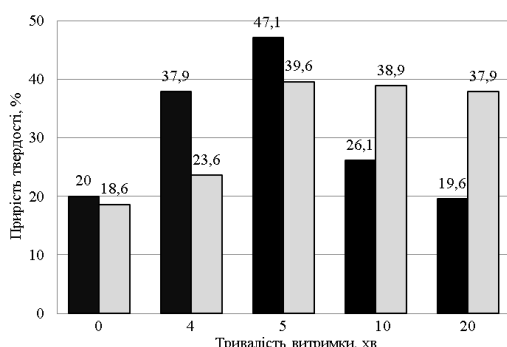


Рис. 3 - Приріст твердості деформованих пресуванням електродугових покриттів із дроту 65Г після ПТО:

■ – деформація 25%; □ – 30%

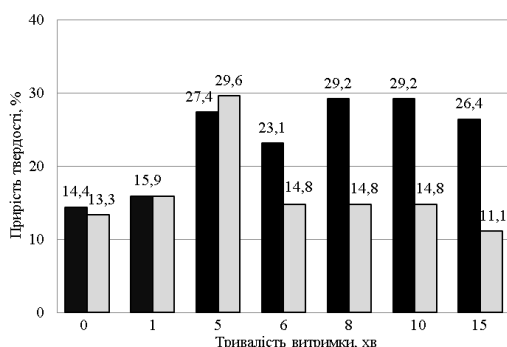


Рис. 4 - Приріст твердості деформованих пресуванням електродугових покриттів із дроту Sv-08Г2С після ПТО:

■ – деформація 20%; □ – 30%

Вплив деформації та ПТО на субструктуру напилених покриттів оцінювали за зміною розмірів областей когерентного розсіювання (ОКР) рентгенівського випромінювання. Оскільки ОКР відповідає внутрішній впорядкованій області зерна і не включає сильно спотворені границі, розмір ОКР ототожнюють із середнім розміром кристалітів. Результати досліджень наведені у табл. 1.

Таким чином, середній розмір ОКР електродугових покриттів з дроту 65Г зменшується після деформування та ПТО. Розмір ОКР стабілізованої субструктури менший на 40-45% від розміру напилених покриттів. Варто зазначити, що приріст твердості даних покриттів після проведення

деформації та ПТО становить 35-45% у порівнянні зі станом після напилення. Розмір ОКР електродугового покриття з Sv-08Г2С після стабілізації субструктури зменшився на 40%. При цьому приріст твердості становить близько 30%.

Таблиця 1 - Розмір ОКР електродугових покриттів (нм)

Покриття з дроту 65Г			
Пресування			
Після напилення	25%	25%+ПТО (400°C, 5 хв)	30%+ПТО (400°C, 5 хв)
104	92	58	66
Покриття з дроту Sv-08Г2С після обкатування			
Після напилення	20%+ПТО 400°C, 8 хв		
121	72		

На основі отриманих дифрактограм розраховано відносну кількість наноструктурних елементів та кут розорієнтування субзерен електродугових покриттів за методом гармонійного аналізу [14]. Для розрахунку кутів розорієнтування обрано як еталон дифрактограма технічно чистого заліза після відпалу при температурі 1000 °С протягом 60 хвилин. Результати досліджень зазначені в табл. 2.

Таблиця 2 - Кількість наноструктурних елементів та середній кут розорієнтування субзерен напилених і оброблених покриттів

Вид обробки	Кут роз., °	Максимальне значення кутів роз., °	Відносна кількість нанострукт. елементів, %
Покриття з дроту 65Г			
Напилення	0,34	0,44	18
Деформація 25%	0,32		22
25%+ ПТО 5 хв	0,37		35
30%+ ПТО 5 хв	0,37		32
Покриття з дроту Sv-08Г2С			
Напилення	0,28	0,43	16
20%+ПТО 8 хв	0,29		26

Згідно з наведених даних, після додаткової деформації та ПТО спостерігається підвищення кількості наноструктурних елементів з 18% до 32...35%. Збільшується і середній кут розорієнтування, тоді як максимальне значення кута розорієнтування залишається постійним. Це означає, що стабілізація субструктури сприяє збільшенню кутів розорієнтування і, ймовірно, що це забезпечується за рахунок збільшення кількості наноструктурних елементів. При деформуванні металу виникає комірчаста структура із певним кутом розорієнтування між комірками. Із збільшенням ступеня деформації відбувається утворення дислокаційних сплетінь, що поступово заповнюють весь об'єм [14]. Тобто, зі збільшенням ступеня деформації зменшується середній розмір комірок і зменшується кут їх розорієнтування.

У багатьох випадках підвищені властивості поверхневого шару можна досягти саме шляхом поверхневої пластичної деформації (ППД) (наприклад, для деталей типу тіл обертання). У результаті зміцнюється поверхневий шар, підвищується зносостійкість, вдається підвищити запас міцності при змінних навантаженнях у 1,5...3 рази [15]. Як метод ППД у роботі використовували дробоструменеву обробку, що пояснюється простою реалізацією, технологічністю та ефективністю даного способу. Для цього використовували установку 026-7 «Ремдеталь». Як робоче тіло використовували литий дріб із чавуну (ДЧЛ) номер 08 ГОСТ 11964-81. Тривалість обробки складала 1 хв. Обробці піддавали електродугові покриття з дроту 65Г, оскільки саме вони викликають практичний інтерес через широке застосування як зносостійкі [16]. Мікротвердість вимірювали за допомогою твердоміра ПМТ-3 по глибині наклепаного шару від поверхні зразка при навантаженні на індентор 50г. Результати наведено на рис. 5.

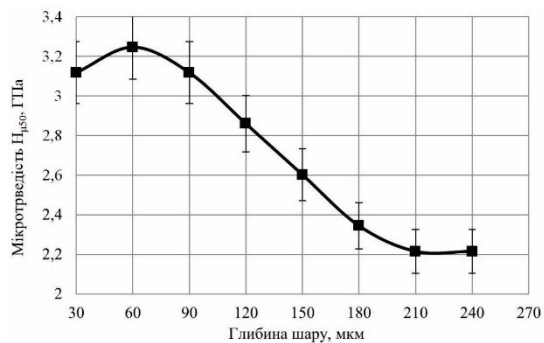


Рис.5 - Залежність мікротвердості від глибини наклепаного шару електродугових покриттів з дроту марки 65Г

Згідно з наведеними даними, максимальна мікротвердість покриттів спостерігається не на їх поверхні, а на глибині приблизно 60 мкм (+47%). Пояснюється це тим, що у місці удару дроби виникає локальне нагрівання, яке й призводить до зниження наклепу тонких шарів і зміщення зони максимального значення мікротвердості до підповерхневого шару.

Після дробоструменевої обробки покриття піддавали ПТО. Результати визначення мікротвердості на глибині 60 мкм в залежності від тривалості витримки при ПТО представлені на рис. 6.

Згідно з представленими даними, мікротвердість електродугового покриття підвищується при витримці 2хв з 3,25ГПа до 4,1ГПа і залишається достатньо високою до 25...30 хв та суттєво вище ніж після напilenня.

Для визначення експлуатаційних властивостей отриманих покриттів проведено випробування на міцність їх зчеплення з основою та зносостійкість. Основні параметри експериментів наведено у роботі [17] Результати досліджень представлені на рис.7, 8.

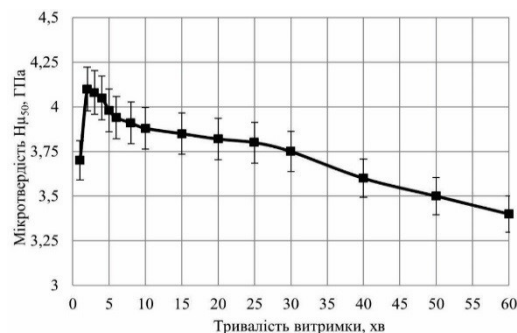


Рис. 6 - Залежність мікротвердості на глибині 60 мкм від тривалості витримки при термічній обробці електродугових покриттів з дроту 65Г

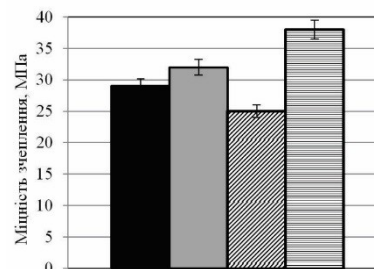


Рис. 7 - Результати визначення міцності зчеплення покриттів з дроту 65Г:

■ - після напilenня; ■ -напilenня+термічна обробка; ▨ -напilenня+ППД; ▩ -напilenня+ППД+термічна обробка

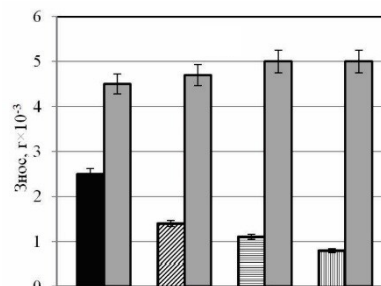


Рис. 8 - Результати визначення зносостійкості покриттів з дроту 65Г:

■ - після напilenня; ▨ -напilenня+термічна обробка; ▩ -напilenня+ППД; ▩ -напilenня+ППД+термічна обробка; ■ -контр тіло

Відповідно до наведеної інформації, проведення передрекристалізаційної термічної обробки покриттів забезпечує підвищення міцності зчеплення на 30% у порівнянні з покриттями після напilenня ймовірно за рахунок зменшення внутрішніх напружень. Наступна дробоструменева обробка знижує міцність зчеплення покриттів на 15% у порівнянні з покриттями після напilenня, вірогідно, за рахунок виникнення додаткових значних внутрішніх напружень у поверхневому шарі покриття. Термічна обробка додатково деформованих покриттів забезпечує підвищення міцності зчеплення на 20% у порівнянні з термообробленими покриттями без деформації за рахунок більшої тривалості витримки та зняття внутрішніх напружень, які виникли у

процесі формування покриттів та їх ППД. ПТО покриттів забезпечує підвищення зносостійкості на 45% у порівнянні зі станом після напилення. Знос контртіла обернено пропорційний зносу покриття: чим більша твердість та зносостійкість покриття тим більше зношується контртіло, але менш динамічно. Так, наприклад, при підвищенні зносостійкості покриття з дроту 65Г після ППД та термічної обробки на 68% у порівнянні зі станом після напилення, зносостійкість контртіла зменшилася лише на 10%.

Висновки

Встановлено, що додаткова деформація пресуванням на 25% та 30% електродугових сталевих покриттів з дроту 65Г та 20% і 30% покриттів з дроту Св-08Г2С надає можливість підвищити тривалість витримки при ПТО до 15...20 хв без суттєвого зниження твердості за рахунок формування субструктури з підвищеною термічною стійкістю. Показано, що оптимальною величиною деформації для покриттів з дроту 65Г є 30% при цьому витримка впродовж 20 хв забезпечує приріст твердості на 38%; для покриттів з дроту Св-08Г2С – деформація 20%, приріст твердості 26% (витримка 15хв). Середній розмір ОКР електродугових покриттів зменшується при деформуванні, що зумовлює стабілізацію субструктури, на 40...45% у порівнянні з покриттями після напилення. Проведення ПТО та додаткової деформації з ПТО забезпечує підвищення кількості наноструктурних елементів з 18% до 32...35% та збільшення середнього кута розорієнтування субзерен. Мікротвердість електродугового покриття з дроту 65Г максимально підвищується при витримці 2 хв з 3,25 ГПа до 4,1 ГПа (+26%). Дробоструменева обробка забезпечує стабілізацію полігонізаційної субструктури при термічній обробці до тривалості витримки 40 хв. У цьому діапазоні витримок не відбувається значного зниження твердості матеріалу та збільшення середнього розміру субзерен покриттів у порівнянні зі станом після ППД. Встановлено, що проведення ПТО покриттів з дроту 65Г забезпечує підвищення міцності зчеплення на 30% у порівнянні з покриттями після напилення за рахунок зменшення внутрішніх напружень. ПТО додатково деформованих покриттів забезпечує значніше підвищення міцності зчеплення у порівнянні з термообробленими покриттями без деформації за рахунок більшої тривалості витримки та ефективнішому зняттю внутрішніх напружень, які виникають у процесі формування покриттів та їх ППД. Показано, що ПТО забезпечує підвищення зносостійкості покриттів із 65Г на 45% у порівнянні зі станом після напилення. При цьому додаткова дробоструменева обробка покриття з наступною ПТО підвищує зносостійкість ще на 40% внаслідок зміцнення поверхневого шару.

Список літератури

1. Thermal spray coatings market analysis report by product, by technology, by application, by region, and segment forecasts, 2019 – 2025: (Market research report) URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/thermal-spray-coatings-market>.
2. Valiev, R. Z. Bulk Nanostructured Materials: Fundamentals and Applications / R. Z. Valiev, A. P. Zhilyaev, T. G. Langdon. John Wiley & Sons, Inc., 2013. – 456 p. - doi: 10.1002/9781118742679.
3. Pulsford, J. Effect of Particle and Carbide Grain Sizes on a HVOAF WC-Co-Cr Coating for the Future Application on Internal Surfaces: Microstructure and Wear / J. Pulsford, S. Kamnis, J. Murray, M. Bail, T. Hussain // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2018. – Vol. 27. – P. 207-218. - doi: 10.1007/s11666-018-0726-y.
4. Gupta, M. Influence of bondcoat spray process on lifetime of suspension plasma-sprayed thermal barrier coatings / W. Gupta, N. Markocsan, X.-H. Li, L. Ostargen // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2018. – Vol. 27. – P. 84 – 97. – doi: 10.1007/s11666-017-0672-0.
5. Горанский, Г. Г. Термодинамическая модель оценки энергии активации процесса кристаллизации многокомпонентной аморфной фазы / Г. Г. Горанский, Б. Б. Хина, В. И. Жорник, А. И. Поболь // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2014. – № 27. – С. 126-135.
6. Кузнецов, В. Д. Износостойкая наплавка с вводом в сварочную ванну нанопорошков / В. Д. Кузнецов, Д. В. Степанов // *Автоматическая сварка*. – 2015. – № 5-6. – С. 52-56.
7. Montemor, M. F. Smart Composite Coatings and Membranes / M. F. Montemor. Woodhead Publishing, 2015. – 490 p. – doi:10.1016/C2013-0-16518-X.
8. Mal'tseva, S. V. Structure and properties of modified plasma-sprayed composite coatings on a titanium base / S. V. Mal'tseva, I. P. Mel'nikova, A. V. Lyasnikova, A. M. Zaharevich // *Mechanics of Composite Materials*. – 2016. – Vol. 52. – P. 531-534. – doi: 10.1007/s11029-016-9603-2.
9. Борисов, Ю. С. Детонационные покрытия из композиционного порошка ферромолибден-карбид кремния, полученного методом механохимического синтеза / Ю.С. Борисов, А. Л. Борисова, Е. А. Астахов и др. // *Автоматическая сварка*. - 2014. - 3. - С. 28-35.
10. Коржик, В. Н. Особенности структуры покрытий из порошковой проволоки системы Fe-Cr-Al полученных в условиях сверхзвуковой электродуговой металлизации / В. Н. Коржик, А. Л. Борисова, Г. Н. Гордань, Н. П. Лютик, А. А. Чайка, Т. В. Кайда // *Автоматическая сварка*. – 2014. – № 2. – С. 33-38.
11. Dubovoj, A. N. Manufacture of coatings with mixed compositions by means of powder arc spraying using a facility developed specifically for this purpose / A. N. Dubovoj, S.A. Prokudin, A.A. Karpechenko // *Thermal spray bulletin*. – 2013. – Vol. 2. – P. 102-107.
12. Дубовий, О. М. Вплив параметрів режиму напилення покриттів щодо отримання наномасштабної субструктури з підвищеною стабільністю / О. М. Дубовий, М. М. Бобров, Ю. Є. Неделько, О. В. Чечель // *Зб. наук. праць НУК*. – Миколаїв: НУК, 2016. – № 4. – С. 35-40.
13. Дубовий, О. М. Формування нанорозмірної полігонізаційної субструктури та її вплив на фізико-механічні властивості металів і сплавів та напилених покриттів / О. М. Дубовий, А. А. Карпеченко, М. М. Бобров, О.О. Жданов, Т. О. Макруха, Ю. Є. Неделько // *Металлофізика и новейшие технологии*. – 2017. – Т.39, № 2. – С. 209-243. - doi: 10.15407/mfint.39.02.0209.
14. Горелик, С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю. А. Скаков. – М.: Металлургия, 1970. – 336 с.

15. **Одинцов, Л. Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник / **Л. Г. Одинцов.** – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
16. **Ивашко, В. С.** Анализ материалов для восстановления шеек валов активированным электродуговым напылением / **В. С. Ивашко, К. В. Буйкус** // *Наука – образованию, производству, экономике : материалы 14-й Международной научно-технической конференции.* – Минск : БНТУ, 2016. – Т. 2. – С. 121.
17. **Dubovyi, O. M.** Perspectives of improved physical and mechanical properties of thermal coatings by electropulse exposure / **O. M. Dubovyi, O. V. Chechel, M. M. Bobrov, Yu. Ye. Nedel'ko** // *Науковий вісник НГУ.* – 2017. – №1. – С. 82-87.

References (transliterated)

1. Thermal spray coatings market analysis report by product, by technology, by application, by region, and segment forecasts, 2019 – 2025: (Market research report). Available at: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/thermal-spray-coatings-market>
2. **Valiev, R. Z., Zhilyaev, A. P., Langdon, T. G.** Bulk Nanostructured Materials: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, Inc., 2013, 456, doi: 10.1002/9781118742679.
3. **Pulsford, J.** Effect of Particle and Carbide Grain Sizes on a HVOAF WC-Co-Cr Coating for the Future Application on Internal Surfaces: Microstructure and Wear. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2018, **27**, 207-218, doi: 10.1007/s11666-018-0726-y.
4. **Gypta, M.** Influence of bondcoat spray process on lifetime of suspension plasma-sprayed thermal barrier coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2018, **27**, 84-97, doi: 10.1007/s11666-017-0672-0.
5. **Goranskiy, G. G.** Termodinamicheskaya model otsenki energii aktivatsii protsessa kristallizatsii mnogokomponentnoy amorfnoy fazyi [Thermodynamic model for estimating the activation energy of the crystallization process of a multicomponent amorphous phase]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta [Bulletin of Vitebsk State Technological University]*, 2014, **27**, 125-135.
6. **Kuznetsov, V. D.** Iznosostoykaya naplavka s vvidom v svarochnuyu vannu nanoporoshkov [Wear-resistant surfacing with the addition of nanopowders into the weld pool]. *Avtomaticheskaya svarka [Automatic welding]*, 2015, **5-6**, 52-56.
7. **Montemor, M. F.** Smart Composite Coatings and Membranes. *Woodhead Publishing*, 2015, 490, doi: 10.1016/C2013-0-16518-X.
8. **Mal'tseva, S. V., Mel'nikova, I. P., Lyasnikova, A. V., Zaharevich, A. M.** Structure and properties of modified plasma-sprayed composite coatings on titanium base. *Mechanics of Composite Materials*, 2016, **52**, 531-534, doi: 10.1007/s11029-016-9603-2.
9. **Borisov, Yu. S., Borisova, A. L., Astahov, E. A.** Detonatsionnye pokryitiya iz kompozitsionnogo poroshka

- ferromolibden–karbid kremniya, poluchennogo metodom mehanohimicheskogo sinteza [Detonation coatings from composite powder ferromolybdenum – silicon carbide, obtained by the method of mechanic-chemical synthesis]. *Avtomaticheskaya svarka [Automatic welding]*, 2014, **3**, 28-35
10. **Korzhih, V. N., Borisova, A. L., Gordan, G. N., Lyutik, N. P., Chayka, A. A., Kayda, T. V.** Osobennosti strukturyi pokryitiy iz poroshkovoy provoloki sistemyi Fe–Cr–Al poluchennyih v usloviyah sverhzhukovoy elektrodugovoy metallizatsii [Peculiarities of the structure of coatings from flux-cored wire of the Fe – Cr – Al system obtained under superionic arc metallization conditions]. *Avtomaticheskaya svarka [Automatic welding]*, 2014, **2**, 33-38.
11. **Dubovoj, A.N., Prokudin, S.A., Karpechenko, A.A.** Manufacture of coatings with mixed compositions by means of powder arc spraying using a facility developed specifically for this purpose. *Thermal spray bulletin*, 2013, **2**, 102-107.
12. **Duboviy, O. M., Bobrov, M. M., Nedelko, Yu. E., Chechel, O. V.** Vpliv parametriv rezhimu napileniya pokrytivy schodo otrimannya nanomasshtabnoyi substrukturni z pidvischenoyu stabilnistyu [Influence of spray parameters on obtaining nanoscale substructure with increased stability]. *Zb. nauk. prats NUK [Collection of scientific papers]*, 2016, **4**, 35- 40.
13. **Duboviy, O. M., Karpechenko, A. A., Bobrov, M. M., Zhdanov, O. O., Makruha, T. O., Nedelko, Yu. E.** Formuvannya nanorozmirnoyi poligonizatsiynoyi substrukturni ta yiyi vpliv na fiziko-mehanichni vlastivosti metaliv i splaviv ta napilennyh pokrytivy [Formation of nanosized polygonal substructure and its influence on physical and mechanical properties of metals and alloys and spray coatings]. *Metallofizika i noveyshie tehnologii [Metallophysics and the latest technology]*, 2017, **2**, 209-1243, doi: 10.15407/mfint.39.02.0209.
14. **Gorelik, S. S., Rastorguev, L. N., Skakov, Yu. A.** Rentgenograficheskii i elektronnoopticheskii analiz [X-ray and electron optical analysis]. М.: Metallurgy, 1970, 336.
15. **Odintsov, L. G.** Uprochnenie i otelka detaley povehnostnyim plasticheskim deformirovaniem: Spravochnik [Hardening and finishing of parts by surface plastic deformation. Directory]. М.: Metallurgy, 1987, 328.
16. **Ivashko, V. S., Buykus, K. V.** Analiz materialov dlya vosstanovleniya sheek valov aktivirovannyim elektrodugovym napyleniem [Analysis of materials for the restoration of the necks of shafts by activated arc spraying]. *Nauka – obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike : materialy 14-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Minsk : BNTU [Science - education, production, economics: materials of the 14th International Scientific and Technical Conference. Minsk: BNTU]*, 2016, **2**, 121.
17. **Dubovyi, O. M., Chechel, O. V., Bobrov, M. M., Nedel'ko, Yu. Ye.** Perspectives of improved physical and mechanical properties of thermal coatings by electropulse exposure. *Naukoviy visnik NGU [Scientific Bulletin of of National Mining University]*, 2017, **1**, 82-87.

Сведения об авторах (About authors)

Дубовий Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, завідувач кафедри матеріалознавства і технології металів, м. Миколаїв, Україна; ORCID: 0000-0002-2843-1879; e-mail: oleksandr.dubovij@nuos.edu.ua.

Oleksandr Duboviy – Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Shipbuilding named by admiral Makarov, Head of Department Material science and technology of metals, Mykolaiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-2843-1879; e-mail: oleksandr.dubovij@nuos.edu.ua.

Карпеченко Антон Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів, м. Миколаїв, Україна; ORCID:0000-0002-7543-4159; e-mail: karpchenkoanton@gmail.com.

Anton Karpechenko – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Docent, National University of Shipbuilding named by admiral Makarov, Docent of Department Material science and technology of metals, Mykolaiv, Ukraine; ORCID:0000-0002-7543-4159; e-mail: karpchenkoanton@gmail.com.

Бобров Максим Миколайович – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна; ORCID: 0000-0002-9098-6912; e-mail: laborantmtm@gmail.com.

Maksym Bobrov - Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Scientific Associate, National University of Shipbuilding named by admiral Makarov, Mykolaiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9098-6912; e-mail: laborantmtm@gmail.com.

Шкурат Сергій Іванович – кандидат хімічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів, м. Миколаїв, Україна.

Serhiy Shkurat - Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Docent, National University of Shipbuilding named by admiral Makarov, Docent of Department Material science and technology of metals, Mykolaiv, Ukraine.

Лимар Олександр Олександрович – кандидат фізико-математичних наук, Миколаївський національний аграрний університет, асистент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, м. Миколаїв, Україна; ORCID: 0000-0001-9471-8272; e-mail: aleksandr1402a@mail.ua.

Oleksandr Lyamar - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Mykolaiv National Agrarian University, Assistant of Department of tractors and agricultural machinery, operation and technical service, Mykolaiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9471-8272; e-mail: aleksandr1402a@mail.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Дубовий, О. М. Формування термічно стійкої полігонізаційної субструктури з підвищеними властивостями в електродугових покриттях / **О. М. Дубовий, А. А. Карпеченко, С. І. Шкурат, М. М. Бобров, Є. Ю. Неделько** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 3–10. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.01.

Please cite this article as:

Dubovyy, O., Karpechenko, A., Bobrov, M., Shkurat, S., Lyamar, O. Formation of a thermally sustainable polygonization substructure with enhanced properties in electric arc coatings. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 10 (1335), 3–10, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.01.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Дубовой, А. Н. Формирование термически стойкой полигонизационной субструктуры с повышенными свойствами в электродуговых покрытиях/ **А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко, М. Н. Бобров, С. И. Шкурат, А. А. Лимарь** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 3–10. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.01

АННОТАЦИЯ В работе исследована возможность формирования электродуговых стальных покрытий из проволок марок 65Г и Св-08Г2С с частично термически стабилизированной полигонизационной субструктурой за счет дополнительной деформации и термической обработки. Установлено, что дополнительная деформация прессованием на 25% и 30% электродуговых стальных покрытий из проволоки 65Г и 20% и 30% покрытий из проволоки Св-08Г2С позволяет повысить продолжительность выдержки при термической обработке до 15 ... 20 мин без существенного снижения твердости за счет формирования субструктуры с повышенной термической стойкостью. Методом рентгеноструктурного анализа рассчитан средний размер субзерен, угол их разориентировки и среднее количество наноструктурных элементов в напыленных покрытиях. Показано, что средний размер субзерен электродуговых покрытий уменьшается при деформации, что приводит к стабилизации субструктуры, на 40 ... 45% по сравнению с покрытиями после напыления. Кроме того, при проведении термической обработки и дополнительной деформации обеспечивается увеличение количества наноструктурных элементов с 18 до 32 ... 35% и повышается средний угол разориентировки субзерен. Исследовано влияние поверхностной пластической деформации методом дробеструйной обработки на возможность формирования термически устойчивой полигонизационной субструктуры в покрытиях из проволоки 65Г. Установлены оптимальные температурно-временные параметры термической обработки указанных покрытий по показателю микротвердости по глубине наклепанного слоя. Дробеструйная обработка обеспечивает стабилизацию полигонизационной субструктуры при термической обработке при продолжительности выдержки 40 минут. Проведены экспериментальные исследования влияния термической обработки, поверхностной пластической деформации и комбинированной деформационно-термической обработки на прочность и износостойкость электродуговых покрытий из проволоки 65Г. Установлено, что проведение термической обработки покрытий из проволоки 65Г обеспечивает повышение прочности сцепления на 30% по сравнению с покрытиями после напыления за счет уменьшения внутренних напряжений. Термическая обработка дополнительно деформированных покрытий обеспечивает значительное повышение прочности сцепления по сравнению с термообработанными покрытиями без деформации. Показано, что термическая обработка обеспечивает повышение износостойкости покрытий из 65Г на 45% по сравнению с состоянием после напыления.

Ключевые слова: газотермическое покрытие; термическая обработка; субструктура; твердость; полигонизация; деформация

Поступила (received) 27.05.2019

УДК 622.834:622.862.3

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.02

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА С ПОДАТЛИВОЙ ОПОРОЙ РАЗЛИЧНОЙ ЖЕСТКОСТИ НА МОДЕЛЯХ

**И. В. ИОРДАНОВ¹, Ю. И. СИМОНОВА¹, А. В. ПОЛОЖИЙ¹, С. В. ПОДКОПАЕВ¹,
В. Ю. ДОВГАЛЬ², А. В. КОРОЛЬ³**

¹ГВУЗ «ДонНТУ» МОН Украины, г. Покровск, УКРАИНА

²ГП «Национальная угольная компания» Минтопэнерго, г. Киев, УКРАИНА

³ ПСП «Шахтоуправление «Добропольское» ООО «ДТЭК Добропольеуголь»», г. Доброполье, УКРАИНА

*e-mail: yuliiia.simonova@donntu.edu.ua

АННОТАЦИЯ Целью работы является изучение устойчивости пород кровли угольного пласта с податливой опорой при действии динамических нагрузок. Для достижения поставленной цели были выполнены лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов, когда кровля угольного пласта была представлена в виде балки, которая опиралась на податливую опору различной жесткости, в зависимости от вариантов моделирования. При проведении исследований изучалось поведение моделируемой деформируемой системы после силового воздействия падающей породы на балку и было установлено, что с учетом неоднородности материала балки, при наличии податливой опоры из разрыхленной горной породы, имеющей различный гранулометрический состав, пустотность и насыпную плотность, деформация балки во времени будет отставать от ее перемещения на величину сдвига фазы, причем, чем меньше жесткость податливой опоры, тем больше отставание во времени. Максимальное перемещение балки в моделируемой системе, определяется величиной статического сжатия податливой опоры и возможного отклонения центра масс от положения равновесия при ударе. При таком взаимодействии балки с податливой опорой, количество энергии, затрачиваемой на деформирование балки, зависит от жесткости податливой опоры, продолжительности удара и промежутка времени, между окончанием действия внешней силы и максимальным перемещением балки, которая имеет податливые опорные связи. Доказано, что устойчивость моделируемой деформируемой системы обеспечивается в условиях, когда податливая опора из разрыхленной горной породы, на которую опираются породы кровли позади очистного забоя, имеет пустотность не более $M \leq 20\%$ и не менее $M \geq 7\%$, при увеличении ее насыпной плотности. При увеличении или уменьшении пустотности податливой опоры, при действии динамических нагрузок, происходит разрушение моделируемой балки. Выполненный комплекс лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов показывает, что наличие податливой опоры из разрыхленной горной породы обоснованного гранулометрического состава для поддержания кровли угольного пласта позади очистного забоя при действии динамических нагрузок, обеспечивает устойчивость боковых пород в окрестности поддерживаемых горных выработок.

Ключевые слова: горное давление; обрушения; очистной забой; динамические нагрузки; податливая опора; закладка выработанного пространства.

A STUDY OF THE STABILITY OF THE ROOF OF THE COBLED PLATE WITH THE SUPPRESSIONAL SUPPORT OF VARIOUS HARDNESS ON MODELS

I. IORDANOV¹, Y. SIMONOVA¹, A. POLOZHIIY¹, S. PODKOPAIEV¹, V. DOVGAL², A. KOROL³

¹Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, UKRAINE

² State enterprise "Mirnogradugol", Mirnograd, UKRAINE

³ PSP "Dobropolskoye Mine Administration" DTEK Dobropolyeugol LLC ", Dobropolye, UKRAINE

ABSTRACT The aim of the work is to study the stability of the roof rocks of the coal seam with a malleable support under the action of dynamic loads. To achieve this goal, laboratory studies were performed on models of equivalent materials, when the roof of the coal seam was presented in the form of a beam, which rested on a flexible support of various rigidity, depending on the modeling options. During the studies, the behavior of the simulated deformable system after the force of a falling rock on a beam was studied and it was found that taking into account the heterogeneity of the beam material, if there is a flexible support from loose rock that has different particle size, voidness and bulk density, the beam will be deformed over time lag behind its movement by the amount of phase shift, and, the lower the stiffness of the pliable support, the greater the time lag. The maximum displacement of the beam in the simulated system depends on the static compression of the compliant support and the possible deviation of the center of mass from the equilibrium position upon impact. With this interaction of the beam with a malleable support, the amount of energy spent on the beam deformation depends on the stiffness of the flexible support, the duration of the impact and the time interval between the end of the external force and the maximum movement of the beam, which has compliant support links. It has been proven that the stability of the simulated deformable system is ensured under conditions when the compliant support from the loosened rock, on which the roof rocks are behind the clearing face, has a hollowness of not more than $M \leq 20\%$ and not less than $M \geq 7\%$, with an increase in its bulk density. With an increase or decrease in the hollowness of the pliable support, under the action of dynamic loads, destruction of the simulated beam occurs. A complex of laboratory studies on models of equivalent materials shows that the presence of a malleable support from loosened

rock of reasonable particle size to maintain the roof of the coal seam behind the stope under the action of dynamic loads, ensures the stability of lateral rocks in the vicinity of the supported mine workings.

Keywords: rock pressure; collapse; highwall mining; dynamic loads; ductile support; laying out the space developed.

Введение

Опыт работы шахт Донбасса показывает, что с ростом глубины горных работ в углепородном массиве вмещающем горные выработки, начинает проявляться такой природный фактор, как расслоение боковых пород, оказывающий существенное влияние на их последующее поведение позади очистного забоя. Особенно это прослеживается при разработке угольных пластов крутонаклонного и крутого залегания на большой глубине, когда обрушения расслоившейся толщи, очень часто приводят к завалу горных выработок и возможному травматизму горнорабочих. Эффективность отработки угольных пластов и безопасность ведения горных работ в таких условиях, в значительной степени зависит от способа управления кровлей в очистном забое и состояния горных выработок.

При традиционных способах управления горным давлением полным обрушением или удержанием кровли на кострах, применяемая в очистном забое крепь, не всегда способна противостоять сдвигению боковых пород, особенно при внезапных обрушениях нарушенной толщи. Применяемые в настоящее время способы охраны штреков различными конструкциями из дерева (кусты из стоек, органичный ряд) или целиками угля, так же не всегда обеспечивают надежную защиту выработок от вредных проявлений горного давления, в т. ч. внезапных обрушений и сползаний расслоившейся породной толщи.

Аварии, произошедшие при обрушениях боковых пород в угольных шахтах, как правило, сопровождаются крупным материальным ущербом и невозможной утратой человеческой жизни. Поэтому, изучение природы обрушений, их влияние на состояние боковых пород и, на основе этого, разработка эффективных мероприятий, направленных на сохранение горных выработок в эксплуатационном состоянии, будет способствовать созданию условий безопасного ведения горных работ в глубоких шахтах.

Традиционно считается, что проявления горного давления в выработках зависят от совокупного влияния многих горно-геологических факторов, к которым первостепенно следует относить, напряженное состояние осадочных горных пород и их физико-механические свойства. Наряду с этим, изучение особенностей проявления горного давления в выработках на большой глубине позволило установить, что характер его опасных проявлений определяется не только напряженным состоянием массива осадочных горных пород и их физико-механическими свойствами, но и спецификой формирования последнего, обусловившей неупругое деформирование при объемном сжатии, а также

способность деформироваться и разрушаться при разгрузке [1].

Внезапность обрушений расслоившейся толщи, приводящих к завалам горных выработок, является одной из особенностей разработки угольных пластов в условиях больших глубин. Вместе с тем, это обуславливается не только горно-геологическими, но и горно-техническими факторами. К последним следует относить несоответствие применяемых способов управления кровлей в очистном забое и охраны участков подготовительных выработок, конкретным условиям их эксплуатации.

Исследованиями ДонУГИ и ДонНТУ ранее было установлено, что закладочный массив предотвращает развитие сдвижений боковых пород в окрестности выработок и создает зоны устойчивых пород позади очистного забоя [2,3]. Механизм взаимодействия закладочного массива с оседающими породами, заключаются в закрытии над закладочным массивом трещин разлома пород кровли угольного пласта, что обеспечивает устойчивость подработанной толщи [4]. Очевидно, существенно изменить геомеханическую обстановку в углепородном массиве вмещающем выработки, можно за счет применения закладки выработанного пространства, что будет способствовать повышению безопасности труда горнорабочих в подземных условиях.

Постановка задачи

Целью работы является изучение устойчивости пород кровли угольного пласта с податливой опорой, при действии на боковые породы динамических нагрузок.

Для достижения поставленной цели были выполнены лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов, когда породы кровли угольного пласта были представлены в виде балки с податливой опорой, имеющей различную насыпную плотность и пустотность, в зависимости от вариантов моделирования.

Материалы и результаты исследований

Исходя из того, что любая динамическая нагрузка вынуждает деформируемую систему перемещаться [5,6], задача исследования устойчивости изучаемого объекта, при действии на объект динамических нагрузок, состоит в определении усилий и перемещений, порождаемых инерционными силами и статической компонентой внешнего воздействия, когда система совершает движение, т.е. изгибается. Для смягчения действия динамических нагрузок и ограничения величины перемещений изучаемого объекта, для обеспечения устойчивого состояния

моделируемой системы в таких условиях, рекомендуется применение податливых опор [5-9].

Для того, чтобы оценить влияние податливой опоры на величину изгибных деформаций пород кровли угольного пласта при действии динамических нагрузок, были выполнены исследования на моделях из эквивалентных материалов. Эксперименты были выполнены на специальном стенде, в лаборатории горного давления ДонНТУ, когда породы кровли угольного пласта были представлены в виде породной балки длиной $L_6=0,6$ м, толщиной $h=0,02$ м и шириной $B=0,04$ м. Масса балки соответствовала $m_6=1,4$ кг, модуль упругости $E=8800$ МПа, плотность $\rho=2100$ кг/м³. Балка была изготовлена из песчано-цементной смеси, согласно рекомендаций [10-12] и нагружалась внешней силой P , (Н). С одной стороны балка имела жесткое закрепление в т. А, на расстоянии $AB=2a$ балка опиралась на податливую опору из разрыхленной горной породы различной насыпной

плотности $\rho_{н.п.}$, (кг/м³) и пустотности M , (%), в зависимости от вариантов моделирования (рис.1). Гранулометрический состав и пустотность податливой опоры были определены в соответствии с [13]. Гранулометрический состав разрыхленной горной породы, пустотность M , (%) и насыпная плотность податливой опоры, по вариантам моделирования, представлены в табл. 1.

Масштаб моделирования соответствовал 1:100. Фото стенда, на котором проводились эксперименты, представлено на рис. 1.

Величина изгибных деформации пород кровли угольного пласта определяет устойчивость балки, а безразмерная величина y , является прочностной характеристикой и зависит от основных параметров моделируемой системы, т.е.

$$y = f(h, B, L_6, \rho, F, E) \quad (1)$$

Таблица 1 - Гранулометрический состав, насыпная плотность и пустотность податливой опоры

Варианты моделирования	Размеры частиц, мм						Насыпная плотность $\rho_{н.п.}$, (кг/м ³)	Пустотность, M , %
	>4.0	4.0	3.0	2.0	1.0	<1.0		
№1	-		-	-	-	100%	1980	6
№2	3%	17%	21%	24%	19%	16%	1840	12
№3		100%	-	-	-	-	1680	20
№4	100%						1640	22

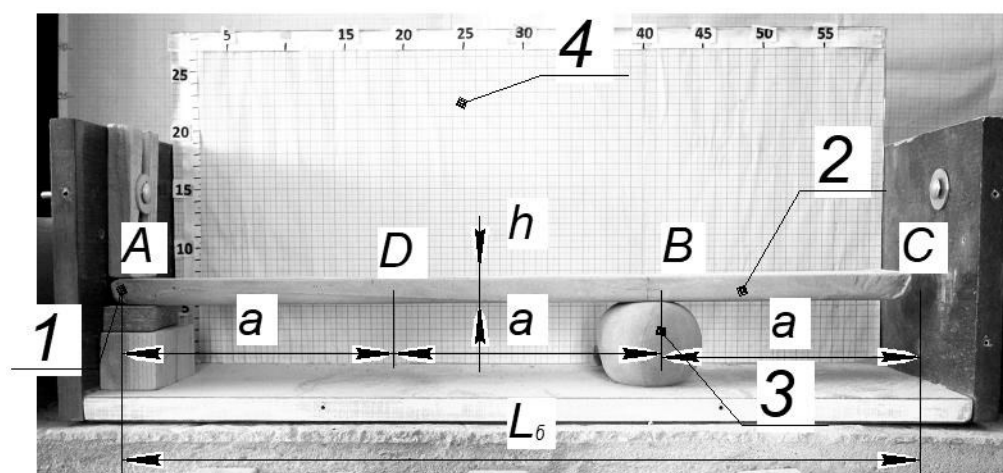


Рис. 1 – Фото стенда для изучения устойчивости пород кровли угольного пласта с податливой опорой различной жесткости C_n , (кН/м) при действии динамических нагрузок: 1- жесткая опора; 2- балка- непосредственная кровля; 3- податливая опора из разрыхленной горной породы; 4- стенд с координатной сеткой; C- точка соударения балки с падающим грузом, L_6 - длина балки, м; $AC=L_6$; B- место расположения податливой опоры, $AB=2a$, D- середина пролета балки; h- толщина балки, м; $a=0,2$ м; $L_6=0,6$ м

Используя π -теорему [14] и значимость каждого из перечисленных в (1) параметров, когда в качестве независимых размерностей выбраны (н) и (м), параметрическое уравнение в безразмерном виде можно представить, как

$$y = f\left(\frac{B}{L_0}; \frac{h}{L_0}; \frac{E}{\rho g L_0}; \frac{F}{EL_0^2}\right), \quad (2)$$

из чего следует, что в рассматриваемой модели, определяющим является линейный масштаб.

Число наблюдений n , которые необходимо выполнить для получения достаточно надежных и достоверных результатов моделирования, с показателем точности $\varepsilon = 5\%$, было установлено в соответствии с [14], по выражению

$$n = \frac{V_c^2 t_{ct}^2}{\varepsilon^2}, \quad (3)$$

где V_c – коэффициент вариации, принимаем равным $V_c = 8\%$; t_{ct} – критерий Стьюдента, $t=1,96$, и соответствовало $n \approx 10$.

Таблица 2- Экспериментальные значения величины прогиба балки X , (м) и жесткости податливой опоры C_n , (кН/м)

Показатели	Варианты моделирования		
	1	2	3
	$\rho_{н.п.}=1980 \text{ кг/м}^3$	$\rho_{н.п.}=1800 \text{ кг/м}^3$	$\rho_{н.п.}=1700 \text{ кг/м}^3$
Величина прогиба X , (м)	0.0014	0.005	0.0068
Жесткость податливой опоры C_n , (кН/м)	11.2	3.1	2.3

На рис. 2 представлены графики, отражающие изменение величины прогиба балки X , (м) от изменения жесткости податливой опоры C_n , (кН/м), с учетом ее насыпной плотности $\rho_{н.п.}$, (кг/м³) и пустотности M , (%).

Из приведенных зависимостей видно, что с увеличением жесткости податливой опоры C_n , (кН/м), насыпная плотность $\rho_{н.п.}$, (кг/м³) увеличивается, а пустотность M , (%) – уменьшается (рис. 2).

При падении породного блока массой $m=0.2$ кг с высоты $H=0.3$ м, прогиб балки X , (м) уменьшается при увеличении жесткости податливой опоры C_n , (кН/м). Максимальный прогиб балки, равный $X=0.0068$ м отмечен при минимальной жесткости податливой опоры, когда $C_n=2.3$ кН/м. Минимальный прогиб балки, равный $X=0.0014$ м, зафиксирован в случае, когда жесткость податливой опоры соответствовала $C_n=11.2$ кН/м. Экспериментально доказано, что разрушение моделируемой балки в рассматриваемой системе, а, следовательно, обрушение пород кровли при действии динамических нагрузок, происходит в условиях, когда пустотность податливой опоры, предназначенной для поддержания пород кровли угольного пласта позади очистного

При проведении экспериментов было отработано для каждого из вариантов по 10 моделей.

При испытании моделей перемещения и деформации балки, регистрировались цифровой фотокамерой Canon. По фотографическим изображениям, с помощью пиксельных координат точек, с использованием основных принципов фотограмметрии [15], определялось положение моделируемой балки в пространстве до и после действия на нее внешней силы.

В результате действия внешней силы, экспериментально была установлена величина прогиба балки X , (м), которая опиралась на податливую опору из разрыхленной породы и на основе этого, определялась жесткость податливой опоры C_n , (кН/м). Для определения величины прогиба балки, породный блок массой $m=0.2$ кг, с высоты $H=0.3$ м, одноразово сбрасывали на балку в точку С, находящуюся на расстоянии $L=0.6$ м от опоры А (рис.1). При моделировании рассматривали неупругий удар. Результаты экспериментов, представлены в табл. 2.

забоя, больше $M \geq 20\%$ или меньше $M \leq 7\%$, при увеличении ее насыпной плотности.

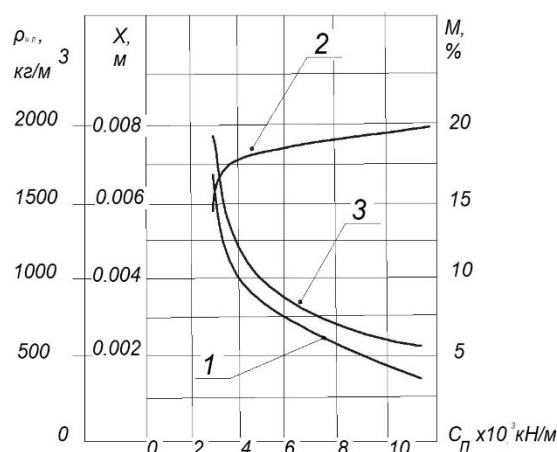


Рис.2 – Графики, отражающие изменение величины прогиба балки X , (м) и жесткости податливой опоры C_n , (кН/м), с учетом насыпной плотности $\rho_{н.п.}$, (кг/м³) и пустотности M , (%): 1- X , (м); 2- $\rho_{н.п.}$, (кг/м³); 3- M , (%)

Следует отметить, что в результате соударения падающего груза с балкой, которая опирается на податливую опору, происходит сжатие опоры. Очевидно то, что при падении груза массой $m=0.2$ кг на балку, максимальная величина сжатия опоры, равна сумме ее статического сжатия $\frac{mg}{c}$, (м) и амплитуды гармонических колебаний a , (м), т.е.

$$\Delta X = \frac{mg}{c} + a \quad (4)$$

В данном случае, параметр a , (м), представляет собой возможное отклонение центра масс моделируемой деформируемой системы от положения равновесия.

Известно [16], что когда $t=0$,

$$x_0 = -\frac{mg}{c} \quad (5)$$

А

$$\dot{x} = \frac{m}{m+m_6} \sqrt{2gH} \quad (6)$$

где m_6 -масса балки, кг.

Учитывая то, что

$$a \sin \alpha = -\frac{mg}{c}, \quad (7)$$

а

$$ak \cos \alpha = \sqrt{2gH} \frac{m}{m+m_6}, \quad (8)$$

после соответствующих математических преобразований, получим

$$a = \sqrt{\frac{m^2 g^2}{c^2} + 2gH \frac{m^2}{c(m+m_6)}} \quad (9)$$

Тогда, с учетом вышеизложенного, максимальная величина сжатия податливой опоры ΔX , (м), после падения породного блока массой m , (кг) на балку, определяется как

$$\Delta X = \frac{mg}{c} + \sqrt{\frac{m^2 g^2}{c^2} + 2gH \frac{m^2}{c(m+m_6)}} \quad (10)$$

Известно [17,18], что в качестве количественного показателя демпфирующей способности динамической системы с податливой опорой, используется коэффициент диссипации ψ , который определяется по выражению

$$\psi = 2\delta \quad (11)$$

где δ - логарифмический декремент затухания колебаний.

Логарифмический декремент δ представляет собой качественную характеристику затухания колебаний в моделируемой деформируемой системе [17,19]. Этот показатель описывает уменьшение амплитуды колебательного процесса в изучаемой системе.

Для оценки демпфирующих свойств такой системы, используют коэффициент потерь η , определяемый как в [5], по выражению

$$\eta = \frac{2\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (12)$$

На рис. 3 представлены графики, отражающие изменение величины максимального сжатия податливой опоры ΔX , (м) после падения породного блока на балку, возможного отклонения балки от положения равновесия a , (м), коэффициентов диссипации ψ и потерь η с учетом жесткости податливой опоры C_n , (кН/м).

Из полученных зависимостей видно, что с учетом изменения жесткости податливой опоры, величина ее максимального сжатия изменяется и при $C_n=11.2$ кН/м принимает минимальные значения $\Delta X=0.004$ м. Затем, по мере уменьшения жесткости опоры до величины равной $C_n=2.3$ кН/м, значение ΔX , (м) увеличивается до $\Delta X=0.009$ м, т.е. в 2,25 раза (рис. 3). При этом изменяется величина максимального отклонения балки от положения равновесия a , (м). Причем, с увеличением жесткости податливой опоры с $C_n=2.3$ кН/м до $C_n=11.2$ кН/м, т.е. в 4,8 раза, величина a , (м), уменьшается, соответственно, с $a=0.008$ м до $a=0.004$ м, т.е. в 2 раза. Отмечено, что с увеличением жесткости податливой опоры, значения коэффициентов диссипации ψ и потерь η , уменьшаются (рис. 3).

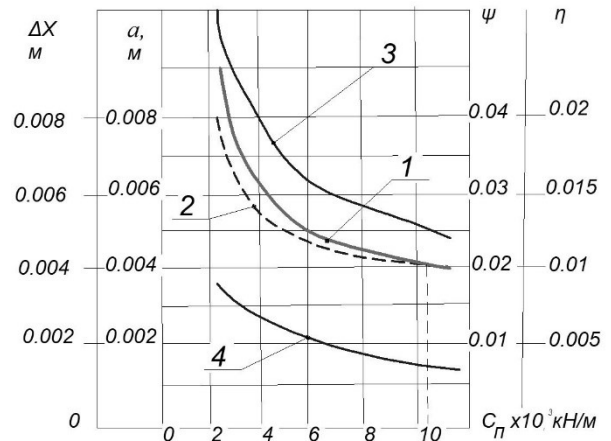


Рис. 3 – Графики, отражение изменение величины максимального сжатия податливой опоры ΔX , (м), на которую опирается балка, возможного отклонения балки от положения равновесия a , (м), коэффициентов диссипации ψ и потерь η от жесткости опоры C_n , (кН/м); масса падающего груза $m=0.2$ кг, высота падения $H=0.3$ м: 1- ΔX , (м); 2- a , (м); 3- ψ ; 4- η

При изучении изменения величины максимального сжатия податливой опоры ΔX , (м) и возможного отклонения балки от положения равновесия a , (м), с учетом изменения жесткости опоры C_n , (кН/м) (рис. 3, зависимость 1,2), экспериментально установлено, что при жесткости податливой опоры $C_n \geq 10.2$ кН/м, когда величина ее максимального сжатия ΔX , (м) равна величине возможного отклонения балки от положения равновесия, т.е., при $a \approx \Delta X$, (м), в результате действия динамической нагрузки на балку, происходит разрушение моделируемой системы. В случае, когда $C_n \leq 10.2$ кН/м и $a < \Delta X$, (м), моделируемая система находится в устойчивом состоянии.

В теории колебаний, при анализе собственных колебаний изучаемого объекта, часто применяют спектральные методы, сущность которых заключается в замене исследуемых физических величин, таких как внешняя сила и жесткость, их спектрами. Знание динамической жесткости податливого основания, позволяет определить плотность амплитудного спектра движений, возникающих в деформируемой системе после удара. Однако от момента удара, зависит не плотность амплитудного спектра, а фазовый спектр [17,19,20].

При исследовании фазовых соотношений между действием внешней силы и откликом податливого основания, в моделируемой системе – податливой опоры, ранее было установлено, что отклик последнего всегда отстает от воздействия [17,20]. Поэтому, в случае воздействия на балку внешней силы, при исследовании затухающих колебаний моделируемой системы, когда тело одновременно совершает одинаковые движения, сравниваемые спектры должны отличаться друг от друга только сдвигом [17].

Согласно [21], между существующими характеристиками, описывающими движение рассматриваемой деформируемой системы, существует взаимосвязь, которая позволяет определить величину сдвига фазы $tg\varphi$ по выражению

$$tg\varphi = \frac{x \cdot k}{v} \quad (13)$$

Однако с учетом того, что жесткость податливой опоры может изменяться, сдвиг фазы во времени $tg\varphi$, предлагается определять как

$$tg\varphi = \frac{mg}{c} \cdot \frac{k}{v} \quad (14)$$

где $V = \sqrt{2gH}$ - скорость падения породного блока, м/с; k - частота собственных колебаний балки в моделируемой системе, 1/с.

Действительно, из-за неоднородности материала балки, с учетом величины внешней силы, при наличии податливой опоры, которая имеет

различный гранулометрический состав, а следовательно, пустотность и насыпную плотность, деформация будет отставать от перемещения во времени на величину сдвига фазы $tg\varphi$, которая зависит от физико-механических свойств балки, ее массы и жесткости податливой опоры. Исходя из этого, деформации, вызванные соответствующими перемещениями, достигают своего наибольшего значения не одновременно с окончанием действия внешней силы, а через некоторую величину $tg\varphi$, одно после другого.

В результате такого взаимодействия, когда необходимо учитывать продолжительность удара, уравнение движения балки в моделируемой системе, можно представить в виде

$$x = a \sin(kt + \varphi) + \frac{mg}{c} \quad (15)$$

Очевидно то, что максимальное перемещение балки в любом из вариантов моделирования, будет при ΔX , т.е. когда выполняется условие

$$\sin(kt + \varphi) = 1 \quad (16)$$

а

$$(kt + \varphi) = \frac{\pi}{2} \quad (17)$$

Продолжительность удара $t_{уд}$, (с), можно определить как в [22], по выражению

$$t_{уд} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{x}{g}} \quad (18)$$

а время Δt , (с), в течение которого перемещение балки достигает максимальных значений, с учетом (15), (16) и (17) по выражению

$$\Delta t = \frac{1}{k} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right), \quad (19)$$

На рис. 4 представлены графики, отражающие изменение продолжительности удара $t_{уд}$, (с), промежутка времени, в течение которого перемещение балки достигает максимальных значений Δt , (с) и величины сдвига фазы во времени $tg\varphi$, с учетом жесткости податливой опоры C_n , (кН/м), на которую опирается балка.

Из приведенных зависимостей видно, что с увеличением жесткости податливой опоры, продолжительность удара $t_{уд}$, (с) и промежутков времени, в течении которого перемещение балки достигает максимальных значений Δt , (с), уменьшается. В результате такого взаимодействия балки с податливой опорой, происходит сдвиг фазы во времени $tg\varphi$, когда после окончания действия внешней силы, движение балки продолжается. Причем, с

увеличением жесткости опоры, сдвиг фазы уменьшается (рис. 4).

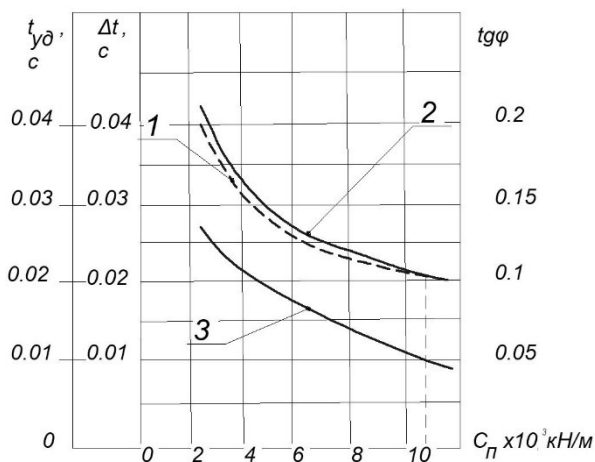


Рис. 4 – Графики, отражающие изменение продолжительности удара $t_{уд}$, (с), промежутка времени Δt , (с) и величины сдвига фазы во времени $tg\varphi$ от жесткости податливой опоры C_n , (кН/м):
1 - $t_{уд}$, (с); 2 - Δt , (с); 3 - $tg\varphi$

Установлено, что при жесткости податливой опоры $C_n=2.3$ кН/м, продолжительность удара $t_{уд} = 0.041$ с, а время, в течение которого перемещения балки достигает максимальных значений $\Delta t = 0.044$ с. Разница между этими величинами составляет 0.003 с. В случае, когда жесткость податливой опоры $C_n= 3.1$ кН/м, разница между исследуемыми величинами составляет 0.002 с. При жесткости податливой опоры $C_n= 11.2$ кН/м, $t_{уд} = \Delta t$, (с) (рис. 4, зависимость 1 и 2). Очевидно то, что в случае, когда $a \approx \Delta X$, и $t_{уд} = \Delta t$ (с) происходит разрушение моделируемой системы при действии динамических нагрузок на балку (рис. 3 и рис. 4, зависимости 1,2).

Считаем, что за время удара, обрушившаяся на балку порода, заставляет балку перемещаться и деформироваться, в результате чего совершается работа A , (Дж). Мощность N , (Вт), затрачиваемая на перемещение и деформирование балки, с учетом времени, в течение которого перемещения балки достигают максимальных значений, определяется по выражению [23]

$$N = \frac{A}{\Delta t} \quad (20)$$

Полагаем, что работа A , (Дж), затрачиваемая на перемещение балки, накапливается в сжимаемом теле-податливой опоре, в виде потенциальной энергии и, в первом приближении, определяется как в [23], по выражению

$$A = \frac{cx^2}{2} \quad (21)$$

При этом, значение коэффициента неупругого сопротивления γ , можно определить по выражению [24]

$$\gamma = \frac{\psi}{2\pi'} \quad (22)$$

когда известно отношение амплитуды неупругой деформации к величине упругой деформации.

Физической величиной, определяющей характер колебаний в деформируемой системе, является коэффициент демпфирования, определяемый как в [16,24] по выражению

$$\xi = \frac{r}{2mk}, \quad (23)$$

где r - коэффициент силы сопротивления движения, $r = 0.3 - 0.5$ кг/с; m - масса моделируемой системы, кг.

Модальный коэффициент демпфирования ξ характеризует роль демпфирования в моделируемой системе, которая подвержена колебаниям с первоначальным перемещением X , (м). Считается [16,24], чем меньше значения этого коэффициента, тем дольше будут длиться колебания, а при $\xi \geq 1$, никаких движений динамическая система не совершает.

На рис. 5 представлены графики, отражающие изменение коэффициентов демпфирования ξ и неупругого сопротивления γ в деформируемой системе, работы A , (Дж) и мощности N , (Вт), затрачиваемых на перемещение балки после удара, с учетом жесткости податливой опоры C_n , (кН/м).

Из приведенных зависимостей видно, что с увеличением жесткости податливой опоры, значения коэффициентов демпфирования ξ и неупругого сопротивления γ , уменьшаются. При этом уменьшается количество энергии, затрачиваемой на перемещение и деформирование балки после удара (рис. 5). С увеличением жесткости податливой опоры, ее демпфирующая способность увеличивается. По всей видимости, демпфирующая способность податливой опоры, играет огромную роль в динамическом поведении моделируемой системы после удара.

В результате выполненных лабораторных исследований устойчивости пород кровли угольного пласта, представленной в виде балки с податливой опорой, при действии динамической нагрузки на боковые породы установлено, что устойчивость моделируемой деформируемой системы, имеющей податливые опорные связи, зависит от величины силового воздействия падающей породы на балку и жесткости податливой опоры C_n , (кН/м), на которую опирается моделируемая балка. При неупругом ударе, когда проявляется действие внешней силы на балку, с учетом полученных экспериментальных данных установлено, что с увеличением жесткости податливой опоры, максимальный прогиб балки уменьшается, а сама система максимально поглощает энергию деформирования, что увеличивает вероятность разрушения боковых пород.

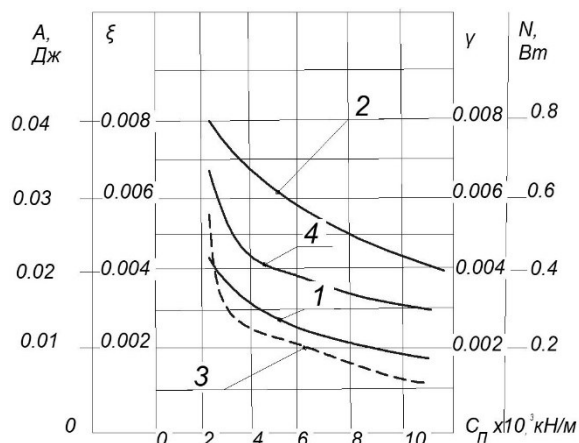


Рис. 5 – Графики, отражающие изменение коэффициентов демпфирования ξ и неупругого сопротивления γ , с учетом работы A , (Дж) и мощности N , (Вт), затрачиваемых на перемещение балки с податливой опорой с учетом ее различной жесткости C_n (кН/м): 1- ξ ; 2- γ ; 3- A , (Дж); 4- N , (Вт)

Таким образом, в моделируемой деформируемой системе с податливыми опорными связями, при изучении ее поведения после силового воздействия падающей породы на балку, величина ее максимального перемещения, зависит от статического сжатия податливой опоры и возможного отклонения центра масс от положения равновесия при ударе. Устойчивость моделируемой системы, в которой породы кровли представлены в виде балки, которая опирается на податливую опору из разрыхленной горной породы, обеспечивается в условиях, когда ее пустотность находится в интервале $M=(7-20)\%$ при уменьшении ее насыпной плотности. При определении перемещений в такой системе, кроме деформаций изгиба балки, необходимо учитывать величину податливости опор, с учетом гранулометрического состава разрыхленной горной породы и динамическую жесткость податливой опоры.

Вывод

Выполненный комплекс лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов показывает, что размещение податливой опоры из разрыхленной горной породы, с учетом обоснованного гранулометрического состава, для поддержания кровли угольного пласта позади очистного забоя, при действии динамических нагрузок, обеспечивает устойчивость боковых пород в окрестности поддерживаемых горных выработок и способствует снижению уровня травматизма при ведении горных работ.

Список литературы

1. **Николин, В. И.** Снижение травматизма от проявлений горного давления / **В. И. Николин, С. В. Подкопаев, А.**

В. Агафонов, Н. В. Малеев. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 332 с.
 2. **Жуков, В. Е.** Малоотходная технология добычи угля / **В. Е. Жуков, В. В. Выстороп, А. М. Колчин и др.** – К.: Техника, 1984. – 144 с.
 3. **Liashok, Ya.** Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development / **Ya. Liashok, I. Jordanov, D. Chepiga, S. Podkopaiev** // *Mining of Mineral Deposits.* – 2018. – Vol.12, Issue 4. – P. 9-19. - doi: 10.1547//mining12.04.009.
 4. **Зборщик, М. П.** Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при применении закладки выработанного пространства / **М. П.Зборщик, С. В. Подкопаев** // *Уголь Украины.* - 1992. - №5. - С. 20-23.
 5. **Шакирзянов, Р. А.** Динамика и устойчивость сооружений / **Р. А. Шакирзянов, Ф. Р Шакирзянов.** – Казань: Казанс. гос. архит-стр. ун-та, 2005. – 120 с.
 6. **Циглер, Ф.** Механика твердых тел и жидкостей / **Ф. Циглер.** - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая механика». - 2002. – 912 с.
 7. **Varuh, H.** Applied Dynamics / **H. Varuh.** – Taylor Francis Group. LLS, 2015. – 872 p.
 8. **Ginsberg, I.** Engineering Dynamics / **I. Ginsberg.** – Cambridge University Press, 2008. – 726 p.
 9. **Kleppner, D.** An introduction to Mechanics / **D. Kleppner, R. Kolenkow.** – Cambridge University Press, 2014. – 542 p.
 10. Національний стандарт України. Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності (EN 196-1:2005, IDT) ДСТУ EN196-1:2007. Київ, Мінбуд України, 2007. – 30с.
 11. **Борщ-Компониц, В. И.** Практическая механика горных пород / **В. И. Борщ-Компониц.** - М: Горная Книга, 2013. – 322 с.
 12. **Дворкин, Л. И.** Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов / **Л. И. Дворкин, В. И. Гоц, О. Л. Дворкин.** - М.: Инфра- Инженерия, 2015. - 418 с.
 13. **Гавриш, М. М.** Механіка гірських порід / Під заг. **С. С. Гребьонкіна, М. М. Гавриш.** - Донецьк: ДонНТУ. - 2004. – 169 с.
 14. **Бриджмен, П. В.** Анализ размерностей / **П. В. Бриджмен.** – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 148 с.
 15. **Обиралов, А. И.** Фотограмметрия / **А. И. Обиралов, А. Н. Лимонов, Н. А. Гаврилова.** - М.: Недра, 1969. - 392 с.
 16. **Ковалева, Н. В.** Опре-деление оптимальных параметров демпфирования в системах сейсмоизоляции / **Н. В. Ковалева, Ю. Л. Рутман, Г. В. Давыдова** // *Инженерно-строительный Журнал. Magazine of Civil Engineering.* – 2013. – №5. – С. 107-115.
 17. **Стрелков, С. П.** Введение в теорию колебаний / **С. П. Стрелков.** – С.-Пб.: Лань, 2005. – 440 с.
 18. *Advances in Vibration Analisic Reserch.* - In Tech. / **F. Ebrahimi.** – 2011. – 456 p.
 19. **Bottega, W. J.** Engineering Vibrations / **W. J. Bottega.** – CRC Press, Taylor&Francis Group, 2006. – 727 p.
 20. **Baddour, N.** Recent Advances in Vibration Analisic / **N. Baddour.** – In Tech., Rijeka, Croatia, 2011. - 236 p.
 21. **Водопьянов, В. И.** Исследование демпфирующих свойств материалов / **В. И. Водопьянов, А. А. Белов.** - Волгоград, ВолгГТУ, 2001. – 12 с.
 22. **Кильчевский, Н. А.** Теория соударений твердых тел / **Н. А. Кильчевский.** - Киев: Наукова думка, 1969. – 246 с.
 23. **Акимов, В. А.** Теоретическая механика. Динамика. В 2ч. Ч2. Динамика материальной точки / **В. А. Акимов и др. /**

Под общ. ред. проф. **А. В. Чигарева** – Минск: Новое знание, 2010. – 863 с.

24. **Гусев, А. Ф.** Прикладная теория колебаний / **А. Ф. Гусев, М. В. Навоселова**. - Тверской госуд. ун-т, 2017. – 160 с.

References (transliterated)

1. **Nikolin, V. I., Podkopaev, S. V., Agafonov, A. V., Maleev, N. V.** Snizheniye travmatizma ot proyavleniy gornogo davleniya [Reduction of injury from the manifestations of rock pressure]. Donetsk, Nord-Press, 2005, 332.
2. **Zhukov, V., Vistorop, V., Kolchin, A. et al.** Malookhodnaya tekhnologiya dobychi uglya [Low-waste coal mining technology]. K., Technics, 1984, 144.
3. **Liashok, Ya., Iordanov, I., Chepiga, D., Podkopaiev, S.** Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*, 2018, **12**, Issue 4, 9-19, doi: 10.1547//mining 12.04.009.
4. **Zborshchik, M., Podkopaev, S.** Mekhanizm povysheniya ustoychivosti krovli v lavakh pri primenenii zakladki vyrabotannogo [The mechanism of increasing the stability of the roof in the pits when using the laying of a goaf]. *Coal of Ukraine*, 1992, **5**, 20-23.
5. **Shakirzyanov, R., Shakirzyanov, F.** Dinamika i ustoychivost' sooruzheniy [Dynamics and stability of structures], Kazan, Publishing House Kazans. state arch-pp. University, 2005, 120.
6. **Ziegler, F.** Mekhanika tverdykh tel i zhidkostey [Mechanics of solids and liquids]. Izhevsk, SIC "Regular and chaotic mechanics", 2002, 912.
7. **Baruh, H.** Applied Dynamics. Taylor Francis Group. LLS., 2015, 872.
8. **Ginsberg, I.** Engineering Dynamics. Cambridge University Press, 2008, 726.
9. **Kleppner, D., Kolenkow, R.** An introduction to Mechanics. Cambridge University Press, 2014, 542.
10. Natsional'nyy standart Ukrayiny. Metody vyprobuvannya tsementu. Chastyna 1. Vyznachennya mitsnosti [National standard of Ukraine. Methods of test of cement. Part 1. Determination of durability] (EN 196-1: 2005, IDT) DSTU EN196-1: 2007. Kiev, Minsk Ukraini, 2007, 30p.
11. **Borscht-Komponiyets, V.** Prakticheskaya mekhanika gornyykh porod [Practical mechanics of rocks mountains]. M., Mountain Book, 2013, 322.
12. **Dvorkin, L., Gotz, V., Dvorkin, O.** Ispytaniya betonov i rastvorov. Proyektirovaniye ikh sostavov [Concrete and solution tests. Designing their compositions]. M., Infra-Engineering, 2015, 418.
13. **Havrish, M.** Mekhanika hirs'kykh pored [Mechanics of rocks]. Pid zah. **S. Hreb'onkina, M. Havrish**. Donets'k, DonNTU, 2004, 169.
14. **Bridgman, P.** Analiz razmernostey [Dimension analysis]. Izhevsk, Scientific and Research Center "Regular and Chaotic Dynamics", 2001, 148.
15. **Obiralov, A., Limonov, A., Gavrilova, N.** Fotogrammetriya [Photogrammetry]. M., Nedra, 1969, 392.
16. **Kovaleva, N., Rutman, Yu., Davydova, G.** Opredeleniye optimal'nykh parametrov dempfirovaniya v sistemakh seysmoizolyatsii [Determination of optimum damping parameters in seismic insulation systems]. *Construction Engineering Journal. Magazine of Civil Engineering*, 2013, **5**, 107-115.
17. **Strelkov, S.** Vvedeniye v teoriyu kolebaniy [Introduction to the theory of oscillations]. S.-Pb., Lan, 2005, 440.
18. Advances in Vibration Analysis Reserch. - In Tech. F. Ebrahimi, 2011, 456.
19. **Bottega, W. J.** Engineering Vibrations. CRC Press, Taylor&Francis Group, 2006, 727.
20. **Baddour, N.** Recent Advances in Vibration Analysis. In Tech., Rijeka, Croatia, 2011, 236.
21. **Vodopyanov, V., Belov, A.** Issledovaniye dempfiroyushchikh svoystv materialov [Investigation of damping properties of materials]. Volgograd, VolgGTU, 2001, 12.
22. **Kilchevsky, N. A.** Teoriya soudareniy tverdykh tel [The theory of collisions of solids]. Kiev, Naukova Dumka, 1969, 246.
23. **Akimov, V.** Teoreticheskaya mekhanika. Dinamika. V 2ch. Chast' 2. Dinamika material'noy tochki [Theoretical mechanics. Dynamics. Part 2. Dynamics of the material point]. Under total. ed. prof. **A.V. Chigareva**. Minsk, New knowledge, 2010, 863.
24. **Gusev, A., Navoselova, M.** Prikladnaya teoriya kolebaniy [Applied theory of oscillations]. Tver State. Univ, 2017, 160.

Сведения об авторах (About the Authors)

Иорданов Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, соискатель кафедры «Охрана труда», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; ORCID: 0000-0001-9991-781X; e-mail: gendir@eme.kiev.ua.

Igor Iordanov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Applicant, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9991-781X; e-mail: gendir@eme.kiev.ua.

Симонова Юлия Игоревна - аспирант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; ORCID: 0000-0002-9192-7850; e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua.

Yuliia Simonova - graduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9192-7850; e-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua.

Положий Антон Витальевич – аспирант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; e-mail: anpolozhii@gmail.ru.

Anton Polozhiy - graduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: anpolozhii@gmail.ru.

Подкопаев Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана труда», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина; ORCID: 0000-0002-3258-9601; e-mail: spodkopaiev@aol.com.

Serhii Podkopaiev – Doctor of Technical Sciences, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3258-9601; e-mail: spodkopaiev@aol.com.

Довгаль Виталий Юрьевич – генеральный директор ГП «Национальная угольная компания» Минтоэнерго Украины, г. Киев; e-mail: vud007007@gmail.com.

Vitaliy Dovgal - General Director of the State Enterprise "Mirnogradugol", Mirnograd, Ukraine; e-mail: vud007007@gmail.com.

Король Антон Вячеславович – инженер, ПСП «Шахтоуправление «Добропольское» ООО «ДТЭК Добропольеуголь»», г. Доброполье, Украина; e-mail: akorolv2017@gmail.com.

Anton Korol – engineer, PSP "Dobropolskoe Mine Administration" DTEK Dobropolyeugol LLC", Dobropolye, Ukraine; e-mail: akorolv2017@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Иорданов, И. В. Исследование устойчивости кровли угольного пласта с податливой опорой различной жесткости на моделях / **И. В. Иорданов, Ю. И. Симонова, А. В. Положний, С. В. Подкопаев, В. Ю. Довгаль, А. В. Король** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 11-20. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.02.

Please cite this article as:

Iordanov, I., Simonova, Y., Polozhiy, A., Podkopaiev, S., Dovgal, V., Korol, A. A study of the stability of the roof of the cobbled plate with the suppressional support of various hardness on models. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 10 (1335), 11-20, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.02.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Иорданов, И. В. Дослідження стійкості покрівлі вугільного пласта з податливою опорою різної жорсткості на моделях / **И. В. Иорданов, Ю. И. Симонова, А. В. Положний, С. В. Подкопаев, В. Ю. Довгаль, А. В. Король** // *Вісник НТУ «ХПИ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 11-20. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.02.

АННОТАЦИЯ Метою роботи є вивчення стійкості порід покрівлі вугільного пласта з податливою опорою при дії динамічних навантажень. Для досягнення поставленої мети були виконані лабораторні дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів, коли покрівля вугільного пласта була представлена у вигляді балки, яка спиралася на податливу опору різної жорсткості, в залежності від варіантів моделювання. При проведенні досліджень вивчалася поведінка моделюємо деформованої системи після силового впливу падаючої породи на балку і було встановлено, що з урахуванням неоднорідності матеріалу балки, при наявності податливої опори з розпушеної гірської породи, що має різний гранулометричний склад, порожнистість і насипну щільність, деформація балки в часі буде відставати від її переміщення на величину зсуву фази, причому, чим менше жорсткість податливої опори, тим більше відставання в часі. Максимальне переміщення балки в моделюємої системі, визначається величиною статичного стискання податливою опорою і можливого відхилення центру мас від положення рівноваги при ударі. При такій взаємодії балки з податливою опорою, кількість енергії, що витрачається на деформування балки, залежить від жорсткості податливою опорою, тривалості удару і проміжку часу, між закінченням дії зовнішньої сили і максимальним переміщенням балки, яка має податливі опорні зв'язку. Доведено, що стійкість моделюємо деформованої системи забезпечується в умовах, коли податлива опора з розпушеної гірської породи, на яку спираються породи покрівлі позаду очисного забою, має порожнистість не більше $M \leq 20\%$ і не менше $M \geq 7\%$, при збільшенні її насипної щільності. При збільшенні або зменшенні пустотності податливою опорою, при дії динамічних навантажень, відбувається руйнування моделюється балки. Виконаний комплекс лабораторних досліджень на моделях з еквівалентних матеріалів показує, що наявність податливої опори з розпушеної гірської породи обгрунтованого гранулометричного складу для підтримки покрівлі вугільного пласта позаду очисного вибою при дії динамічних навантажень, забезпечує стійкість бокових порід в околиці підтримуваних гірських виробок.

Ключові слова: гірський тиск; обвалення; очисний вибій; динамічні навантаження; податлива опора; закладка виробленого простору.

Поступила (received) 28.04.2019

УДК 533.924; 620.22.8

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.03

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ НА ВОЗДУХЕ И В КОНТРОЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРЕ (В ВАКУУМЕ)

В. А. ЛЕБЕДЕВ^{1*}, С. А. ЛОЙ²

¹ ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев, УКРАИНА

² Национальный кораблестроительный университет им. адмирала Макарова, г. Николаев, УКРАИНА

*e-mail: lebedevvladimir@ukr.net

АННОТАЦИЯ Одним из наиболее производительных, технологичных и эффективных способов получения защитных покрытий на элементах газотурбинных двигателей, установок и других видов техники от воздействия значительных динамических нагрузок, агрессивных сред, высоких температур и т. п. является плазменное напыление. Основным элементом, который обеспечивает необходимые характеристики напыляемым частицам, является плазматрон. К настоящему времени в мире разработано большое количество плазматронов различных конструкций, мощности, способов охлаждения, каждая из которых имеет как свои преимущества, так и недостатки. В большинстве конструкций плазматронов материал, который напыляется, подаётся в плазменный поток радиально через канал, близкий к срезу сопла и это отрицательно влияет на качество покрытия (неудовлетворительное сцепление, повышенная пористость и др.). Кроме этого коэффициент использования порошкового материала из-за неравномерного нагрева достаточно низок. Для повышения достаточного нагрева повышают мощность плазматрона, что ведёт к снижению его ресурса работы. В работе предложены направления модернизации существующих конструкций плазматронов, которые направлены на повышение качества напыленного слоя, увеличение мощности процесса, повышение ресурса работы оборудования. При этом выделяются конструктивные решения связанные с охлаждением основных узлов плазматрона, которые снижают тепловую нагрузку с устройства в целом. Рассмотрены технические решения, позволяющие обеспечить более эффективный и равномерный прогрев напыляемого материала, что также ведёт к более качественному нанесению покрытий различного назначения, увеличению коэффициента использования порошка. Уделено внимание насадкам, которые конструктивно связаны с самим плазматроном. Насадки существенно улучшают эксплуатационные свойства плазматронов. Частицы порошка в такой лучше прогреваются и имеют большую скорость движения, ускоряются, что также повышает качество покрытия. Экспериментальные исследования позволяют определить наиболее эффективно работающие размеры насадок. Предложенная и испытанная конструкция насадки имеет систему охлаждения и выполнена из определённых материалов, среди которых нержавеющие и изолирующие. Лабораторные испытания плазматрона разработанной конструкции при модернизации показали, что время непрерывной его работы составляет не менее 30 часов при мощности около 50 кВт при высоком качестве напыления.

Ключевые слова: плазменное напыление; среда; плазматрон; особенности; конструкция; анализ; результаты

MODERNIZATION OF THE PLASMATRON FOR DUSTING ON AIR AND IN CONTROLLED ATMOSPHERE (VACUUM)

V. LEBEDEV¹, S. LOY²

¹The E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev,

UKRAINE ²National Shipbuilding University of Admiral Makarov, Nikolaev, UKRAINE

ABSTRACT One of the most productive, technological and efficient ways to obtain protective coatings on gas turbine engine elements, plants and other types of equipment from exposure to significant dynamic loads, corrosive media, high temperatures, etc., is plasma spraying. The main element that provides the necessary characteristics of the sprayed particles is the plasma torch. To date, a large number of plasma torches of various designs, power, cooling methods have been developed in the world, each of which has its own advantages and disadvantages. In most of the plasma torch designs, the material that is sprayed is fed into the plasma stream radially through the channel close to the nozzle section and this negatively affects the quality of the coating (poor adhesion, increased porosity, etc.). In addition, the utilization rate of the powder material due to uneven heating is quite low. To increase the sufficient heating, the power of the plasmatron is increased, which leads to a decrease in its service life. In this paper, the directions of modernization of the existing designs of plasmatrons, which are aimed at improving the quality of the sprayed layer, increasing the power of the process, increasing the service life of the equipment, are proposed. In this case, the constructive solutions associated with the cooling of the main components of the plasma torch, which reduce the thermal load from the device as a whole, will stand out. Considered technical solutions to ensure more efficient and uniform heating of the sprayed material, which also leads to better coating of various applications, an increase in the utilization rate of the powder. Attention is paid to nozzles that are structurally related to the plasma torch itself. Nozzles significantly improve the performance properties of plasma torches. Powder particles in such a warm up better and have greater speed of movement accelerated, which also improves the quality of the coating. Experimental studies allow to determine the most effective working sizes of nozzles. The proposed and tested design of the nozzle has a cooling system and is made of certain materials including stainless and insulating. Laboratory tests of the plasma torch of the developed design during modernization showed that the time of its continuous operation is at least 30 hours at a power of about 50 kW with high quality of spraying.

Keywords: plasma spraying; medium; plasmatron; features; construction; analysis; results.

Введение

Восстановление и упрочнение рабочих органов газотурбинных двигателей и установок с

использованием плазменного напыления в настоящее время распространённый технологический процесс, который постоянно совершенствуется как по материалам, так и по техническим средствам [1,2].

Особое внимание уделяется подготовительным операциям и анализу полученных результатов – качество напыления [3].

Используемое при этом оборудование – комплектные установки для плазменного напыления [4] создано и создаётся с задачами повышения качества напыленного слоя, минимизации затрат по материалам и энергии, повышению производительности выполнения работ на различных стадиях подготовки и ведения процесса. При этом особое внимание уделяется основному устройству установок – плазматрону. Выделяются недостатки существующих плазматронов и ищутся эффективные способы их устранения на уровне изменения (улучшения) конструкций, как отдельных узлов так и плазматронов в целом [5].

Цель работы

Целью настоящей работы является рассмотрение некоторых направлений совершенствования конструкций плазматронов различного назначения (напыление на воздухе, в контролируемой атмосфере, комбинированного применения).

Достижение указанной цели в настоящем материале проводится на примерах конструкций реальных плазматронов.

Изложение основного материала

Рассмотрим для примера конструкции двух основных типов по среде применения плазматронов с элементами совершенствования их узлов.

Плазматрон является устройством, которое определяет качественные показатели работы установки для напыления в открытой атмосфере (на воздухе) при высоких показателях надёжности и минимизации энерго и ресурсозатрат [6].

Опыт эксплуатации плазматрона одной из наиболее распространённых конструкций плазматронов ПН-14М при напылении теплозащитных покрытий показал, что он не обеспечивает необходимой (заданной) мощности дуги (до 40 кВт) и имеет ряд конструктивных недостатков: каналы для подачи порошка часто забиваются; большое сопротивление прохождению охлаждающей воды; низкая устойчивость уплотнительных элементов; в конструкции плазматрона не предусмотрено его крепления к вакуумной камере.

Следует особо отметить, что увеличение мощности процесса без целенаправленного изменения его конструкции [7] для более интенсивного нагрева напыляемых частиц приводит к снижению времени эксплуатации плазматрона.

Для устранения указанных недостатков, на базе плазматрона ПН-14М разработана

усовершенствованная его конструкция, которая представлена на рис. 1.

Следует отметить, что в отличие от выпускаемых серийно плазматронов рассматриваемая конструкция имеет ряд преимуществ, в том числе значительно больший ресурс при той же мощности за счет ряда межэлектродных вставок, повышающих напряжение плазменного процесса.

В существующей конструкции плазматрона охлаждающий поток воды проходит через анод и затем последовательно через кольцевые каналы каждой вставки. Такое направление потока обосновывается конструкцией втулки (капролон), где каждому кольцевому каналу вставок соответствует перегородка и окно в капролоновой втулке. Для улучшения водоохлаждения межэлектродных вставок изменена конструкция капролоновой вставки, в которой вместо окон для перетекания воды последовательно по вставкам выполнены сквозные каналы.

Устойчивость катода во многом определяется чистотой плазмообразующих газов, интенсивностью охлаждения и его геометрическими параметрами [8].

Вольфрамовый катод крепится в цанговый зажим, позволяющий легко и своевременно устанавливать необходимую длину рабочей части.

Следует отметить, что слабым местом плазматрона ПН-14М является узел подачи порошка. Уплотнительные резинки, из-за перегрева, часто выходят из строя, что ведет к нарушению герметизации дуговой канала и вызывает короткое замыкание межэлектродных вставок.

Во избежание перегрева уплотнений выходного сопла в месте подачи порошка изменена конструкция корпуса анода и выходного сопла.

При увеличении внутреннего диаметра корпуса анода ширина каналов для охлаждающей воды соответственно увеличивается. Кроме того, вместо одного отверстия для прохождения воды из анода в корпус плазматрона в разработанной конструкции предусмотрено три канала, что снижает тепловую нагрузку на участке подачи порошка за счет интенсивного отвода тепла.

В исходном сопловом элементе выполнены канавки, обеспечивающие необходимый доступ воды к резиновым уплотнительным элементам.

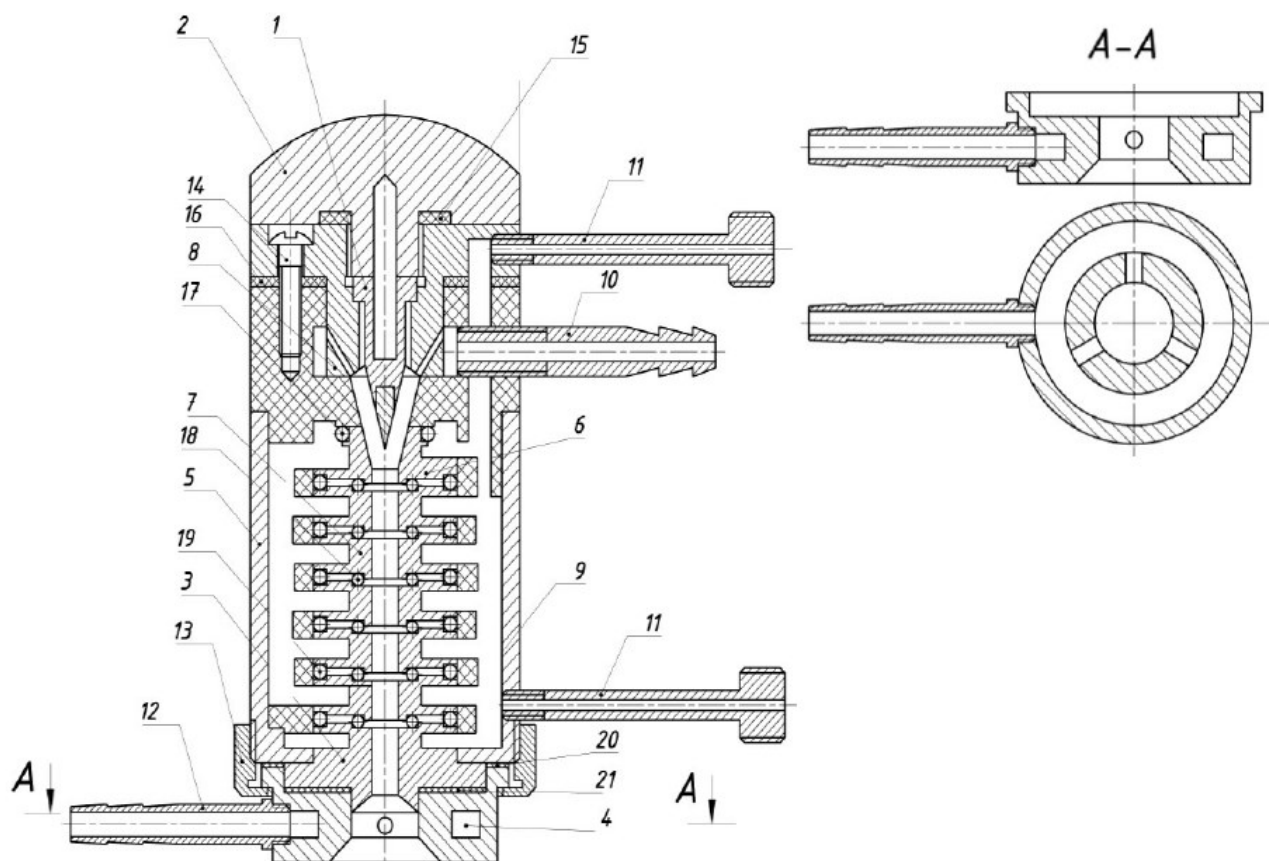
Отмеченные изменения в конструкции плазматрона существенно улучшили условия отвода тепла и значительно (в 2-3 раза) увеличили стойкость уплотнений выходного сопла, а также межэлектродных вставок. Заметим, что конструкция предсопловой вставки отличается от других межэлектродных вставок утолщенным буртиком. При этом межэлектродные вставки охлаждаются водой проходящей по капролоновому изолятору.

В новой конструкции в отличие от исходной (при давлении на входе 0,85 МПа расход охлаждающей воды составляет 16 л / мин), появившаяся возможность увеличения давления до

0,95 МПа приводит к росту расхода до 19 л / мин. При таком охлаждении данная конструкция надежно работает при мощности до 40 кВт.

Существенным преимуществом предложенной изменённой конструкции плазмотрона является возможность использования в качестве плазмообразующего газа смесь аргона с высокоэнтальпийными газами (азотом или гелием). При этом тепловая нагрузка элементов плазмотрона не приводит к выходу из строя резиновых уплотнительных элементов. Порошок в

данном случае подается в анодное пятно и некоторое время находится в канале сопла, за счет чего улучшается прогрев частиц в струе плазмы, что особенно важно при напылении в разреженной контролируемой атмосфере, где скорость частиц достигает 800-1000 м / с. Эта особенность позволяет использовать модернизированный плазмотрон как на воздухе, так и в контролируемой (разреженной) среде, что, по нашему мнению, является неоспоримым преимуществом предлагаемой конструкции.



1 – катод; 2 – крышка; 3 – анод; 4 – сопло; 5 – стальной кожух; 6 – входная секция междуэлектродной вставки; 7 – секция междуэлектродной вставки; 8 – втулка; 9 – корпус катода; 10 – трубка подвода воздуха; 11 – трубка подвода и отвода охлаждающей воды; 12 – штуцер подвода порошка; 13 – винт стяжной; 14 – гайка стяжная; 15–21 – прокладка

Рис. 1 – Конструкция плазмотрона

Следует отметить, что значительное число технологических процессов с использованием плазмотронов в различных конструкциях установок выполняется с применением порошковых материалов, вводимых в плазменную струю. Однако, как показывают проведенные эксперименты и практическое применение, далеко не весь порошок подается в плазменную струю, плавится и испаряется, несмотря на его высокое теплосодержание. Причинами низкой эффективности нагрева,

обеспечивающее прочность сцепления между слоями и основой в технологиях напыления в наибольшей степени зависит от температуры и скорости частиц, транспортируемых плазменным потоком, в том числе, могут быть: малое время пребывания частиц в плазменной струе, сложность введения порошка в центральную зону струи. Указанное выше является следствием неправильного ввода порошка. При этом немаловажным обстоятельством является проскальзывание его в пристеночной области и

образованием слоёв порошка и как следствие - неполное проплавление порошка.

Для улучшения условий проплавления порошка изменена геометрия сопла и порошок подаётся под углом 110° , в результате чего за счет большего времени пребывания частиц в струе улучшается теплообмен в системе аргон-порошок. При этом скорость частиц несколько уменьшится, но при напылении в вакууме, где сопротивление среды мало, этот фактор не сыграет определяющего значения из-за роста скорости частиц по сравнению с напылением на воздухе. Замену угла ввода ($90^\circ \dots 110^\circ$) возможно провести с некоторым изменением геометрии выходного сопла. В результате конструкторской разработки предложено выходное сопло, которое имеет несколько большую длину по сравнению с тем, что есть. Кроме того, изменён угол раскрытия сопла с 90° до 60° . Меньший угол раскрытия позволяет улучшить направленность струи и соответственно увеличится коэффициент использования порошкового материала.

Рассмотренные элементы модернизации плазмотрона позволили обеспечить сравнительно небольшой расход плазмообразующего газа в рабочих режимах. Он обеспечивает необходимую рабочую мощность, достаточную для прогрева частиц в

плазменной струе при напылении в на воздухе и в контролируемой среде.

На фотографии рис. 2 представлена реальная конструкция модернизированного плазмотрона после некоторого периода его эксплуатации в комплекте установки для плазменного напыления.

Рассмотренная модернизация плазмотрона была продолжена ещё в одном варианте конструкции установки для высокотемпературного распыления применительно, в частности, к напылению уплотнений. Этот более полный вариант модернизации известен как плазмотрон ПН-7М

Результаты исследований состава плазменных уплотнительных покрытий, а также опыт эксплуатации плазмотрона ПН-14М с элементами модернизации, рассмотренными выше, показали, что они имеют не достаточные когезионные и адгезионные свойства, а это снижает стойкость и ресурс покрытия. Одна из причин этого явления это всё ещё низкая степень проплавления частиц порошка, вызванная недостаточной мощностью применяемого плазмотрона. Особенно отчетливо проявляется этот эффект при напылении в разреженной контролируемой атмосфере и в случае, когда в состав порошковой композиции входят тугоплавкие добавки ZrO_2 [9].



Рис. 2 – Частично модернизированный плазмотрон для широкого

Для устранения указанных недостатков, на базе плазмотрона ПН-14М проведена более глубокая модернизация плазмотрона и разработана его усовершенствованная конструкция - ПН-7М. Для повышения мощности диаметр канала плазмотрона увеличили с 6 до 10 мм с соответствующими изменениями размеров межэлектродных вставок, входного и выходного сопел, диаметр катода, капронового изолятора и корпусов анода и катода.

Увеличение диаметра канала ведет к уменьшению тепловой нагрузки на межэлектродные вставки и выходное сопло плазмотрона при достаточном расходе охлаждающей воды. Изменение размеров элементов плазмотрона увеличило длину канала с 80 до 130 мм, что позволило повысить мощность плазмотрона за счет увеличения напряжения на дуге, а это снижает эрозию выходного сопла и тепловую нагрузку на токоведущие элементы. Стойкость катода

во многом определяется чистотой плазмообразующих газов, интенсивностью охлаждения и его геометрическими параметрами. В рассматриваемой конструкции решены задачи улучшения охлаждения катода и на основании экспериментальных исследований оптимизированы геометрические размеры.

Вольфрамовый катод крепится в цанговом зажиме, что позволяет легко и своевременно устанавливать необходимую длину рабочей части. С целью повышения стойкости дуги необходим повышенный (по сравнению с предыдущей конструкцией) расход плазмообразующего газа, что улучшает охлаждение катода.

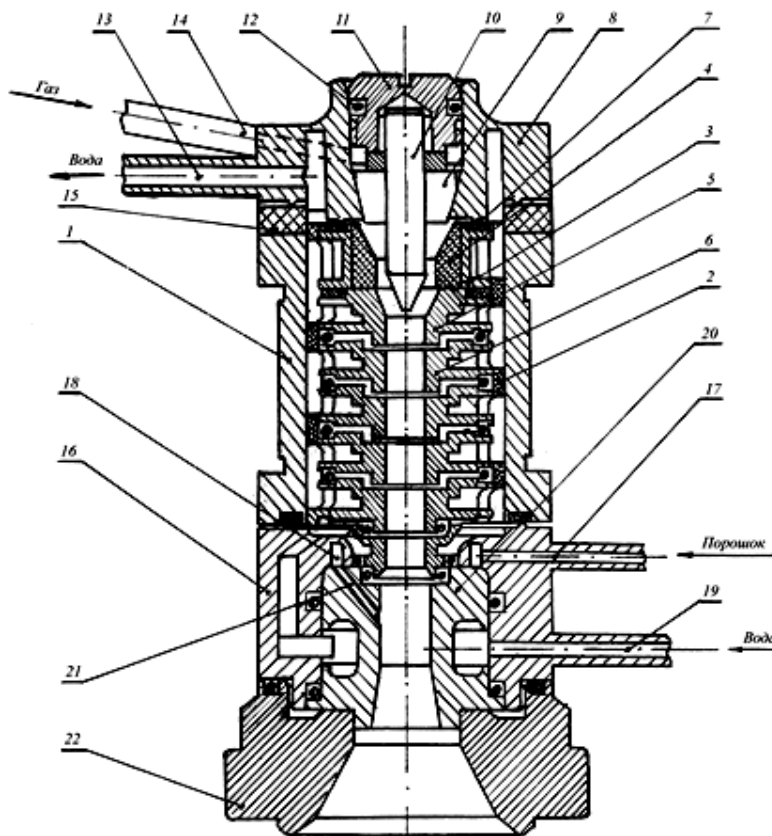
Следует отметить, что недостатком ранее рассмотренной конструкции является узел подачи порошка.

Уплотнительные резинки, из-за перегрева, часто выходят из строя, что ведет к нарушению герметизации дугового канала к короткому замыканию межэлектродных вставок. Для избегания перегрева уплотнений выходного сопла в месте подачи порошка изменена конструкция корпуса анода и выходного сопла. При увеличении внутреннего

диаметра корпуса анода ширина каналов для охлаждающей воды соответственно увеличивается. Кроме того, вместо одного отверстия для прохождения воды из анода в корпус плазмотрона в разработанной конструкции предусмотрено три канала, что снижает температуру нагрева на участке подачи порошка за счет более интенсивного охлаждения. Межэлектродные вставки охлаждаются при прохождении воды по капролоновому изолятору. Толщина стенки изолятора плазмотрона увеличена до 5мм. В выходном сопле выполнены канавки, обеспечивающие дополнительный отвод тепла. При таком охлаждении данная конструкция надежно работает при мощности до 50 кВт.

Порошок в данной конструкции случае подается в анодное пятно и некоторое время находится в канале сопла, за счет чего улучшается прогрев частиц в струе плазмы, что особенно важно при напылении в разреженной контролируемой атмосфере, где скорость частиц достигает 800...1000м/с.

Конструкция модернизированного плазмотрона представлена на рис. 3.



1 – корпус; 2 – изолятор; 3 – вставка; 4 – втулка изоляционная; 5 – входная секция межэлектродной вставки; 6 – секция межэлектродной вставки; 7 – прокладка; 8 – корпус катода; 9 – цанга; 10 – катод; 11 – пробка; 12 – кольцо уплотнительное; 13 – трубка отвода воды; 14 – трубка подачи плазмообразующего газа; 15 – кольцо изоляционное; 16 – корпус анода; 17 – трубка подачи порошка; 18 – кольцевая полость подачи порошка; 19 – трубка подачи воды; 20 – выходное сопло; 21 – канал подачи порошка; 22 – накидная гайка

Рис. 3 – Плазмотрон модернизированный

Анализ результатов модернизации показал, что данный плазмотрон имеет сравнительно небольшой расход плазмообразующего газа на рабочих режимах. Он обеспечивает необходимую рабочую мощность, достаточную для прогрева частиц в плазменной струе в динамическом вакууме.

Существенным улучшением эксплуатационных свойств плазмотрона является применение в его конструкции специально разработанной насадки.

Плазменная струя нагревает, ускоряет и направляет частиц порошкообразного материала в процессе плазменного напыления. При этом решающую роль играют плотность струи и её температура.

Рассмотрим основные задачи разработки и конструирования насадки.

При напылении в глубоком вакууме, когда под действием разрежения и влияния системы откачивания, а также в большом удалении плазмотрона, плазменная струя принимает размытые формы и отклоняется на пути к подложке, поэтому необходимо конструктивно решить вопрос об ограничении формы плазменной струи с целью его уплотнения и придания ему нужного направления [10]. Эту задачу можно решить с помощью трубы-насадки, присоединенной к плазмотрону, но электрически с ним не связанной. Стенки трубы-насадки ограничат диаметр плазменной струи, его плотность и температура повысятся.

Частицы порошка в такой насадке лучше прогреваются и более ускоряются, а, следовательно, повысится качество покрытия.

В верхней части труба-насадка должна иметь некоторое расширение, которое выполняет роль камеры смешения, необходимость которой связана со следующим: поле температур на выходе из плазмотрона неравномерное, а пульсации мощности дуги большие. В камере смешения происходит гашение пульсации температуры, давления и скорости, эффективнее происходит и перемешивание материала порошка плазмой. Напыляемый материал в большей степени переходит из гетерогенного состояния в гомогенный. Все это позволит улучшить кинематические и динамические характеристики потока в рабочей части трубы-насадки.

Материал такой трубы должен иметь хорошую теплопроводность. Внутреннюю поверхность желательно хромировать, а на внешней выполнить продольные ребра для улучшения теплоотдачи и жесткости.

Для определения оптимальных размеров насадки был проведен ряд экспериментов, а также использованы некоторые методы математического моделирования плазмотронов [11]. Применяли металлические трубки различных длин и диаметров. Параметры режима и экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры режимов напыления и результаты экспериментов

№ п/п	Размеры насадки		Рабочее давление в камере, Па	Ток дуги, А	Напряжение дуги, В	Расход плазмообразующего газа, л/мин	Результат
	Внутренний, мм	Длина, мм					
1	105	350	39,9	300	120	26	Покрытие не получено
2	94	620	39,9	230	115	24	Проплавление самих мелких частиц
3	70	700	39,9	300	125	35	Проплавление самих мелких частиц
4	38	800	39,9	300	125	38	Получено покрытие, есть бочкообразность газового потока
5	26	950	39,9	280	120	25	Увеличение бочек выходящих из насадки
6	26	1050	39,9	270	125	25	Получено покрытие. Пламя за границы насадки почти не выходит,
7	26	600	39,9	250	115	26	Основная масса частиц проплавлялась. Есть покрытие толщиной до 3мм
8	26	300	39,9	300	115	24	Значительное расширение потока. Покрытие без нагретых частиц

Покрyтия, которые были получены при использовании насадки с диаметром 26 мм и длиной 600 мм, имеют достаточно малую пористость 0,3%, частицы порошка в струе проплавились полностью.

В общем можно сказать, что оптимальная длина насадки при ее внутреннем диаметре 26 мм находится в пределах 600-900 мм, для рабочего давления в камере 13,3-39,9 Па, но для различных порошков эта величина не является постоянной.

Исследование возможности использования насадки с соплом Витошинского показало, сопло быстро нагревается до высоких температур.

Для обеспечения работоспособности насадок их необходимо изготавливать водоохлаждаемыми.

С целью повышения коэффициента использования порошка необходимо выполнить в верхней торцевой части центрального канала с переменным сечением отверстия для создания свободного вихря с кольцевым углублением, охватывающим сопло плазмотрона. Боковые каналы, служащие для подачи газа и прилегающие к центральному каналу, расположены симметрично в плоскости, перпендикулярной оси центрального канала, выше среза сопла и имеют тангенциальное направление.

Свободный вихрь увлекается газопорошковым потоком, заканчивается и образует на внутренней поверхности трубы переменного сечения пограничный кольцевой поток, который предотвращает интенсивный теплоотвод от высокотемпературного газопорошкового потока и препятствует налипанию частиц на стенки центрального канала.

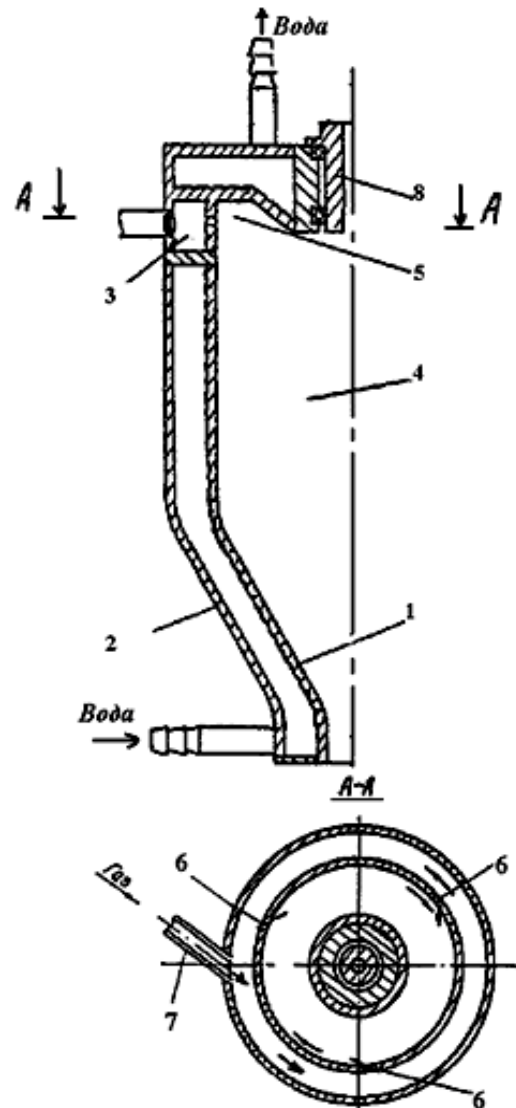
Конструкция разработанной насадки представлена на чертеже рис. 4. Насадка содержит трубу переменного сечения 1, кожух 2 для прокачки охлаждающей среды, который охватывает трубку с небольшим зазором. Часть зазора с перегородками образует кольцевую полость 3, охватывающую центральный канал 4, который имеет кольцевое углубление 5. К центральному каналу 4 примыкают боковые каналы 6. Газ, подаваемый через трубку 7, нагревается в кольцевой полости 3 за счет теплопередачи от высокотемпературного газопорошкового потока, который вытекает из плазмотрона через сопло 8, и, проходя через каналы 6, в кольцевом углублении формирует свободный вихрь.

Предложенная конструкция насадки позволяет при низких давлениях иметь большой коэффициент использования материала, улучшает проплавления частиц порошка и направляет плазменную струю.

Обсуждение результатов

Модернизированные плазмотроны с новыми конструктивными решениями для напыления в атмосфере и в вакууме, исходя из анализа уже существующих разработок, обеспечивают [12] новые техники – технологические возможности

комплектных установок для плазменного напыления широкого спектра узлов и деталей.



1 - труба переменного сечения; 2 - кожух;
3 - кольцевая полость; 4 - центральный канал;
5 - кольцевое углубление; 6 - боковые каналы

Рис. 4 – Насадка для напыления в разреженной среде

Лабораторные испытания плазмотронов разработанной конструкции показали, что время непрерывной работы составляет не менее 30 часов при мощности около 50 кВт, что, в итоге, является основой энерго- и ресурсосбережения в технологиях и оборудовании плазменного напыления.

Выводы

Показано, что основой модернизации плазмотрона может быть рациональная многосекционная его конструкция. Снижена термонагруженность узлов плазмотрона, что

обеспечивает его более длительную эксплуатацию и применение более производительных режимов работы. Снижение теплонагруженности обеспечивает усовершенствованная конструкция плазматрона, благодаря чему он лишен ряда недостатков (каналы для подачи порошка часто забиваются, большое сопротивление прохождению охлаждающей воды; низкая устойчивость уплотнительных элементов). На основе элементов математического моделирования и экспериментальных исследований разработана конструкция насадки для плазматрона, которая улучшает проплавления частиц порошка и направляет плазменная струя при напылении в разреженной среде с низким давлением.

Список литературы

1. **Будиновский, С. А.** Современные способы нанесения теплозащитных покрытий на лопатки газотурбинных двигателей (обзор) / **С. А. Будиновский, Д. А. Чубаров, П. В. Матвеев** // *Авиационные материалы и технологии*. – 2014. – S5. – С. 38–44. – doi: 10.18577/2071-9140-2014-0-s5-38-44.
2. Effects of Space Conditions on Materials / Ed. A. I. Akishin. – New York: Nova Science Publ., 2001. – 199 p.
3. **Григорьев, С. Н.** Новые возможности технологии плазменного напыления износостойких покрытий / **С. Н. Григорьев, О. Б. Ковалев, В. И. Кузьмин, А. А. Михальченко, Н. Г. Соколова, В. М. Фомин** // *Трение и износ*. – 2013. – Т. 34, № 3. – С. 221–226.
4. **Pfender, L. F.** Trends in Thermal Plasma Technology. Thermal Plasma Torches and Technologies / Edited by Solonenko O.P.: Cambridge International Science Publishing, Vol. 1: Plasma Torches. Basic Studies and Design. – 2003. – P. 20-41.
5. **Михеев, А. Е.** Плазматрон для нанесения покрытий из тугоплавких дисперсных материалов / **А. Е. Михеев, А. В. Гирн, Д. В. Раводина, И. О. Якубович** // *Сибирский журнал науки и технологий*. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 365–372.
6. **Кузьмин, В. И.** Повышение эффективности плазменного напыления порошковых покрытий / **В. И. Кузьмин, Е. В. Картаев, С. П. Ващенко, Д. В. Сергачев, Е. Е. Корниенко** // *Вестник югорского государственного университета*. – 2014. – Вып. 2 (33). – С. 7–14.
7. **Птицын, С. В.** Установка для плазменного нанесения покрытий / **С. В. Птицын, Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев**. МГТУ, 2006.
8. Плазменное напыление. URL: http://profdetal.ru/?Tehnologii_XXI:Plazmennoe_napylenie. (Дата обращения: 10.09.2014).
9. **Игнатик, А. В.** Плазменные устройства для нанесения покрытий разного функционального назначения / **А. В. Игнатик, А. И. Иванов, А. Н. Смирнов, В. С. Шориков** // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки*. – 2010. – С. 10-11.
10. **Барвинок, В. А.** Плазма в технологии, надежность, ресурс / **В. А. Барвинок**. М.: Наука и технологии, 2005. – 452 с.
11. **Дресвин, С. В.** Основы математического моделирования плазматронов. / **С. В. Дресвин, Д. В.**

- Иванов**. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, ч. 1, 2004. – 230 с.
12. **Guessasma, S.** Modeling of the APS Plasma Spray Process Using Artificial Neural Networks: Basis, Requirements and an Example / **S. Guessasma, G. Montavon., C. Coddet** // *Computational Materials Science*. – 2004. – Vol. 29 (3). – P. 315-333. – doi: 10.1016/j.commatsci.2003.10.007.

References (transliterated)

1. **Budinovskiy S.A., Chubarov D.A., Matveev P.V.** Sovremennyye sposobyi naneseniya teplozaschitnykh pokrytiy na lopatki gazoturbinnykh dvigateley (obzor) [Modern methods of applying heat-shielding coatings on the blades of gas turbine engines (review)]. *Aviatsionnyye materialy i tehnologii*, 2014, **S5**, 38–44, doi: 10.18577/2071-9140-2014-0-s5-38-44.
2. Effects of Space Conditions on Materials / Ed. A. I. Akishin. – New York: Nova Science Publ., 2001, 199.
3. **Grigorev, S. N., Kovalev, O. B., Kuzmin, V. I., Mihalchenko, A. A., Sokolova, N. G., Fomin, V. M.** Novyye vozmozhnosti tehnologii plazmennogo napyleniya iznosostoykikh pokrytiy [New features of plasma spraying technology for wear-resistant coatings]. *Trenie i iznos*, 2013, **34**, 3, 221–226.
4. **Pfender, L. F.** Trends in Thermal Plasma Technology. Thermal Plasma Torches and Technologies. Edited by Solonenko O.P.: Cambridge International Science Publishing, Vol. 1: Plasma Torches. Basic Studies and Design, 2003, 20-41.
5. **Mihev, A. E., Girn, A. V., Ravodina, D. V., Yakubovich, I. O.** Plazmotron dlya naneseniya pokrytiy iz tugoplavkikh dispersnykh materialov [Plasma torch for coating of refractory dispersed materials]. *Sibirskiy jurnal nauki i tehnologii*, 2018, **19**, 2, 365–372.
6. **Kuzmin, V. I., Kartayev, E. V., Vachenko, S. P., Sergachev, D. V., Kornienko, E. E.** Povysheniye effektivnosti plazmennogo napyleniya poroshkovykh pokrytiy [Improving the efficiency of plasma spraying of powder coatings]. *Vestnik yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, **2** (33), 7–14.
7. **Ptitsyn, S. V., Chosov, Yu. S., Zverev, E. A.** Ustanovka dlya plazmennogo naneseniya pokrytiy [Plasma Coater]. МГТУ, 2006.
8. Plazmennoe napylenie. Available at: http://profdetal.ru/?Tehnologii_XXI:Plazmennoe_napylenie. (Data obrascheniya: 10.09.2014).
9. **Ignatik, A. V., Ivanov, A. I., Smirnov, A. N., Shorikov, V. S.** Plazmennyye ustroystva dlya naneseniya pokrytiy raznogo funktsionalnogo naznacheniya [Plasma devices for coating various functional purposes]. *Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavtiki. Tehnicheskie nauki*, 2010, 10-11.
10. **Barvinok, V. A.** Plazma v tehnologii, nadejnost, resurs [Plasma in technology, reliability, resource]. М.: Nauka i tehnologii, 2005, 452.
11. **Dresvin, S. V., Ivanov, D. V.** Osnovy matematicheskogo modelirovaniya plazmotronov [Basics of mathematical modeling of plasmatrons]. СПб, Izd-vo Politehn. un-ta, ch. 1, 2004, 230.
12. **Guessasma, S., Montavon, G., Coddet, C.** Modeling of the APS Plasma Spray Process Using Artificial Neural Networks: Basis, Requirements and an Example. *Computational Materials Science*, 2004, **29** (3), 315-333, doi: 10.1016/j.commatsci.2003.10.007.

Сведения об авторах (About authors)

Лебедев Владимир Александрович – доктор технических наук, главный конструктор ГП ОКТБ ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины; г. Киев; ORCID: 0000-0002-0006-3576; e-mail: lebedevvladimir@ukr.net.

Vladimir Lebedev – Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv, ORCID: 0000-0002-0006-3576; e-mail: lebedevvladimir@ukr.net.

Лой Сергей Анатольевич – доцент, Национальный кораблестроительный университет им. адмирала Макарова. г. Николаев; e-mail: valpaton@ukr.net.

Sergey Loy – Associate Professor, National Shipbuilding University of Admiral Makarov, Nikolaev; e-mail: valpaton@ukr.net.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лебедев, В. А. Модернизация плазматрона для напыления на воздухе и в контролируемой атмосфере (в вакууме) / **В. А. Лебедев, С. А. Лой** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 21-29. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.03.

Please cite this article as:

Lebedev, V., Loy, S. Modernization of the plasmatron for dusting on air and in controlled atmosphere (vacuum). *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 21–29, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.03.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лебедев, В. О. Модернізація плазматрона для напылення на повітрі й у контрольованій атмосфері (у вакуумі) / **В. О. Лебедев, С. А. Лой** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 21-29. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.03.

АНОТАЦІЯ Одним з найбільш продуктивних, технологічних і ефективних способів отримання захисних покриттів на елементах газотурбінних двигунів, установок і інших видів техніки від впливу значних динамічних навантажень, агресивних середовищ, високих температур і т. п. є плазмового напылення. Основним елементом, який забезпечує необхідні характеристики напылюваним часткам, є плазматрон. До теперішнього часу в світі розроблено велику кількість плазматронів різних конструкцій, потужності, способів охолодження, кожна з яких має як свої переваги, так і недоліки. У більшості конструкцій плазматронів матеріал, який напылюється, подається в плазмовий потік радіально через канал, близький до зрізу сопла і це негативно впливає на якість покриття (незадовільний зчеплення, підвищена пористість і ін.). крім цього коефіцієнт використання порошкового матеріалу з-за нерівномірного нагрівання досить низький. Для підвищення достатнього нагрівання підвищують потужність плазматрона, що веде до зниження його ресурсу роботи. В роботі запропоновані напрями модернізації існуючих конструкцій плазматронів, які спрямовані на підвищення якості напылюваного шару, збільшення потужності процесу, підвищення ресурсу роботи обладнання. При цьому виділяється конструктивні рішення пов'язані з охолодженням основних вузлів плазматрона, які знижують теплове навантаження в пристрої в цілому. Розглянуто технічні рішення дозволяють забезпечити більш ефективний режим роботи і рівномірне прогрівання напылюваного матеріалу, що також веде до якіснішого нанесення покриттів різного призначення, збільшення коефіцієнта використання порошку. Приділено увагу насадкам, які конструктивно пов'язані з самим плазматроном. Насадки суттєво покращують експлуатаційні властивості плазматронів. Частинки порошку в такій конструкції прогріваються і мають велику швидкість руху, прискорюються, що також підвищує якість покриття. Експериментальні дослідження дозволяють визначити найбільш ефективно працюючі розміри насадок. Запропонована і випробувана конструкція насадки має систему охолодження і виконана з певних матеріалів серед яких нержавіючі і ізолюючі. Лабораторні випробування плазматрона розробленої конструкції при модернізації показали, що час безперервної його роботи становить не менше 30 годин при потужності близько 50 кВт при високій якості напылення.

Ключові слова: плазмове напылення; середа; плазматрон; особливості; конст-рукція; аналіз; результати.

Поступила (received) 01.05.2019

УДК 621.314

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.04

РЕГУЛЮВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЯТОРА ПОНИЖУВАЛЬНОГО ТИПУ, ЩО ПРАЦЮЄ НА АКУМУЛЯТОР

В. Я. РОМАШКО, Л. М. БАТРАК*

кафедра промислової електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, УКРАЇНА

*e-mail: batrakln5@gmail.com

АНОТАЦІЯ Метою роботи є дослідження особливостей роботи імпульсного регулятора постійної напруги понижувального типу у випадку, коли на його виході підключено акумулятор, що працює в буферному режимі. Проведено аналіз його регулювальних характеристик при наявності та відсутності конденсатора достатньо великої ємності на вході регулятора. Відзначено, що при наявності акумулятора на виході регулятора напруги, останній працюватиме в режимі регулювання вихідного струму (струму заряджання акумулятора). Показано, що для забезпечення можливості передавання від джерела електричної енергії до акумулятора максимально можливої енергії, необхідно встановлювати на вході імпульсного регулятора конденсатор з достатньо великою ємністю. Регулювальні характеристики отримано для різних значень співвідношення напруг акумулятора та джерела живлення. Визначено умови, за яких від джерела електричної енергії до акумулятора передаватиметься максимально можлива потужність. Показано, що за певних умов, струм заряджання акумулятора може перевищувати струм короткого замикання джерела електричної енергії. Визначено умови, за яких в індуктивності регулятора виникатиме режим переривчастого струму. З урахуванням можливості виникнення такого режиму проведено уточнення одержаних регулювальних характеристик. Регулювальні характеристики побудовано з урахуванням необхідності обмеження втрат електричної енергії в акумуляторі. Для цього визначалося максимально допустима величина відносного внутрішнього опору акумулятора. За необхідності обмеження втрат енергії в джерелі електроживлення, вигляд одержаних регулювальних характеристик залишатиметься незмінним. Однак, у цьому випадку, необхідно буде використовувати обмежену ділянку цих характеристик. Зроблено висновок, що при роботі імпульсного регулятора на акумулятор, для визначення його регулювальної характеристики обов'язково необхідно враховувати внутрішній опір джерела електроживлення. Без урахування цього опору регулювальна характеристика імпульсного регулятора є невизначеною.

Ключові слова: імпульсний регулятор; акумулятор; регулювальна характеристика; режим переривчастого струму; відбір максимальної потужності; внутрішній опір.

REGULATION CHARACTERISTICS OF THE STEP-DOWN SWITCHING REGULATOR WHICH OPERATES ON A RECHARGEABLE BATTERY

V. ROMASHKO, L. BATRAK

Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The aim of the work is to study the peculiarities of the operation of a step-down switching regulator in the case, when a battery operating in a buffer mode is connected to its output. The analysis of its regulating characteristics in the case of presence and absence of a capacitor of a large capacity at the input of the regulator was carried out. It is noted that in the presence of a battery at the output of the voltage regulator, the latter will operate in the mode of regulating the output current (battery charging current). It is shown that in order to ensure the maximum possible energy transferred from a source of electrical energy to a battery, a capacitor with a sufficiently large capacitance must be installed on the input of the switching regulator. The regulation characteristics are obtained for different values of the ratio of the battery voltage and the power source. The conditions under which the maximum possible power is transmitted from the source of electrical energy to the battery are determined. It is shown that under certain conditions, the battery charging current may exceed the short circuit current of the source of electrical energy. The conditions under which a discontinuous current mode occurs in the inductance of the regulator are determined. Taking into account the possibility of such regime, the adjustment of the obtained regulation characteristics was carried out. The regulation characteristics are based on the need to limit the loss of electrical energy in the battery. For this, the maximum permissible value of the relative internal resistance of the battery was determined. If it is necessary to limit energy losses in the power supply, the type of the obtained regulation characteristics remains unchanged. However, in this case, it will be necessary to use a limited portion of these characteristics. It was concluded that when a pulse regulator is operating on a battery, to determine its regulating characteristic, it is necessary to take into account the internal resistance of the power supply. Without taking this resistance into account, the regulating characteristic of the switching regulator are uncertain.

Keywords: switching regulator; battery; regulation characteristic; intermittent current mode; selection of maximum power; internal resistance.

Вступ

Нетрадиційні та відновлювані джерела електричної енергії з кожним роком знаходять усе

більш широке застосування. Якщо енергоносії таких джерел є безкоштовним, від них доцільно відбирати максимально можливу потужність, навіть не зважаючи на те, що коефіцієнт використання

електричної енергії джерела при цьому може бути порівняно невисоким. Режим передавання максимальної потужності до навантаження можливий лише в узгодженому режимі, для якого вихідний опір джерела електричної енергії дорівнює опору навантаження ($r_{\text{в\ddot{e}}\text{д}} = R_i$) [1]. Оскільки кількість виробленої електричної енергії в подібних джерелах часто залежить від зовнішніх умов, для забезпечення більш рівномірного надходження електричної енергії до навантаження, на виході подібних джерел часто ставлять акумулятор E_a , що працює в буферному режимі [2,3]. У таких випадках еквівалентний опір навантаження в значній мірі залежатиме від акумулятора і у процесі роботи, змінюватиметься. Для забезпечення можливості передавання до навантаження максимальної потужності в різних режимах його роботи між джерелом електричної енергії E та акумулятором E_a ставлять узгоджувальний пристрій [4]. В якості таких пристроїв найчастіше використовують імпульсні регулятори (ІР) [5,6].

Максимально можливу кількість електричної енергії від джерела можна отримати лише у випадку *безперервного* відбирання цієї енергії. Тому в якості узгоджувального найчастіше використовують ІР підвищувального типу, вхідний струм якого є *безперервним* [7,8]. У роботі [9] проаналізовано регульовальні характеристики подібних регуляторів у разі їх роботи на акумулятор і визначено умови передавання до навантаження максимальної потужності.

Однак використання ІР підвищувального типу не завжди є зручним, оскільки у цьому випадку напруга акумулятора E_a має бути принаймні в 2 рази більшою, від напруги джерела електричної енергії E [10]. При використанні у якості узгоджувального ІР понижувального типу, напруга акумулятора E_a може бути в 2 рази меншою від напруги джерела E . Однак такі регулятори споживають від джерела електричної енергії імпульсний струм (енергія споживається імпульсами).

Мета роботи

Метою роботи є дослідження особливостей роботи ІР понижувального типу на акумулятор і визначення умов, за яких від джерела електричної енергії до акумулятора передаватиметься максимальна кількість електричної енергії.

Виклад основного матеріалу

Визначимо регульовальну характеристику ІР напруги понижувального типу для випадку, коли на його виході стоїть акумулятор E_a (рис. 1).

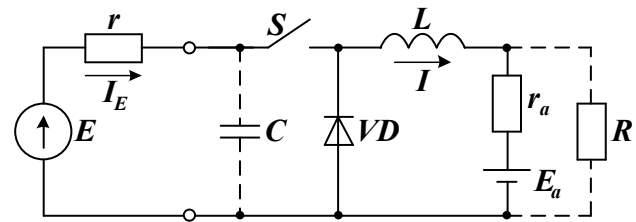


Рис. 1 – Схема ІР напруги понижувального типу

Якщо струм реактора L є безперервним і змінюється за законом, близьким до лінійного, умову рівності нулю середнього значення напруги на індуктивності $U_L = 0$ (умову усталеного режиму), відповідно до [9] можна записати наступним чином

$$(E - I_E r - I r_a - E_a) t^* = (E_a + I r_a) (1 - t^*), \quad (1)$$

де $t^* = t_3/T$ - відносний час замкненого стану ключа S .

Після відповідних скорочень матимемо

$$E t^* - E_a = I r_a + I_E r t^*. \quad (2)$$

Якщо конденсатор C відсутній ($C = 0$), $I_E = I$. Враховуючи, що напруга джерела E та акумулятора E_a є фіксованою, ІР напруги (рис. 1) працюватиме у режимі регулювання вихідного струму (струму заряджання акумулятора)

$$I = \frac{E t^* - E_a}{r_a + r t^*}. \quad (3)$$

Відповідно до (3), енергія передаватиметься від джерела E до акумулятора E_a лише за умови, що $I > 0$, тобто при $E t^* > E_a$. Отже, при регулюванні має виконуватись умова

$$t^* > \frac{E_a}{E} = E_a^*, \quad (4)$$

де E_a^* - відносна напруга акумулятора.

Для більш загального характеру отримуваних результатів представимо регульовальну характеристику у відносних одиницях

$$I^* = \frac{t^* - E_a^*}{r_a^* + t^*}, \quad (5)$$

де $r_a^* = r_a/r$ - відносний опір акумулятора;

$$I^* = I/I_{\text{в\ddot{e}}\text{д}},$$

де $I_{sc} = E/r$ - струм короткого замикання джерела E .

Формула (5) описує сімейство регулювальних характеристик ІР (рис. 1), вигляд яких залежатиме від величини E_a^* та r_a^* .

Для зменшення втрат енергії в акумуляторі при його заряджанні, а також послабленні залежності вихідної напруги від струму заряджання акумулятора необхідно, щоб в усьому робочому діапазоні регулювання виконувалась умова [9]

$$I_m r_a < 0,1 E_a, \quad (6)$$

де I_m - максимально допустиме середнє значення струму заряджання акумулятора.

Очевидно, що максимальний струм заряджання акумулятора буде у випадку, коли навантаження R відключене. Якщо ж навантаження підключене, вихідний струм ІР I перерозподілятиметься між акумулятором E_a та навантаженням R . Представимо умову (6) у відносних одиницях, для чого розділимо її праву та ліву частину на r

$$r_a^* < 0,1 \frac{E_a^*}{I_m^*}. \quad (7)$$

Відповідно до (5), струм заряджання акумулятора досягатиме максимального значення за умови, що $t^* = 1$, тобто

$$I_m^* = \frac{1 - E_a^*}{r_a^* + 1}, \quad (8)$$

Підставивши (8) в (7) отримаємо максимально допустиму величину відносного опору акумулятора

$$r_{am}^* < \frac{0,1 E_a^*}{1 - 1,1 E_a^*}. \quad (9)$$

Оскільки, відповідно до (8) при збільшенні E_a^* струм I_m^* зменшуватиметься, допустима величина r_{am}^* , з урахуванням (7), зростатиме. В табл. 1 наведено максимально допустимі значення r_{am}^* при різних значеннях E_a^* .

На рис. 2 побудовано графіки сімейства регулювальних характеристик ІР (рис. 1) для різних значень E_a^* за умови, що $r_a^* \ll 1$ (суцільна лінія) і для $r_a^* = r_{am}^*$ відповідно до табл. 1 (пунктирна лінія).

Аналіз цих графіків показує, що максимальний струм (максимальна енергія) передаватиметься до акумулятора з заданою напругою E_a^* при $t^* = 1$, тобто в *нерегульованому* режимі. Відомо, що точка максимальної потужності (ТМП) для джерела напруги

E з лінійним внутрішнім опором r має координати $I^* = 0,5$; $U^* = 0,5$ [1]. Відповідно до графіків (рис. 2), тільки у випадку $E_a^* = 0,5$ та $t^* = 1$ джерело вхідної напруги E працюватиме в ТМП і до акумулятора E_a надходитиме максимально можлива потужність $P_{max}^* = I^* E^* = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25$. При інших значеннях E_a^* енергія, що надходить до акумулятора, завжди буде меншою від максимально можливої. На рис. 3 наведено графік $P_a^* = f(E_a^*)$ для випадку $t^* = 1$ (суцільна лінія).

Таблиця 1 – Максимально допустимі значення r_{am}^* для різних значень E_a^*

N	E_a^*	$r_{am}^* < (C = 0)$	$r_{am}^* < (C > 0)$
1	0,1	0,011	0,004
2	0,2	0,026	0,016
3	0,3	0,045	0,036
4	0,4	0,072	0,064
5	0,5	0,11	0,1
6	0,6	0,18	0,18
7	0,7	0,3	0,3
8	0,8	0,67	0,67
9	0,82	0,82	0,82
10	0,84	1,12	1,12
11	0,86	1,72	1,72
12	0,88	2,9	2,9
13	0,9	9	9

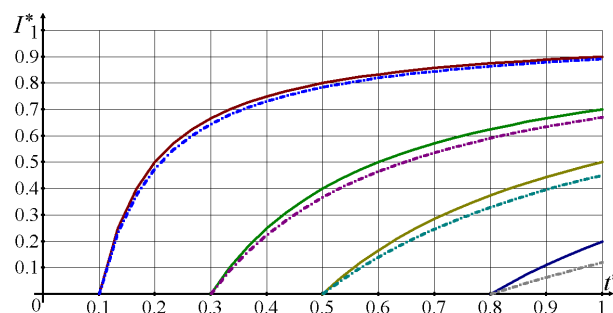


Рис. 2 – Регулювальні характеристики ІР при відсутності конденсатора C

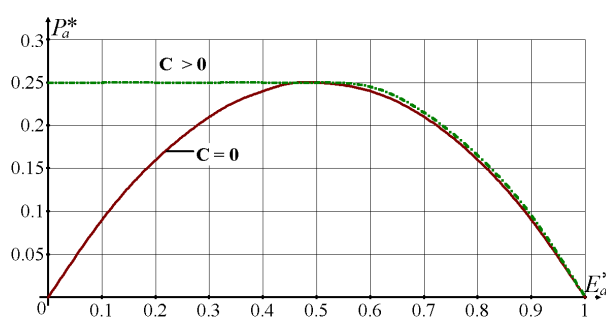


Рис. 3 – Максимальна вихідна потужність P_a^* для різних значень E_a^*

Якщо ж $t^* < 1$ (в режимі регулювання) енергія, що надходить до акумулятора, буде ще меншою. Це пов'язано з тим, що в режимі регулювання струм, що споживається від джерела E , має імпульсний характер. Чим меншою є тривалість замкнутого стану ключа t^* , тим меншою буде енергія, що відбирається від джерела i , відповідно, надходить до акумулятора. Отже, для того, щоб від джерела E до акумулятора E_a передати максимально можливу кількість енергії, відносна напруга акумулятора має бути $E_a^* = 0,5$, а ІР повинен працювати в нерегульованому режимі ($t^* = 1$). В усіх інших випадках кількість енергії, переданої до акумулятора, буде меншою.

Підключення конденсатора C на виході джерела E

Для передавання до акумулятора максимально можливої кількості енергії при різних значеннях E_a^* , необхідно забезпечити безперервне відбирання струму від джерела E . З цією метою на його виході підключають конденсатор $C \neq 0$ достатньо великої ємності (на рис. 1 показаний пунктиром). За такої умови, навіть при розімкненому ключі S , від джерела E буде споживатись струм, який йтиме на зарядження конденсатора. Коли ж ключ S перебуватиме у замкнутому стані, до кола навантаження надходитиме струм, що дорівнює сумі струмів джерела E та розрядного струму конденсатора C . Таким чином до акумулятора надходитиме більша кількість енергії. Проаналізуємо регульовальні характеристики цього варіанту схеми (рис. 1).

В усталеному режимі роботи ІР середнє значення напруги на індуктивності, а також середнє значення струму через ємність дорівнюють нулю

$$U_L = I_C = 0. \quad (10)$$

Тому струм $I_E = It^*$. З урахуванням цього з рівняння (1) отримаємо наступне співвідношення

$$Et^* - E_a = Ir_a + Irt^{*2},$$

звідки

$$I = \frac{Et^* - E_a}{r_a + rt^{*2}}. \quad (11)$$

Таким чином, при наявності конденсатора C , регульовальна характеристика ІР (рис. 1) у відносних одиницях матиме вигляд

$$I^* = \frac{t^* - E_a^*}{r_a^* + t^{*2}}. \quad (12)$$

Очевидно, що струм зарядження акумулятора I^* буде найбільшим при виконанні умови $r_a^* \ll t^{*2}$. Саме для такої умови на рис. 4 наведено графік сімейства регульовальних характеристик ІР з конденсатором C для різних значень E_a^* . Відповідно до цих графіків вихідний струм I^* (струм зарядження акумулятора) досягає максимального значення I_m^* при певному значенні $t^* = t_m^*$. Визначимо це значення. Для цього прирівняємо до нуля похідну dI^*/dt^* .

$$\frac{dI^*}{dt^*} = t^{*2} - 2t^{*2} + 2t^*E_a^* = 0,$$

Або

$$t^*(2E_a^* - t^*) = 0. \quad (13)$$

З двох коренів цього рівняння дійсним буде корінь

$$t_m^* = 2E_a^*, \quad (14)$$

оскільки відповідно до (4) $E_a^* < t^* < 1$, причому для $E_a^* \geq 0,5$, $t_m^* = 1$, що узгоджується з результатами, наведеними на рис. 4.

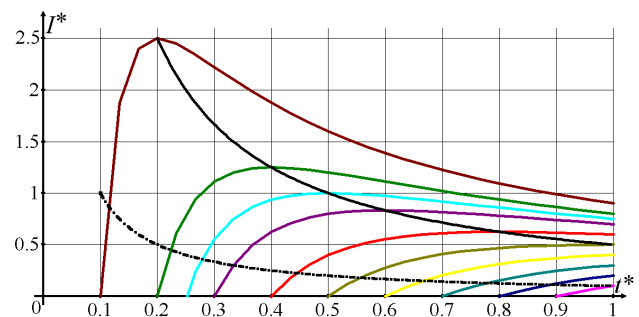


Рис. 4 – Регульовальні характеристики ІР при підключенні конденсатора C

Підставивши (14) в (12), з урахуванням вказаних вище обмежень, отримаємо залежність $I_m^* = f(E_a^*)$. В табл. 2 наведено чисельні значення I_m^* для різних значень E_a^* за умови, що $t^* = t_m^*$

Одержані результати показують, що за умови $t^* = t_m^*$ для $E_a^* \leq 0,5$ джерело вхідної напруги E працюватиме в ТМП і до акумулятора надходитиме максимально можлива потужність $P_m^* = E_a^* I_m^* = 0,25$. Якщо ж $E_a^* > 0,5$, забезпечити роботу джерела вхідної напруги E в ТМП неможливо. У таких випадках максимальна енергія надходитиме до акумулятора в нерегульованому режимі ($t^* = 1$),

причому із збільшенням E_a^* потужність, що передається, зменшуватиметься. На рис. 3 пунктирною лінією наведено графік залежності $P_m^* = f(E_a^*)$ для ІР з конденсатором ($C > 0$).

Таблиця 2 – Максимальні значення струму заряджання акумулятора I_m^*

N	E_a^*	t_m^*	I_m^*	P_m^*
1	0,1	0,2	2,5	0,25
2	0,2	0,4	1,25	0,25
3	0,25	0,5	1	0,25
4	0,3	0,6	0,83	0,25
5	0,4	0,8	0,63	0,25
6	0,5	1	0,5	0,25
7	0,6	1	0,4	0,24
8	0,7	1	0,3	0,21
9	0,8	1	0,2	0,16
10	0,9	1	0,1	0,09

З табл. 2 слідує, що у випадку $E_a^* = 0,25$ максимальне значення зарядного струму акумулятора чисельно дорівнює струму короткого замикання джерела E ($I_m^* = 1$), а для $E_a^* < 0,25$ навіть перевищує цей струм. Це пояснюється тим, що при малих значеннях t^* конденсатор C працюватиме в режимі, близькому до режиму роботи ємнісних накопичувачів енергії. У моменти замикання ключа S конденсатор C віддаватиме в коло навантаження значний струм, який може перевищувати струм короткого замикання джерела напруги E .

Зауважимо, що вказані в табл. 2 максимальні значення зарядного струму I_m^* можуть бути отримані лише за умови, що $r_a^* < 0,4E_a^{*2}$, або з урахуванням (14)

$$r_a^* < 0,4E_a^{*2}. \quad (15)$$

Якщо ж $E_a^* > 0,5$, $t_m^* = 1$ і не залежить від E_a^* . У цьому випадку r_a^* вибирають так само, як і для ІР без конденсатора C . В табл. 1 наведено максимально допустимі значення r_a^* для ІР без конденсатора ($\tilde{N} = 0$) і з конденсатором ($\tilde{N} > 0$).

Режим переривчастого струму реактора

Одержані регульовальні характеристики (5) та (12) є дійсними для випадку, коли реактор L працює в режимі *безперервного* струму. Відповідно до цих формул струм I може протікати як від джерела E до акумулятора E_a , так і у зворотному напрямку. Однак оскільки в реальній схемі (рис. 1) послідовно з реактором L ввімкнено діод VD , струм через неї може протікати лише в одному напрямку. Тому при певних умовах, струм через реактор L ставатиме

переривчастим і формули (5) та (12) будуть недійсними. Визначимо умови, за яких ІР переходить в режим переривчастого струму реактора L .

Як відомо [11], струм через реактор буде безперервним доти, поки постійна складова цього струму I є більшою від амплітуди змінної складової

$$I \geq \Delta I / 2, \quad (16)$$

де $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$ - пульсація струму в реакторі.

Якщо виконується умова (6), пульсацію струму реактора *на границі* режиму безперервного струму можна визначити як

$$\Delta I \cong \frac{E_a}{L}(T - t_3) = \frac{E_a T}{L}(1 - t^*),$$

або у відносних одиницях

$$\Delta I^* = \frac{E_a^*}{\tau^*}(1 - t^*), \quad (17)$$

де $\tau^* = \frac{L}{rT}$ - відносна стала часу.

З урахуванням (5), (12) та (17) умова безперервного струму реактора для ІР без конденсатора ($\tilde{N} = 0$) матиме вигляд

$$\frac{t^* - E_a^*}{r_a^* + t^*} \geq \frac{E_a^*}{2\tau^*}(1 - t^*), \quad (18)$$

а для ІР з конденсатором ($\tilde{N} > 0$)

$$\frac{t^* - E_a^*}{r_a^* + t^{*2}} \geq \frac{E_a^*}{2\tau^*}(1 - t^*). \quad (19)$$

Після відповідних перетворень отримаємо рівняння, з яких можна визначити $t^* = t_{\text{ед}}^*$ - відносний час замкненого стану ключа S , при якому реактор L працюватиме на *границі* режиму безперервного струму. Для схеми без конденсатора це буде квадратне рівняння, а для схеми з конденсатором - кубічне. З урахуванням фізичного смислу параметра t^* , $t_{\text{ед}}^*$ може перебувати в діапазоні $E_a^* < t_{\text{ед}}^* < 1$. Тому рішення вказаних рівнянь доцільно шукати чисельними методами. У табл. 3 наведено розраховані чисельні значення параметра $t_{\text{ед}}^*$ для різних значень E_a^* та τ^* за умови, що r_a^* не перевищує значення, наведені в табл. 1.

У режимі безперервного струму ($t^* > t_{\text{ед}}^*$), для визначення середнього значення струму реактора I^* , можна користуватись формулами (5) та (12). У

граничному режимі ($t^* = t_{\text{ед}}^*$), відповідно до цих формул, середнє значення струму $I^*(t_{\text{ед}}^*) = I_{\text{ед}}^*$. У режимі переривчастого струму ($t^* < t_{\text{ед}}^*$) середнє значення струму індуктивності I^* буде зменшуватись відносно $I_{\text{ед}}^*$ пропорційно до зменшення t^{*2} [9]

$$\frac{I^*}{I_{\text{ед}}^*} = \frac{t^{*2}}{t_{\text{ед}}^{*2}},$$

звідки

$$I^* = \frac{I_{\text{ед}}^*}{t_{\text{ед}}^{*2}} \cdot t^{*2}. \quad (20)$$

Таблиця 3 – Значення $t_{\text{ед}}^*$ для E_a^* та τ^*

E_a^*	C	$\tau^* = 1$	$\tau^* = 3$	$\tau^* = 5$
0,3	$C = 0$	0,336	0,312	0,308
	$C > 0$	0,315	0,305	0,303
0,5	$C = 0$	0,56	0,52	0,515
	$C > 0$	0,536	0,512	0,508
0,8	$C = 0$	0,86	0,82	0,81
	$C > 0$	0,85	0,82	0,81

На рис. 5, як приклад, наведено графік регулювальних характеристик для ІР з конденсатором ($\tilde{N} > 0$) з урахуванням можливості виникнення режиму переривчастого струму в реакторі для випадків $E_a^* = 0,25; 0,5$ та $0,75$ для $\tau^* = 1$.

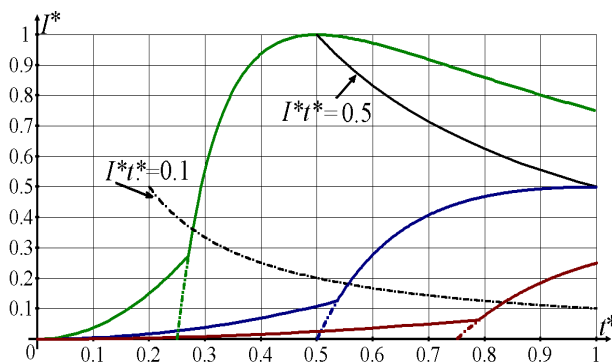


Рис. 5 – Регулювальні характеристики ІР з конденсатором з урахуванням режиму переривчастого струму індуктивності

Наведені графіки регулювальних характеристик (рис. 4 та 5) побудовано з урахуванням умови (6), яка обмежує втрати потужності в акумуляторі при його заряджанні.

Якщо джерело енергії E є відновлюваним, від нього доцільно відбирати максимально можливу

потужність, не зважаючи на втрати енергії у самому джерелі. Якщо ж джерело живлення є традиційним, втрати потужності у ньому також необхідно обмежувати, наприклад шляхом обмеження величини струму I_E , що споживається [12]. Найчастіше використовують обмеження, аналогічне до обмеження, що використане для акумулятора (6), тобто $I_E \cdot r < 0,1 E$, або $I_E < 0,1 E / r = 0,1 I_{\text{ед}}$. У відносних одиницях ця умова матиме вигляд

$$I_E^* < 0,1. \quad (21)$$

Враховуючи, що для схеми без конденсатора ($\tilde{N} = 0$) $I_E = I$, а для схеми з конденсатором ($\tilde{N} > 0$) $I_E = I^*$, ці обмеження відповідно матимуть вигляд

$$I^* < 0,1; \quad (22)$$

$$I^* < 0,1/t^*. \quad (23)$$

Для забезпечення можливості роботи джерела E в ТМП в схемі з конденсатором ($\tilde{N} > 0$), вказане обмеження повинне мати вигляд

$$I^* < 0,5/t^*. \quad (24)$$

За необхідності можуть бути використані і інші обмеження. Не зважаючи на вказані обмеження, загальний вигляд одержаних регулювальних характеристик не зміниться. Однак у цьому випадку необхідно бути використовувати їх обмежену ділянку. На рис. 4 та 5 пунктиром показано границю робочих ділянок характеристик при використанні умови (23) і суцільною лінією при виконанні умови (24).

Висновки

У статті показано, що при роботі ІР напруги понижувального типу на акумулятор, відбирання від джерела електричної енергії максимальної потужності можливе лише у випадку встановлення на вході ІР конденсатора достатньо великої ємності. Відповідно до одержаних регулювальних характеристик, струм заряджання акумулятора, при певних умовах, може перевищувати струм короткого замикання джерела електричної енергії. Регулювальні характеристики побудовано за умови обмеження втрат енергії в акумуляторі. За необхідності обмеження втрат енергії в джерелі електроживлення вигляд одержаних характеристик не змінюватиметься, однак у цьому випадку використовуватиметься їх обмежена ділянка.

Список літератури

1. **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники. В 2 т. Том 1. Электрические цепи: учебник для академического бакалавриата / **Л. А. Бессонов** – Москва: Издательство Юрайт. – 2019. – 831 с.
2. **Soh, Luo-Qi.** Building of a portable solar ac & dc power supply / **Luo-Qi Soh, Chee-Chiang Derrick Tiew** // *Intelligent Systems, Modelling and Simulation*. – 2014. – doi: 10.1109/ISMS.2014.82.
3. **Srinivasa, Kishore Babu Y.** A DC-DC converter with battery energy storage system for electric vehicles / **Srinivasa Kishore Babu Y, Tripura Pidikiti** // *Journal of Control Theory and Applications*. – 2016. – Т. 33. – № 9. – P. 61-69.
4. **Ромашко, В. Я.** Устройства согласования нагрузки с источником электрической энергии / **В. Я. Ромашко** // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. – 2013. – № 8 – Т. 1. – С. 67-74.
5. **Falin, Jeff.** A boost-topology battery charger powered from a solar panel / **Jeff Falin, Li Wang** // *Analog Applications Journal*. – 2011. – 30. – P. 17-20.
6. **Yasaswini, Shirisha S.** Design and implementation of efficient solar powered DC-DC boost converter for loads / **S. Yasaswini Shirisha, V. Uttej, Y. Lakshmi Pravallika** // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. – 2016. – Vol. 3. – Iss. 09. – P. 1013-1020.
7. **Anandhil, T. S.** Application of DC-DC boost converter for solar powered traffic light with battery backup / **T. S. Anandhil, S. Prem Kumar** // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2015. – Vol. 8(32). – doi: 10.17485/ijst/2015/v8i32/84408.
8. **Sheng-Yu, Tseng.** A photovoltaic power system using a high step-up converter for DC load application / **Sheng-Yu Tseng, Hung-Yuan Wang** // *Energies*. – 2013. – 6. – P. 1068-1100. – doi: 10.3390/en6021068 Energies.
9. **Ромашко, В. Я.** Особливості режиму роботи узгоджувального імпульсного регулятора, що працює на акумулятор / **В. Я. Ромашко, Л. М. Батрак** // *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*. – 2018. – № 4. – Т. 23. – С. 22-30. – doi: 10.20535/2523-4455.2018.23.4.131272.
10. **Pui-Weng, Chan.** DC-DC Boost Converter with Constant Output Voltage for Grid Connected Photovoltaic Application System / **Pui-Weng Chan**. URL: <https://ccore.ac.uk/download/pdf/12342408.pdf>.
11. **Гончаров, Ю. П.** Перетворювальна техніка. Підручник. Ч. 2 / **Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов, М. В. Панасенко, В. Я. Ромашко, В. С. Руденко**. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.
12. **Иванов, А. А.** Справочник по электротехнике / **А. А. Иванов** – Киев: Вища школа, 1984. – 350 с.

References (transliterated)

1. **Bessonov, L. A.** Teoreticheskiye osnovy élektrotekhniki. Élektrycheskiye tsepy: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata [The theory of Electrical Engineering. Electrical circuits: a textbook for bachelors]. Moscow: Publishing House Yurayt, 2019, 831.
2. **Luo-Qi Soh, Chee-Chiang Derrick Tiew.** Building of a portable solar ac & dc power supply. *Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, 2014, doi: 10.1109/ISMS.2014.82.
3. **Srinivasa, Kishore Babu Y., Tripura, Pidikiti.** A DC-DC converter with battery energy storage system for electric vehicles. *Journal of Control Theory and Applications*, **33**, 9, 61-69, 2016.
4. **Romashko, V. Y.** Ustroystva soglasovaniya nagruzki s istochnikom elektricheskoy energii [Matching device load from the source of electrical energy]. *Energy saving. Energy. Energy audit*, 2013, **1**, 8, 67-74.
5. **Falin, Jeff, Wang, Li.** A boost-topology battery charger powered from a solar panel. *Analog Applications Journal*, 2011, **30**, 17-20.
6. **Yasaswini, Shirisha S., Uttej, V., Lakshmi, Pravallika Y.** Design and implementation of efficient solar powered DC-DC boost converter for loads. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2016, **03**, 09, 1013-1020.
7. **Anandhil, T. S., Prem, Kumar S.** Application of DC-DC boost converter for solar powered traffic light with battery backup. *Indian Journal of Science and Technology*, 2015, **8**(32), doi: 10.17485/ijst/2015/v8i32/84408.
8. **Sheng-Yu, Tseng, Hung-Yuan, Wang.** A photovoltaic power system using a high step-up converter for DC load applications. *Energies*, 2013, **6**, 1068-1100, doi: 10.3390/en6021068 Energies.
9. **Romashko, V. Y., Batrak, L. M.** Osoblyvosti rezhymu roboty uzgodzhuval'noho impul'snoho rehulyatora, shcho pratsuyue na akumulyator [Features of the switching regulator operation on a rechargeable battery]. *Mikrosystemy, Elektronika ta Akustyka [Microsystems, Electronics and Acoustics]*, 2018, **4**, 23, 22-30, doi: 10.20535/2523-4455.2018.23.4.131272.
10. **Pui-Weng, Chan.** DC-DC Boost Converter with Constant Output Voltage for Grid Connected Photovoltaic Application System. Available at: <https://ccore.ac.uk/download/pdf/12342408.pdf>.
11. **Goncharov, Yu. P., Budonii, O. V., Morozov, V. G., Panasenko, M. V., Romashko, V. Ya, Rudenko, V. S.** Peretvoryuvalna tehnika. Pidruchnik [Converting technique. Textbook]. Part 2. Kharkiv: Folio, 2000, 360.
12. **Ivanov, A. A.** Spravochnik po elektrotekhnike. [Handbook of Electrical Engineering]. Kiev: Vishcha shkola, 1984, 350.

Сведения об авторах (About authors)

Ромашко Володимир Якович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри промислової електроніки, м. Київ, Україна; ORCID: 0000-0002-5429-7685; e-mail volodymyr.romashko@gmail.com.

Volodymyr Romashko – Dr. Sc., Professor, Professor of Department of Industrial Electronics; National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5429-7685; e-mail volodymyr.romashko@gmail.com.

Батрак Лариса Миколаївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри промислової електроніки, Київ, Україна; ORCID: 0000-0001-9327-6863, e-mail batrakln5@gmail.com.

Larysa Batrak – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor of the Department of Industrial Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; ORCID 0000-0001-9327-6863, e-mail batrakln5@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ромашко, В. Я. Регулювальні характеристики імпульсного регулятора понижувального типу, що працює на акумулятор / **В. Я. Ромашко, Л. М. Батрак** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 30-37. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.04.

Please cite this article as:

Romashko, V., Batrak, L. M. Regulation characteristics of the step-down switching regulator which operates on a rechargeable battery. *Bulletin of NTU "KhPI." Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 30-37, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.04.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ромашко, В. Я. Регулировочные характеристики импульсного регулятора понижающего типа, работающего на аккумуляторе / **В. Я. Ромашко, Л. М. Батрак** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 30-37. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.04.

АННОТАЦИЯ Целью работы является исследование особенностей работы импульсного регулятора постоянного напряжения понижающего типа для случая, когда на его выходе подключен аккумулятор, работающий в буферном режиме. Проведен анализ его регулировочных характеристик при наличии и отсутствии конденсатора достаточно большой емкости на входе регулятора. Отмечено, что при наличии аккумулятора на выходе регулятора напряжения, последний будет работать в режиме регулирования выходного тока (тока зарядки аккумулятора). Показано, что для обеспечения возможности передачи от источника электрической энергии к аккумулятору максимально возможной энергии, необходимо устанавливать на входе импульсного регулятора конденсатор с достаточно большой емкостью. Регулировочные характеристики получены для различных значений соотношения напряжений аккумулятора и источника питания. Определены условия, при которых от источника электрической энергии к аккумулятору передается максимально возможная мощность. Показано, что при определенных условиях, ток зарядки аккумулятора может превышать ток короткого замыкания источника электрической энергии. Определены условия, при которых в индуктивности регулятора возникает режим прерывистого тока. С учетом возможности возникновения такого режима проведено уточнение полученных регулировочных характеристик. Регулировочные характеристики построены с учетом необходимости ограничения потерь электрической энергии в аккумуляторе. Для этого определялась максимально допустимая величина относительного внутреннего сопротивления аккумулятора. При необходимости ограничения потерь энергии в источнике электропитания, вид полученных регулировочных характеристик остается неизменным. Однако, в этом случае, необходимо будет использовать ограниченный участок этих характеристик. Сделан вывод, что при работе импульсного регулятора на аккумулятор, для определения его регулировочной характеристики обязательно необходимо учитывать внутреннее сопротивление источника электропитания. Без учета этого сопротивления регулировочная характеристика импульсного регулятора является неопределенной.

Ключевые слова: импульсный регулятор; аккумулятор; регулировочная характеристика; режим прерывистого тока; отбор максимальной мощности; внутреннее сопротивление.

Поступила (received) 26.04.2019

УДК 004.652.4+617.3: 616-089

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.05

ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИНИКНЕННЯ М'ЯЗОВОГО ТРЕМОРУ ПІСЛЯ АНЕСТЕЗІЇ У ДІТЕЙ З ВРОДЖЕНИМИ ВАДАМИ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ**О. В. ВИСОЦЬКА^{1*}, А. С. ОВЧЕНКО², О. В. ГУБАНОВА³, А. І. ПЕЧЕРСЬКА¹,
О. Й. ДОВНАР¹, Г. С. ДОБРОРОДНЯ²**¹ Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.С.Жуковського «ХАІ», кафедра радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій, Харків, УКРАЇНА² Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра біомедичної інженерії, Харків, УКРАЇНА³ Харківська медична академія післядипломної освіти, кафедра дитячої анестезіології та інтенсивної терапії, Харків, УКРАЇНА

*e-mail: evisotska@ukr.net.

АНОТАЦІЯ У роботі обґрунтовано актуальність прогнозування виникнення м'язового тремору в післяопераційному періоді у дітей з вродженими вадами опорно-рухового апарату. Післяопераційний тремор є поширеним ускладненням операцій з приводу корекції вроджених вад опорно-рухового апарату у дітей. Його наявність може погіршувати умови проведення традиційного моніторингу, тому завчасне прогнозування його появи є важливою умовою вибору анестезіологічного забезпечення періопераційного періоду. Розроблено функціональну структуру інформаційної технології визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими вадами опорно-рухового апарату. Визначені масиви вхідної, керуючої і вихідної інформації, а також механізми, які забезпечують реалізацію технології. Проведено декомпозицію запропонованої технології на складові функціональні процеси. Визначено, що основними функціональними процесами інформаційної технології визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими вадами опорно-рухового апарату є: збір інформації про стан пацієнта, кодування якісних та кількісних показників про стан пацієнта, визначення ймовірності появи м'язового тремору та формування висновку про стан пацієнта. Процес визначення ймовірності появи м'язового тремору базується на математичному моделюванні з використанням методів бінарної логістичної регресії та послідовного аналізу Вальда. Проведено концептуальне моделювання даних, в результаті якого для зберігання необхідної клініко-діагностичної інформації запропоновано 15 сутностей. Розроблено структурну схему інформаційної системи визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими вадами опорно-рухового апарату, яка складається з десяти взаємопов'язаних блоків та дозволяє автоматизувати процеси збору, обробки, аналізу, зберігання та передачі інформації щодо стану пацієнта. Використання запропонованої системи дозволить покращити якість післяопераційного пробудження, знизити рівень післяопераційного болю і дискомфорту, поліпшити моніторинг.

Ключові слова: анестезія; апарат опорно-руховий; моніторинг; система інформаційна; тремор м'язовий

TECHNOLOGY FOR DETERMINING THE OCCURRENCE OF MUSCLE TREMOR AFTER ANESTHESIA IN CHILDREN WITH CONGENITAL DISORDERS OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM**O. VYSOTSKA¹, A. OVCHENKO², O. GUBANOVA³, A. PECHERSKA¹,
O. DOVNAR¹, G. DOBRORODNIA²**¹ Kharkiv National Aerospace University – "Kharkiv Aviation Institute", Department of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies, Kharkiv, UKRAINE² Kharkiv National University of Radio Electronics, Department of biomedical engineering, Kharkiv, UKRAINE³ Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Department of pediatric anesthesiology and intensive care Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The paper substantiates the relevance of predicting the occurrence of muscle tremor in the postoperative period in children with congenital defects of the musculoskeletal system. Postoperative tremor is a common complication of surgery for the correction of congenital defects of the musculoskeletal system in children. Its presence may worsen the conditions for conducting traditional monitoring; therefore, an early prediction of its occurrence is an important condition for the selection of anesthetic management of the perioperative period. The functional structure of information technology to determine the occurrence of muscle tremor after anesthesia in children with congenital defects of the musculoskeletal system has been developed. The arrays of input, control and output information, as well as mechanisms that ensure the implementation of the technology are defined. The decomposition of the proposed technology into its constituent functional processes was carried out. It was determined that the main functional processes of information technology to determine the occurrence of muscle tremor after anesthesia in children with congenital defects of the musculoskeletal system are: collecting information about the patient's condition, coding qualitative and quantitative indicators about the patient's condition, determining the likelihood of muscle tremor and forming a conclusion about the patient. The process of determining the likelihood of muscle tremor is based on mathematical modeling using the methods of binary logistic regression and sequential analysis of Wald. A conceptual data modeling was carried out, as a result of which 15 entities were proposed for storing the necessary clinical diagnostic information. It is presented a block diagram of an information system for

determining the occurrence of muscle tremors after anesthesia in children with congenital defects of the musculoskeletal system, which consists of ten interconnected blocks and allows you to automate the process of collecting, processing, analyzing, storing and transmitting information about the patient's condition. The use of the proposed system will improve the quality of postoperative awakening, reduce the level of postoperative pain and discomfort, and improve monitoring.

Keywords: *anesthesia; information system; muscle tremor; musculoskeletal system; monitoring*

Вступ

Операції з приводу корекції вроджених вад опорно-рухового апарату у дітей характеризуються високою складністю, тривалістю, багатоетапністю, значною травматичністю та крововтратою. У ранньому післяопераційному періоді існує високий ризик прояву ускладнень і неприємних реакцій, особливо у дітей раннього віку з вродженими вадами розвитку, що зумовлено коморбідністю станів [1].

Частота виникнення післяопераційного м'язового тремору при спінальній анестезії становить 19,5 % [2,3], 16,7 % дітей, які отримують хвостову анестезію, відчують тремтіння після пробудження [4,5].

Післяопераційний тремор є поширеним та неприємним ускладненням післяопераційного періоду, що модулюється центром терморегуляції гіпоталамуса і виражається у спонтанних асинхронних скороченнях скелетної мускулатури [6]. Поява м'язового тремору може погіршувати умови проведення традиційного моніторингу.

Сучасні підходи до вивчення патомеханізмів різних форм тремору базуються на балістичному аналізі рухів, електрофізіологічному тестуванні рефлексів [7], дослідженні моторних потенціалів при транскраніальній магнітній стимуляції, вивченні локальних потенціалів базальних гангліїв, зареєстрованих від вживлених електродів глибокої стимуляції мозку [8]. Також для виявлення тремору, як набору даних, використовується метод виявлення імпульсів ЕМГ, де використовується мінімізація функцій витрат для надання набору параметрів [9].

Для діагностування різних типів тремору, наприклад, тремору спокою, кінетичного тремору, запропоновано програмно-апаратний комплекс [10], який реєструє відеокамерою положення зафіксованого на досліджуваній ділянці тіла пацієнта маркера та аналізує отриману інформацію в реальному масштабі часу.

У роботі [11] запропоновано комп'ютерну програму, яка базується на дослідженні основних параметрів імунної системи, оцінці фізикального та нейростатусу за шкалами ASA, SOFA в передопераційному і післяопераційному періодах, що дозволяє вивчити реакцію організму на анестезію і надає можливість сформулювати поняття «нормострес».

У дослідженнях [12,13] описано системи, які дозволяють розрахувати числові показники ризиків виникнення найбільш небезпечних ускладнень в періопераційному періоді та оцінюють ризик виникнення інсульту, аритмії, інфаркту.

Однак зазначені системи не передбачають розрахунок ризику виникнення м'язового тремору.

Таким чином, вище викладене дозволяє встановити, що проблема визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату залишається актуальною і до кінця не вирішеною.

Мета роботи

Метою роботи є розробка методу прогнозування виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими вадами опорно-рухового апарату з метою запобігання розвитку ускладнень, зниження рівня післяопераційного болю та дискомфорту.

Виклад основного матеріалу

З метою розробки методу прогнозування було відібрано 84 пацієнта віком від 1 до 4 років, яким проводилася хірургічна корекція з приводу: вродженого вивиху стегна, вродженої хондродисплазії, вродженого скорочення кінцівки, вродженої клишоногості, деформації стоп, полідактилії та ін. Всі пацієнти пройшли комплексне обстеження, яке містило аналіз усіх клініко-лабораторних показників.

Оцінка інтенсивності тремору визначалась наступним чином: 0 – немає тремтіння; 1 – периферична вазоконстрикція, але відсутність видимого тремтіння; 2 – м'язова активність лише в одній групі м'язів; 3 – м'язова активність у більш ніж одній групі м'язів, але не узагальнена; 4 – тремтіння за участю всього тіла.

Для виявлення факторів ризику виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату був використаний метод бінарної логістичної регресії та послідовний аналіз Вальда.

Під час розробки технології визначення виникнення м'язового тремору у дітей з вродженими вадами опорно-рухового апарату були зібрані та опрацьовані кількісні та якісні показники стану пацієнта, які були отримані під час проведення хірургічного втручання. Оскільки дослідження передбачають велику кількість інформації, виникла потреба в автоматизації цього процесу і створенні інформаційної технології, схема функціональної структури якої наведена на рис. 1.

На вхід розробленої технології надходять дані щодо значень клініко-лабораторних показників, результатів тестів та особиста інформація [14]. Клініко-лабораторні показники містять відомості про значення рівня глюкози, гемоглобіну, кетонових тіл, інсуліну. Результати тестів містять відомості про проходження тестів на пам'ять до і після анестезії.

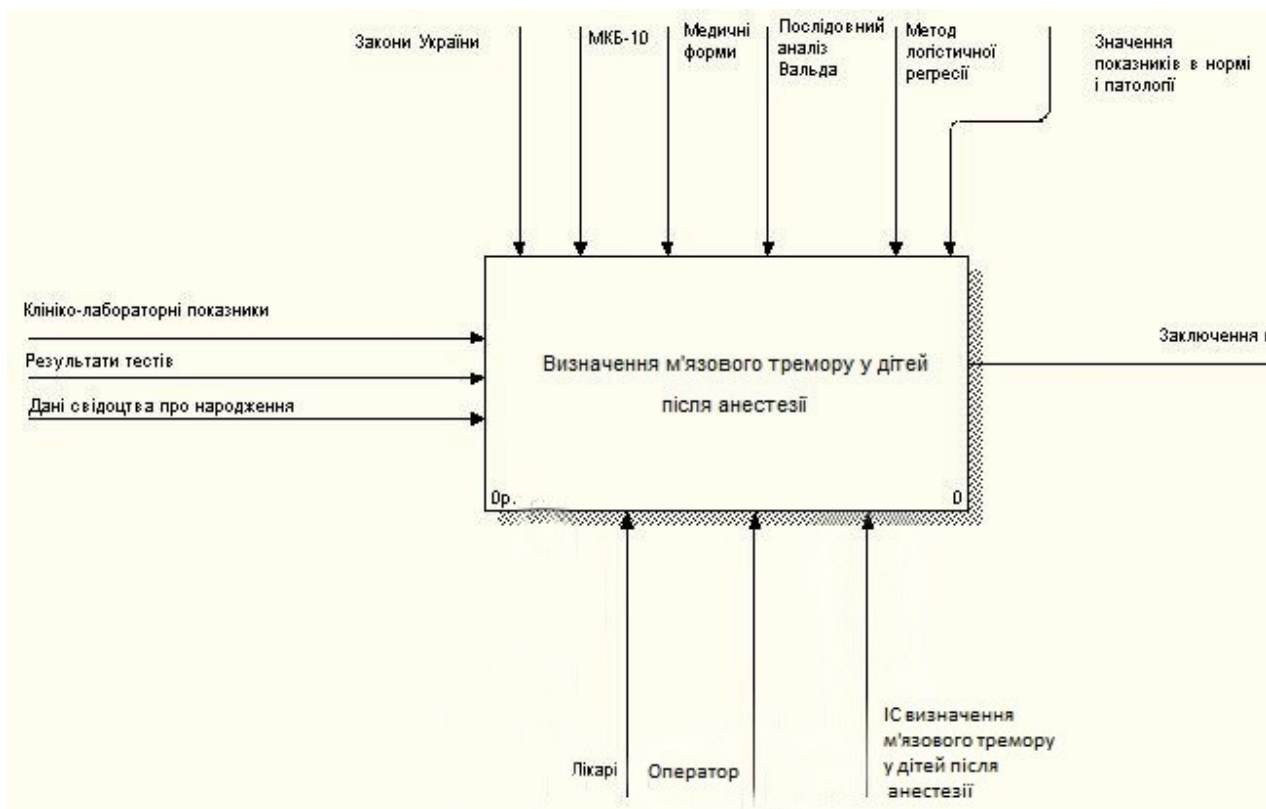


Рис. 1 – Схема функціональної структури технології визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату

Більш детальний опис технології визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату наведено на діаграмі декомпозиції першого рівня (рис. 2). Технологія визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату складається з чотирьох важливих процесів: «Збір інформації про стан пацієнта», «Кодування якісних та кількісних показників про стан пацієнта», «Визначення ймовірності появи м'язового тремору», «Формування висновку про стан пацієнта». На першому етапі визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату зчитуються дані клініко-лабораторних досліджень, результати проходження тестів, а також дані пацієнта. Потім проводиться обробка вхідної інформації. Результатом роботи «Кодування якісних та кількісних показників про стан пацієнта» є закодовані дані. Відібрані дані представляються як кількісні, категоріальні (номінальні) і порядкові показники. Закодована інформація про стан пацієнта, надходить на вхід роботи «Визначення ймовірності появи м'язового тремору», результатом якої є значення ймовірності появи м'язового тремору, яка розраховується шляхом математичного моделювання за допомогою методу бінарної логістичної регресії та послідовного аналізу Вальда.

Розраховане значення ймовірності появи м'язового тремору надходить на «Формування висновку про стан пацієнта», в якому інформація щодо пацієнта представляється в зручному для лікаря вигляді.

Для зберігання всієї необхідної інформації запропоновано базу даних, яка складається з наступних сутностей:

- «Disease_catalog» – містить відомості про коди діагнозів захворювань опорно-рухового апарату і їх розшифровку;

- «Doctor» – містить основні паспортні дані лікаря, його спеціалізацію, режим роботи;

- «Patient» – містить основні біографічні дані пацієнта, відомості про супутні і перенесені захворювання;

- «Hemodynamic parameters» – містить перелік показників, які відображають периферичну гемодинаміку людини: систолічний та діастолічний артеріальний тиск, частоту серцевих скорочень, SpO₂ (рівень насичення крові киснем), PetCO₂ (максимальна концентрація CO₂ в кінці видиху), частоту серцевих скорочень (ЧСС);

- «Visit» – містить атрибути для зберігання інформації про результати огляду пацієнта (скарги), результати діагностики;

- «Indicators of physical development» – містить відомості необхідні для оцінки ступеня операційно-анестезіологічного ризику;

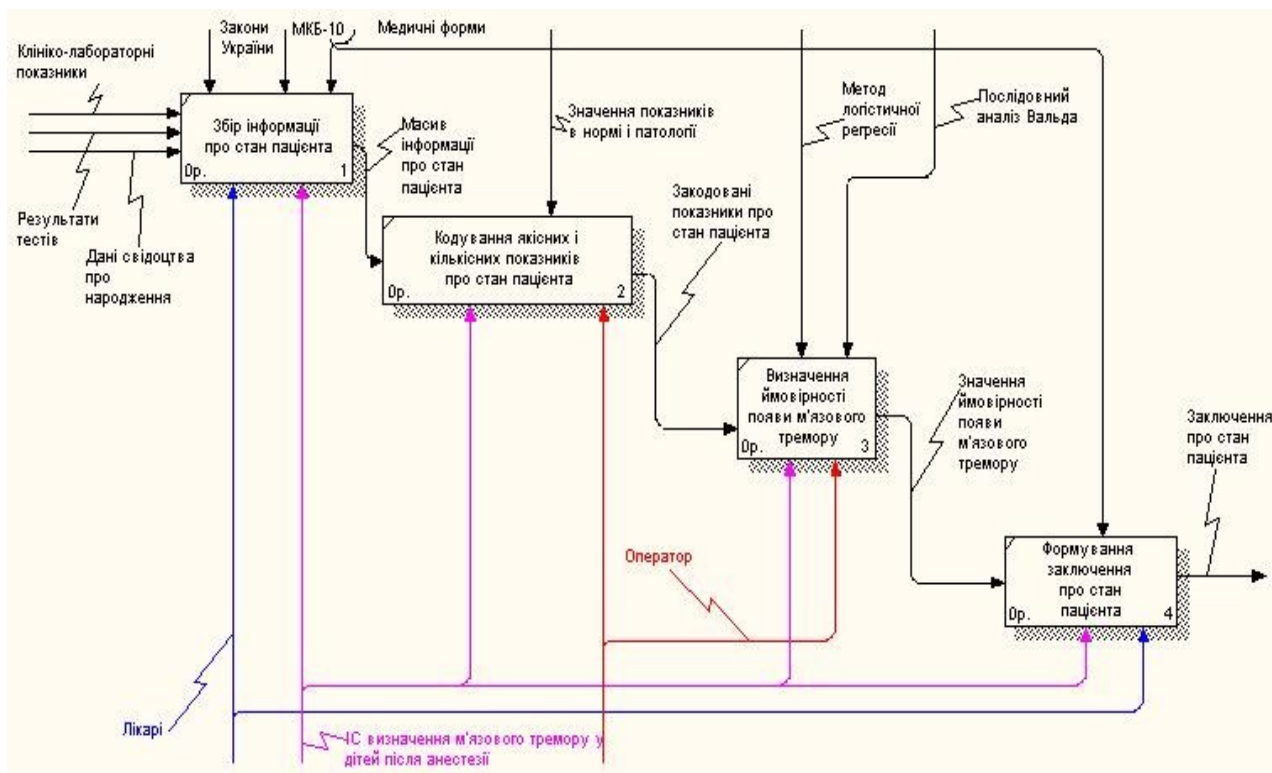


Рис. 2 – Схема функціональної структури технології визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату (декомпозиція 1-го рівня)

- «Modeling» – містить результат моделювання визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату;

- «Klinical indicators» – охоплює значення клініко-лабораторних показників, таких як: інсуліну, глюкози, кортизолу, кетонових тіл;

- «Anesthesia» – включає відомості про метод, техніку проведення і препарати для анестезії;

- «Postoperative manifestations» – містить інформацію про наявність або відсутність післяопераційних небажаних проявів у вигляді нудоти, м'язового тремору, блювання, подразнення дихальних шляхів та ін.;

- «Scales» – містить відомості про рівні болю у пацієнта після застосування анестезії;

- «Indicators of discharge» – містить відомості про пацієнта на момент переведення в палату, які необхідні для оцінки стану організму, включає час переведення в палату, показники апетиту, сну, сечовипускання;

- «Tests» – містить в себе дані, які характеризують стан пацієнта та базуються на результатах проходження тестів на пам'ять, як до так і після операції.

- «Coefficients» – містить в себе атрибути для збереження значень коефіцієнтів, які використовуються для розрахунку ймовірності виникнення м'язового тремору у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату після анестезії.

- «KAT/KLAMS_scale» – містить відомості про пізнавальний і моторний розвиток пацієнта до і після операції.

Обговорення результатів

Розроблена технологія є основою для побудови інформаційної системи визначення виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими вадами опорно-рухового апарату (рис. 3).

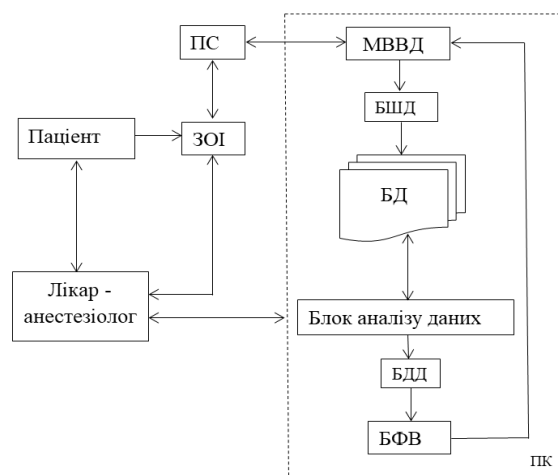


Рис. 3 – Структурна схема інформаційної системи визначення виникнення м'язового тремору після анестезії

Розглянемо основі складові структурної схеми інформаційної системи:

ЗОІ (засоби отримання інформації) – поєднують результати лікарського огляду, а також аналітичні та лабораторно-клінічні дослідження, які призначені лікарем;

МВВД – модуль введення/виведення даних, який служить для реєстрації паспортних та антропометричних даних пацієнта, результатів обстежень та досліджень, а також служить для виведення отриманих результатів на екран та друкуючий пристрій;

ПС (пристрій сполучення) – цей блок необхідний для конвертування вхідних даних в єдиний формат бази даних для зручності подальшої інтерпретації результатів;

БД (база даних) призначена для довгострокового збереження вихідних даних та даних, які надходять. Надає всю необхідну інформацію про пацієнта, про його історію хвороби. В ході збору інформації в БД зберігаються симптоми, особливості хвороби, супутні та перенесені захворювання, результати лабораторно-клінічних досліджень, обраний метод визначення розвитку рухового збудження після анестезії, формується висновок;

БФВ – блок формування висновку, де висновок подається у вигляді текстового бланку з результатами про наявність або відсутність ймовірності розвитку рухового збудження після анестезії у конкретного пацієнта після анестезії;

БШД – блок шифрування даних;

БДД – блок дешифрування даних;

ПК – персональний комп'ютер лікаря-анестезіолога за допомогою якого проводиться визначення рухового збудження після анестезії.

Система працює наступним чином.

Лікар-анестезіолог реєструє дані про загальний стан пацієнта, скарги і анамнез пацієнта та вносить дані з використанням діалогових вікон системи. Далі лікар направляє пацієнта на необхідні діагностичні обстеження. Всі отримані дані зберігаються у БД.

Після введення інформації відбувається шифрування особливих даних з використанням симетричного алгоритму блочного шифрування [15]. Вся необхідна інформація зберігається у блоці БД.

У блоці аналізу даних відбувається визначення ймовірності появи рухового збудження на підставі даних огляду, анамнезу та результатів обстежень за допомогою застосування методу логістичної регресії та послідовного аналізу Вальда. Інформація про результати визначення ймовірності появи м'язового тремору надходять в БД для збереження.

З блоку формування висновку інформація надходить в модуль введення/виведення інформації. Лікар має змогу переглянути отримані результати на екрані монітору та роздрукувати їх.

Визначення ризику виникнення м'язового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно-рухового апарату полягає у розрахунку ймовірності появи м'язового тремору за

рівнянням бінарної логістичної регресії. Для прийняття рішення про придатність моделі виконана оцінка її предикторів згідно критерію Вальда та проведена оцінка ефективності моделі на основі результатів ROC-аналізу.

Висновки

Розроблена технологія та створена на її базі інформаційна система дозволяють за рахунок врахування діагностично важливих показників моніторингу стану пацієнтів з вродженими патологіями опорно-рухового апарату визначити ризик виникнення м'язового тремору після анестезії.

Результати багатофакторного дослідження показали відсутність зв'язку виникнення післяопераційного тремору зі статтю та віком пацієнтів, тривалістю операції, температури тіла дитини та навколишнього середовища. Дослідження показали залежність виникнення ускладнення від наявності супутніх захворювань, обраного методу анестезії та його компонентів.

Використання розробленої інформаційної системи дозволяє знизити рівень післяопераційного болю та дискомфорту, покращити якість післяопераційного моніторингу та може використовуватись в державних, комунальних і комерційних медичних установах.

Список літератури

1. **Ланцев, Е. А.** Анестезия, интенсивная терапия и реанимация: руководство / **Е. А. Ланцев, В. В. Абрамченко**. – М.: МЕДпресс-информ, 2011. – 624 с.
2. **Осипова, Н. А.** Боль в хирургии: средства и способы защиты / **Н. А. Осипова, В. В. Петрова**. – Москва: МИА, 2013. – 464 с.
3. **Weller, J. M.** Best practice and patient safety in anaesthesia / **J. M. Weller** // *British Journal of Anaesthesia*. – 2013. – 110(5). – С. 671-683. – doi:10.1093/bja/aet011.
4. **Hongfei, L.** Preventative effect of ondansetron on postanesthesia shivering in children undergoing caudal anesthesia / **L. Hongfei, W. Jiangmei, J. Ziyang, H. Yaoqin** // *Pediatric Research* 79. – 2015. – P. 96-99.
5. **Горбань, В. И.** Медицинская информационная система в практике анестезиолога и реаниматолога / **В. И. Горбань, А. В. Щеголев, М. Ю. Бахтин** // *Анестезиология и реаниматология*. – 2017. – Т 62. – № 3. – С. 209-212.
6. **Wuehr, M.** Walking in orthostatic tremor modulates tremor features and is characterized by impaired gait stability / **M. Wuehr, C. Schlick, K. Möhwald, R. Schniepp** // *Scientific Reports*.-2018. – Vol. 8. – №14152. – doi: 10.1038/s41598-018-32526-8.
7. **Bahadır, S.** Decision of sensor location and best classification method for entrail and muscle disease detection in healthcare smart clothing based on acceleration measurements / **S. Bahadır** // *Transactions of the Institute of Measurement and Control*. – 2015. – Vol. 37. – P. 999-1008. – doi:10.1177/0142331214552513.
8. **Лихачёв, С. А.** Тремор: феноменология и способы регистрации / **С. А. Лихачёв, В. В. Ващилин, С. К. Дик** // *Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии*. – Минск, 2013. – С. 1-10.

9. **Marchis, De.** Detection of tremor bursts from the sEMG Signal: An optimization procedure for different detection methods / **De. Marchis, S. Conforto, G. Severini** // *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. – 2011. – Vol. 6091851. – P. 7508-7511. – doi: 10.1109/IEMBS.2011.6091851.
10. **Machowska-Majchzak, A.** Analysis of selected parameters of tremor recorded by a biaxial accelerometer in patients with parkinsonian tremor, essential tremor and cerebellar tremor / **A. Machowska-Majchzak, K. Pierzchala, S. N. Pietraszek** // *Neurol. Neurochir.* – 2007. – № 41(3). – P. 241-250.
11. **Колесников, А. Н.** Прогнозирование осложнений в послеоперационном периоде у пациентов с синдромом внутречерепной гипертензии / **А. Н. Колесников** // *Клиническая рудничная больница*. – 2013. С. 89-93.
12. **Кумакшев, А. В.** Автоматизированная система оценки операционного риска / **А. В. Кумакшев** // *Перспективные информационные технологии*. – 2015. – Т. 1. – С. 337-340.
13. **Драгун, И. А.** Автоматизированная система количественной оценки операционного риска / **И. А. Драгун, Г. Г. Устинов** // *Международный медицинский журнал*. – 2014. – № 3. – С. 217-221.
14. **Овченко, А. С.** Методы диагностики врожденных патологий опорно-рухового аппарата у детей / **А. С. Овченко** // *Проблемы биомедицины. Наука и технологии*. – Харьков: Изд-во ХНУРЭ. – 2017. – С. 143-144.
15. **Руженцев, В. І.** Організація захисту інформації в інформаційній системі визначення тяжкості стану пацієнтів з серцево-судинними патологіями / **В. І. Руженцев, Г. С. Доброродня, О. В. Висоцька, Т. А. Куліш** // *Радіоелектронні та комп'ютерні системи*. – 2018. – № 3. – С. 126-131.
6. **Wuehr, M., Schlick C, K. Möhwald, R. Schniepp.** Walking in orthostatic tremor modulates tremor features and is characterized by impaired gait stability. *Scientific Reports*, 2018, **8**, 14152, doi: 10.1038/s41598-018-32526-8.
7. **Bahadır, S.** Decision of sensor location and best classification method for entrail and muscle disease detection in healthcare smart clothing based on acceleration measurements. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 2015, **37**, 999-1008, doi:10.1177/0142331214552513.
8. **Likhachov, S. A., Vashchilin, V. V., Dik, S. K.** Tremor: fenomenologiya i sposoby registratsii. [Tremor: Phenomenology and methods of registration]. *Republican Scientific and Practical Center of Neurology and Neurosurgery*. Minsk, 2013, 1-10.
9. **Marchis, D., Conforto, S., Severini, G.** Detection of tremor bursts from the sEMG Signal: An optimization procedure for different detection methods. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, **6091851**, 7508-7511, doi: 10.1109/IEMBS.2011.6091851.
10. **Machowska-Majchzak, A., Pierzchala, K., Pietraszek, S. N.** Analysis of selected parameters of tremor recorded by a biaxial accelerometer in patients with parkinsonian tremor, essential tremor and cerebellar tremor. *Neurol. Neurochir.*, 2007, **41(3)**, 241-250.
11. **Kolesnikov, A. N.** Prognozirovaniye oslozhneniy v posleoperatsionnom periode u patsiyentov s sindromom vnutrecherepnoy gipertenzii [Prediction of complications in patients with intracranial hypertension syndrome]. *Klinicheskaya rudnichnaya bol'nitsa [Clinical Mine Hospital]*, 2013, 89-93.
12. **Kumakshev, A. V.** Avtomatizirovannaya sistema otsenki operatsionnogo riska [Automated system of operational risk assessment]. *Perspektivnyye informatsionnyye tekhnologii [Perspective information technologies]*, 2015, **1**, 337-340.
13. **Dragun, I. A., Ustinov, G. G.** Avtomatizirovannaya sistema kolichestvennoy otsenki operatsionnogo riska [Automated system for quantitative assessment of operational risk]. *Mezhdunarodnyy meditsinskiy zhurnal [International Medical Journal]*, 2014, **3**, 217-221.
14. **Ovchenko, A.S.** Metodi diagnostiki vrodzhenikh patologiy oporno-rukhnovogo aparatu u ditey [Methods of diagnostics in the abnormal pathologic support-rukhnovogo apparatus in children]. *Problemy biomedinzhenerii. Nauki i tekhnologii [Problems of bio-engineering. Science and technology]*. Kharkov: Publishing house KNURE 2017, 143-144.
15. **Ruzhentsev, V. I., Dobrorodnya, G. S., Visotska, O. V., Kulish, T. A.** Organizatsiya zakhistu informatsii v informatsionnyy sistemі viznachennya tyazhkosti stanu patsiyentiv z sertsevo-sudinnimi patologiyami [Organizing for the informatics in the informative systems for Assigning a Severe Risk for Patients with Heart and Sick Pathology]. *RECS*, 2018, **3**, 126-131.

References (transliterated)

1. **Lantsev, Ye. Abramchenko, V. V.** Anesteziya, intensivnaya terapiya i reanimatsiya: rukovodstvo [Anesthesia, intensive care and resuscitation: guidance]. M.: MEDpress-inform, 2011, 624.
2. **Osipova, N. A, Petrova, V. V.** Bol' v khirurgii: sredstva i sposoby zashchity [Pain in surgery: means and methods of protection]. Moskva, 2013, 464.
3. **Weller, J. M., Merry, A. F.** Best practice and patient safety in anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia*, 2013, **110(5)**, 671-683, doi 10.1093/bja/aet011.
4. **Hongfei, L., Jiangmei, W., Ziying, J., Yaoqin, H.** Preventative effect of ondansetron on postanesthesia shivering in children undergoing caudal anesthesia: a randomized double-blinded clinical trial. *Pediatric Research* 79, 2015, 96-99.
5. **Gorban', V. I., Shchegolev, A.V.** Meditsinskaya informatsionnaya sistema v praktike anesteziologa i reanimatologa. [Medical information system in the practice of an anesthesiologist and resuscitator]. *Anesteziologiya i reanimatologiya [Anesthesiology and Resuscitation]*, 2017, **3(62)**, 209-212.

Сведения об авторах (About authors)

Висоцька Олена Володимирівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій, Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.С.Жуковського «ХАІ», м. Харків; Україна; ORCID: 0000-0003-3723-9771; e-mail: evisotska@ukr.net.

Olena Vysotska – Doctor of Technical Sciences, professor, Head of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies department, National Aerospace University – "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv; Ukraine; ORCID: 0000-0003-3723-9771; e-mail: evisotska@ukr.net.

Овченко Аліна Сергіївна – магістрант кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-3159-0483, e-mail: alinkaov4enko@gmail.com.

Аліна Овченко – master student of biomedical engineering department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3159-0483; e-mail: alinkaov4enko@gmail.com.

Губанова Ольга Веніамінівна – аспірант кафедри дитячої анестезіології та інтенсивної терапії, Харківська медична академія післядипломної освіти, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-0211-420X.

Olga Gubanova – postgraduate student of pediatric anesthesiology and intensive care department, Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0211-420X.

Печерська Анна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій, Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.С.Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-7069-0674, e-mail: a.pecherska@khai.edu.

Anna Pecherska – Ph.D., associate professor of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies department, National Aerospace University – "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7069-0674, e-mail: a.pecherska@khai.edu.

Довнар Олександр Йосипович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоелектронних комп'ютеризованих та біомедичних засобів і технологій, Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.С.Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-7171-0024, e-mail: alexandrdoynar@gmail.com.

Olexandr Doynar – Ph.D., associate professor of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies department, National Aerospace University – "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7171-0024, e-mail: alexandrdoynar@gmail.com.

Добродорня Ганна Сергіївна – аспірант кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-3651-1000; e-mail: hanna.dobrorodnia@ukr.net.

Hanna Dobrorodnia – postgraduate student of biomedical engineering department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3651-1000; e-mail: hanna.dobrorodnia@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Висоцька, О. В. Технологія визначення виникнення мязового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно рухового апарату / **О. В. Висоцька, А. С. Овченко, О. В. Губанова, А. І. Печерська, О. Й. Довнар, Г. С. Добродорня** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 38-44. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.05.

Please cite this article as:

Vysotska, O., Ovchenko, A., Gubanova, O., Pecherska, A., Doynar, O., Dobrorodnia, H. Technology for determining the occurrence of muscle tremor after anesthesia in children with congenital disorders of the musculoskeletal system. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 10 (1335), 38-44, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.05.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Высоцкая, Е. В. Технология определения возникновения мышечного тремора после анестезии у детей с врожденными патологиями опорно-двигательного аппарата / **Е. В. Высоцкая, А. С. Овченко, О. В. Губанова, А.И. Печерская, А. И. Довнар, А. С. Добродорня** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – № 10 (1335). – С. 38-44. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.05.

АННОТАЦИЯ В работе обоснована актуальность прогнозирования возникновения мышечного тремора в послеоперационном периоде у детей с врожденными пороками опорно-двигательного аппарата. Послеоперационный тремор является распространенным осложнением операций по поводу коррекции врожденных пороков опорно-двигательного аппарата у детей. Его наличие может ухудшать условия проведения традиционного мониторинга, поэтому заблаговременное прогнозирование его появления является важным условием выбора анестезиологического обеспечения периоперационного периода. Разработана функциональная структура информационной технологии определения возникновения мышечного тремора после анестезии у детей с врожденными пороками опорно-двигательного аппарата. Определены массивы входной, управляющей и выходной информации, а также механизмы, обеспечивающие реализацию технологии. Проведена декомпозиция предложенной технологии на составляющие функциональные процессы. Определено, что основными функциональными процессами информационной технологии определения возникновения мышечного тремора после анестезии у детей с врожденными пороками опорно-двигательного аппарата являются: сбор информации о состоянии пациента, кодирование качественных и количественных показателей о состоянии пациента, определение вероятности появления мышечного тремора и формирование заключения о состоянии пациента. Процесс определения вероятности появления мышечного тремора базируется на математическом моделировании с использованием методов бинарной логистической регрессии и последовательного анализа Вальда. Проведено концептуальное моделирование данных, в результате которого для хранения необходимой клинико-диагностической информации предложено 15 сущностей. Разработана структурная схема информационной системы определения возникновения мышечного тремора после анестезии у детей с врожденными пороками опорно-двигательного аппарата, которая состоит из десяти взаимосвязанных блоков и позволяет автоматизировать процессы сбора, обработки, анализа, хранения и передачи информации о состоянии пациента. Использование предложенной системы позволит улучшить качество послеоперационного пробуждения, снизить уровень послеоперационной боли и дискомфорта, улучшить мониторинг.

Ключевые слова: анестезия; аппарат опорно-двигательный; мониторинг; система информационная; тремор мышечный

Поступила (received) 22.04.2019

УДК 004.651/652:616.43

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.06

БАЗА ДАНИХ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОРУШЕНЬ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Г. С. ДОБРОРОДНЯ¹, О. В. ВИСОЦЬКА², І. Ю. ПАНФЬОРОВА³, А. І. ПЕЧЕРСЬКА²,
Л. М. РИСОВАНА^{4*}, О. Й. ДОВНАР²**

¹ кафедра біомедичної інженерії, ХНУРЕ, Харків, УКРАЇНА

² кафедра радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій, НАУ ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, УКРАЇНА

³ кафедра інформаційних управляючих систем, ХНУРЕ, Харків, УКРАЇНА

⁴ кафедра медичної та біологічної фізики і медичної інформатики, ХНМУ, Харків, УКРАЇНА

*e-mail: rluba_24@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглянуто особливості автоматизації процесу діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів. В статті складним організаційним об'єктом виступає організм людини, який є біологічною системою, що здатна до самооновлення та саморозвитку через оновлення клітин, обмін речовин і енергії тощо. Актуальність даної статті полягає в тому, що на сьогоднішній день функціональні порушення обміну речовин є однією з основних проблем в більшості промислово розвинених країн світу. Важливими залишаються питання вивчення механізмів формування та специфіки клінічних проявів даного захворювання саме у працездатного населення. Для вивчення проблеми виникнення функціональних порушень даної нозологічної групи характерна наявність великої кількості лабораторно-діагностичної інформації, що ускладнює процес своєчасної постановки діагнозу, тому в роботі розглянуто необхідність розроблення інформаційної системи діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів. Одним з аспектів розробки інформаційної системи є створення і ведення баз даних, тому запропоновано базу даних інформаційної системи діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів, яка дозволить накопичувати і зберігати дані про людину і її лабораторно-діагностичні показники функціонального стану. Було розроблено концептуальну і логічну моделі бази даних інформаційної системи діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів. Як систему управління базою даних було обрано MySQL. Концептуальна модель бази даних розкриває смислову структуру запропонованої інформаційної системи. Логічна модель, заснована на об'єктно-реляційній моделі, має схему даних у вигляді таблиць, пов'язаних між собою логічно, що запобігає порушенню роботи бази даних при її модифікуванні. Розроблена база даних може використовуватись як модуль зберігання даних про біологічний об'єкт і його лабораторно-діагностичні показники стану. Структура бази даних дозволяє в подальшому використовувати її для вирішення задач автоматизації діагностичного процесу схожих порушень. Така модель бази даних спрощує доступ медичного персоналу ендокринологічних та терапевтичних відділень до даних з метою своєчасного і коректного діагностування порушень обміну речовин.

Ключеві слова: інформаційна система; функціональні порушення; складний організаційний об'єкт; суб'єкт дослідження; база даних; концептуальна та логічна модель.

DATABASE OF THE SYSTEM FOR DIAGNOSTIC THE FUNCTIONAL DISORDERS OF COMPLEX ORGANIZATIONAL OBJECTS

**H. DOBRORODNIA¹, O. VYSOTSKA², I. PANFOROVA³, A. PECHERSKA²,
L. RYSOVANA⁴, O. DOVNAR²**

¹Department of biomedical engineering, NURE, Kharkiv, UKRAINE

²Department of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies, NAU H.E. Zhukovsky «KhAI», Kharkiv, UKRAINE

³Department of Information Control Systems, NURE, Kharkiv, UKRAINE

⁴Department of Medical Biophysics and Medical Informatics, KNMU, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The features of automating the process of diagnosing functional disorders of complex organizational objects are considered. In this article, an organism is a complex organizational object that is a biological system capable of self-renewal and self-development through cell renewal, metabolism and energy, and so on. The urgency of this article is that to date, functional disorders of metabolism are one of the main problems in most industrialized countries of the world. Problems of studying the mechanisms of formation and specifics of clinical manifestations of this disease are precisely among the able-bodied population. The study of the problem of functional disorders of this nosological group is characterized by the presence of a large amount of laboratory and diagnostic information, which complicates the process of timely diagnosis, therefore the necessity of developing an information system for diagnosing functional disorders of complex organizational objects is considered. One of the aspects of developing an information system is the creation and maintenance of databases, therefore the database of the information system for the diagnostics of functional disorders of complex organizational objects is proposed, which will allow to accumulate and store data about a person and its laboratory and diagnostic indicators of the functional state. The conceptual and logical models of the database of the information system for diagnosing functional disorders of complex organizational objects were developed. MySQL

was selected as the database management system. The conceptual model of the database reveals the semantic structure of the proposed information system. A logical model, based on an object-relational model, has a data schema in the form of tables that are logically related, which prevents the database from being interrupted by its modification. The developed database can be used as a module for storing data on a biological object and its laboratory-diagnostic status indicators. The structure of the database allows it to be used in the future to solve problems of automation of the diagnostic process of similar violations. Such a model database simplifies the access of medical personnel to endocrinologic and therapeutic departments in order to timely and accurately diagnose metabolic disorders.

Keywords: *information system; functional violations; complex organizational object; subject of research; database; conceptual and logical model*

Вступ

Останні два десятиліття невід'ємно пов'язані з різким зростанням використання сучасних інформаційних технологій (ІТ) в різних галузях діяльності. Удосконалення засобів обчислювальної техніки і, відповідно, математичного апарату, які використовуються при обробці значних об'ємів інформації, що притаманно складним організаційним об'єктам, дозволило значно розширити коло задач, які можливо було б вирішити за допомогою автоматизованих інформаційних систем (ІС). Застосування ІС дозволяє фахівцю отримувати параметри, які необхідні для прийняття рішень. Клас задач, що вирішуються за допомогою ІС у різних галузях, стрімко розширюється. Такі системи набули широкого використання у таких сферах людської діяльності як соціальна, економічна, технологічна, медична та інших. Актуальності набуває освоєння принципів побудови та ефективного застосування відповідних технологій і програмних продуктів: систем керування базами даних (СКБД), CASE-систем автоматизації проектування, засобів адміністрування та захисту баз даних (БД) та інших.

На тлі глобальних змін в розвитку нашої країни спостерігається значний прогрес і в медичній галузі, яка характеризується множиною змінних разом з відносинами між ними, великою кількістю можливих станів, невизначеністю параметрів, що ускладнює задачу прийняття рішень. Вивчаючи ті чи інші елементи біологічних систем і їх внутрішню структуру (організацію), а також розглядаючи цю організацію як ключ до розуміння принципів функціонування системи в цілому, зауважимо що такий підхід передбачає деталізацію структури біологічного об'єкта, який досліджується. Можна відмітити, що біологічний об'єкт має ймовірнісну організацію, що ускладнює процес діагностики.

Діагностика стану складного організаційного об'єкта - це інструмент моніторингу, що здійснює оцінювання поточного і перспективного його станів, ефективності функціонування та визначення можливих відхилень від рівноважного стану, під дією збуджуючих впливів внутрішнього і зовнішнього середовища, з метою прийняття управлінських рішень щодо приведення об'єкта в потрібний стан і формування його стратегії саморегулювання.[1]

Якщо організаційний об'єкт – це сукупність форм, структур і засобів управління, які об'єднані спільністю цілей, завдань, функцій на основі обраних

і перевірених принципів управління, а для організаційного об'єкта характерно наявність організаційної структури як сукупності взаємозалежних зв'язків, то можливо зазначити, що саме ним є біологічний об'єкт, тобто людина. [2-4]. Людина – це складний організаційний об'єкт, в якому різні події виникають як результат взаємодії безлічі різноманітних систем і елементів, а впливаючи на будь-яку систему не можна бути впевненим, що це не призведе до такої реакції всього об'єкта, яка зруйнує всі зусилля при досягненні поставлених цілей.

На сьогоднішній день однією з основних медичних проблем в більшості промислово розвинених країн світу є проблеми, пов'язані з порушенням обміну речовин [5,6]. Зауважимо, що в Україні спостерігається стійка тенденція до зростання кількості осіб з функціональними порушеннями даної нозологічної групи.

Рішення проблеми вивчення виникнення функціональних порушень є важливим і має безперечне медичне, соціальне та економічне значення [5,7]. Для своєчасного і коректного визначення функціональних порушень об'єкта важливим кроком є оцінка збалансованості енергетичних процесів, а також прогнозування динаміки їх поведінки [8]. Така ситуація вимагає прийняття необхідних і обґрунтованих рішень у сфері діагностики функціонального стану, проведення на їх основі різних заходів щодо запобігання ускладнень, відновлення якості функціонування складного біологічного об'єкта. Збір, обробка і аналіз таких великих обсягів даних, одержаних у результаті проведених досліджень біологічного об'єкту – це складні завдання, які вимагають подолання серйозних технічних труднощів, величезних витрат і адекватних організаційних рішень. Ефективне вирішення завдань такого класу вимагає застосування сучасних комп'ютерних методів і засобів для обробки та аналізу отриманих даних.

Проте першочерговим є питання збереження інформації на всіх етапах процесу прийняття рішень. Для вирішення цього питання запропоновані різні підходи, кожен з яких має свої переваги та недоліки. В автоматизованій ІС обліку контингенту дітей дошкільного та шкільного віку [9] для зберігання інформації про дітей використана СКБД Microsoft Access. Клієнтську частину розроблено в середовищі програмування Delphi. Для зв'язку з БД використано технологію ADO. Компоненти ADODataset звертаються до БД за допомогою SQL-запитів. Але ця

БД має обмеження щодо типів даних, які зберігаються, тобто недостатньо гнучка.

Організація інформаційної взаємодії між сервером баз даних і клієнтськими додатками може здійснюватися шляхом візуалізації результатів обробки запитів до БД у формі динамічних сцен [10]. Проте в такому разі БД у вигляді набору файлів знаходиться у зовнішній пам'яті сервера MainServ мережі, що впливає на швидкість оброблення запитів і відповіді на них.

Системи керування XML-даними використовують реляційні СКБД з можливостями управління даними формату XML [11], але синтаксис XML дуже великий, що може впливати на ефективність роботи таких БД.

У [12] для віддаленого зберігання, структурування, візуалізації та аналізу даних випробувань складних організаційних об'єктів пропонується використання інтерактивного web-додатку. Вся інформація при цьому зберігається у вигляді двовимірних масивів числових даних.

У [13] обговорюється створення розподілених ІС, компоненти додатків і дані яких розташовані в мережах різних організацій або компаній, що утворюють гетерогенне середовище. Для цього запропоновані спеціальні компоненти-брокери обробки і управління, прикладна віртуальна машина, що включає спеціалізований сервер Impress і СКБД MongoDB, які використовують програмні засоби динамічного зв'язування компонентів і динамічного побудови моделей на базі інтроспекції компонентів і методиках метапрограмування. Проте складність реалізації цього підходу відбивається на якості роботи ІС в цілому.

Для інтеграції реляційної СКБД MySQL з web-додатком у ІС «Комплекс Систем Автоматизованого Моделювання» використовується фреймворк Django [14]. Для зберігання інформації про моделі була обрана документно-орієнтована СКБД MongoDB, яка зберігає інформацію в JSON-подібному форматі, застосування якого для збереження інформації про складні організаційні об'єкти обмежується невисокою швидкістю обробки запитів та однопоточністю.

Для централізованого зберігання медичних даних у галузі імунології в ІС «Імуоскрин 2.0» використано відображення OWL-онтології предметної області у реляційну модель бази даних [15]. Ієрархічна структура онтології зберігається завдяки традиційному поданню графів списком суміжних вершин, які нумеруються двічі методом обходу в глибину з поверненням. Тому зміна структури графа вимагає повторного нумерування всіх вершин.

Таким чином, вибір моделі зберігання даних залежить від функціональних особливостей ІС. Для ІС діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів доцільним є використання об'єктно-реляційної моделі даних [16-18]. Переваги такої моделі полягають в простоті, зрозумілості і

зручності її застосування при розробленні структури БД, що припускає використання різних об'єктів даних.

Мета роботи

Отже, метою роботи є створення БД ІС діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо процес діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів на прикладі діагностики порушень обміну речовин складного біологічного організаційного об'єкта – людського організму. Для цього було проаналізовано результати дослідження стану 126 пацієнтів різноманітних вікових груп з такими функціональними порушеннями як цукровий діабет та артеріальна гіпертензія. Тобто аналізована предметна область описується з використанням інформації різних типів, що характеризують дані щодо опитування, огляду та клініко-діагностичних досліджень організму пацієнта: первинні показники антропометричних характеристик, основні біографічні, статеві та вікові дані, показники, які відображають дані периферичної гемодинаміки, обміну вуглеводів, ліпідів, адипокінів та ін.

На етапі концептуального проектування всю інформацію щодо предметної галузі було розподілено за сутностями. Було виділено такі сутності:

- «Doctor» містить основні загальні дані про суб'єкт дослідження;
- «Pacient» містить загальні дані про об'єкт дослідження;
- «Disease_catalog_code» включає в себе атрибути для зберігання даних про метаболічні порушення;
- «Disease_catalog_class» включає в себе атрибути для зберігання даних про класи функціональних порушень;
- «Disease_catalog_unit» включає в себе атрибути для зберігання даних про номер блоку функціонального порушення;
- «Catalog_of_preventive_diseases» включає в себе атрибути для зберігання даних про профілактичні заходи і схеми їх проведення;
- «Average_structural_params» містить значення усереднених антропометричних показників складного організаційного об'єкта;
- «Params_of_functions» містить зв'язки з сутностями основних видів обміну речовин та сутністю, яка містить результати гормональних досліджень;
- «Structural_params» містить перелік показників, які відображають основні антропометричні показники складного організаційного об'єкта;

- «Norm_structural_params» містить значення норми для основних антропометричних показників складного організаційного об'єкта;
- «Modeling» містить значення результату діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів;
- «Type_anamnesis» містить перелік основних видів анамнезів;
- «Patient's anamnesis» містить результат анамнезу життя складного організаційного об'єкта;
- «Visit» - включає в себе атрибути для зберігання інформації про результати опитування та огляду складного організаційного об'єкта, його направлення на обстеження, а також дату контрольного візиту;
- «Lipid_exchange_parameters» містить перелік основних фракцій ліпідів і відображає ліпідний обмін в організмі, дисбаланс про- та антиатерогенних фракцій, які сприяють формуванню дисліпідемії;
- «Hemodynamic_parameters» містить перелік показників, які відображають периферичну гемодинаміку складного організаційного об'єкта, тобто рівнів тиску, згідно з якими оцінюють функціонування серцево-судинної системи;
- «Adipokines» містить перелік гормонів, які виробляються жировою тканиною і змінюють співвідношення надлишкового та недостатнього аналізу адипокінів;
- «Parameters_of_carbohydrate_metabolism» містить перелік основних показників обміну вуглеводів. Він важливий оскільки даний обмін є енергетичним субстратом формування дисметаболических порушень;

- «Norm_Hemodynamic_parameters» містить значення норми для основних показників периферичної гемодинаміки складного організаційного об'єкта;
- «Norm_Param_of_carbohydrate_metabol» містить значення норм для основних показників обміну вуглеводів;
- «Norm_Lipid_exchange_parameters» містить значення норм для основних показників обміну ліпідів;
- «Norm_Adipokines» містить значення норм для основних показників гормонів, які виробляються жировою тканиною (рис. 1).

Між усіма сутностями БД було організовано зв'язки типу «один-до-багатьох».

На етапі логічного проектування були визначені атрибути кожної сутності. Кожен атрибут сутності містить значення певної характеристики аналізованого складного організаційного об'єкта, а кортеж (рядок) є описом окремого такого об'єкта. Цілісність сутностей забезпечується первинними ключами, які дозволяють запобігти неоднозначності тоді, коли невідомо до якої з записів таблиці необхідно звернутися, і зовнішніми ключами, які використовуються для організації зв'язків між таблицями БД та для підтримки обмежень посиальної цілісності даних [19]. Спроектвана логічна модель БД наведена на рис. 2.

На етапі фізичного проектування розроблена логічна модель була реалізована з використанням СКБД MySQL, яка забезпечує багатопоточність, тобто вона здатна підтримувати одночасно декілька запитів.

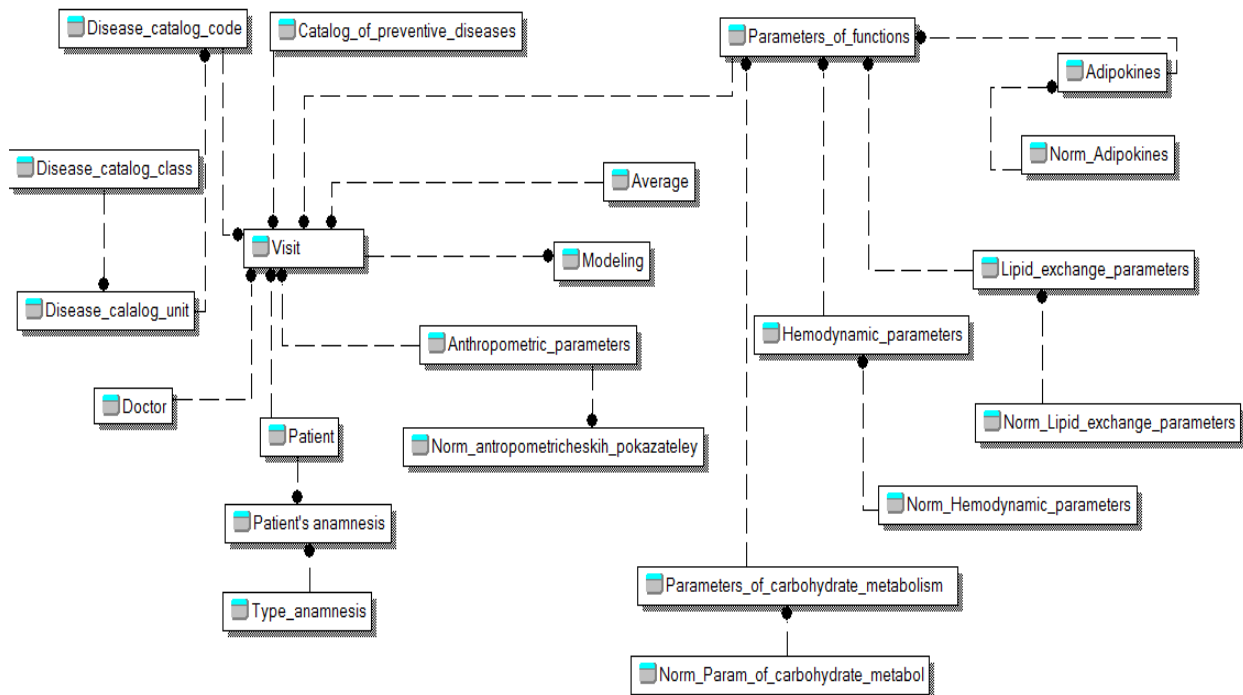


Рис. 1 – Концептуальна модель бази даних

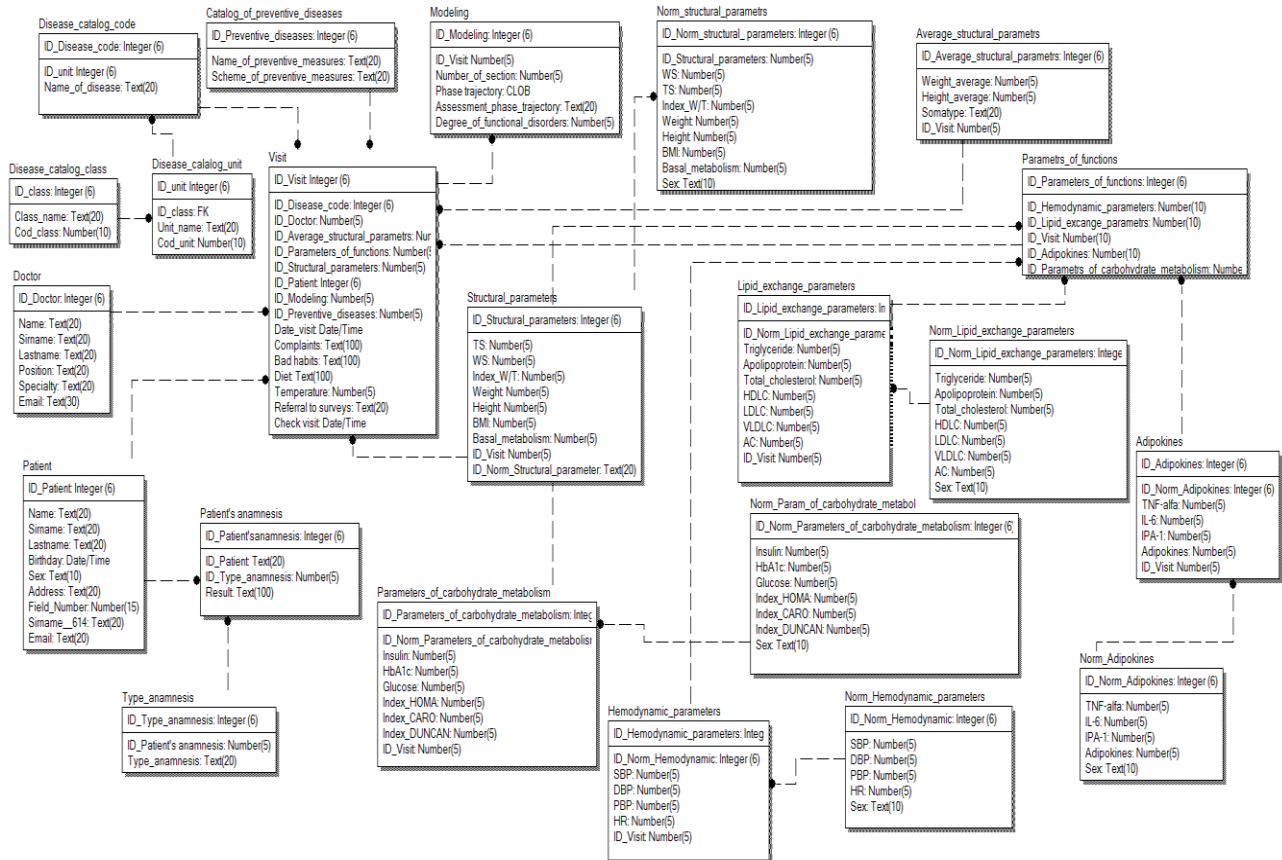


Рис. 2 – Логічна модель бази даних

Обговорення результатів

Представлена БД призначена для:

- зберігання необхідного набору різних типів даних;
- подання їх у зручному, структурованому вигляді;
- коригування даних, які зберігаються;
- швидкого доступу до даних для їх візуального відображення і проведення консультацій.

Завдяки використанню реляційної моделі даних та СКБД MySQL розроблена БД є відкритою і кросплатформеною, що дозволяє говорити про універсальну організацію її структури для вирішення задач автоматизації діагностики функціональних порушень різних складних організаційних об'єктів.

Представлену в статті БД було реалізовано як модуль зберігання даних щодо стану об'єктів наявність функціональних порушень яких визначається за допомогою ІС «Functional disorders 1.0». Для зручності введення та відображення інформації було розроблено зручний і простий у використанні інтерфейс користувача, деякі діалогові вікна якого наведені на рис. 3.

Програмну частину ІС було написано на мові C# для використання в операційній системі Microsoft Windows 7, 8, 10, Linux, OSmax, OS Max X і з можливостями розміщення її у мережі Інтернет та подальшого доступу до неї максимальної кількості фахівців-користувачів.

Розпочинаючи ще з перших етапів розробки ІС та закінчуючи етапами супроводу, коли до системи можуть бути внесені зміни, схема БД потребує тестування. Йому треба приділяти значну увагу адже важлива бізнес-логіка реалізується в БД в формі процедур, правил перевірки даних та правил цілісності посилань, і очевидно, що ця бізнес-логіка потребує детального тестування [20]. В разі внесення змін в схему БД, їх правильність оцінюється за коректністю роботи оновленої БД із зовнішніми програмами.

Тому, з метою виявлення відповідності функціонування та надійності розробленої БД, і було розроблено план тестування, який містив опис стратегій, які використовувались при проведенні тестування, а також сформульовано тестовий набір даних. Під час тестування були виявлені деякі критичні місця розробленої ІС та перевірені механізми, що забезпечують цілісність та конфіденційність даних. В розробленій БД було проведено перевірку схеми БД, а саме: тригери, функції, обмеження цілісності, визначення представлень тощо, і зовнішніх програм доступу: правильність функціонування програм після накладення змін на схему БД.

Під час тестування БД було внесені зміни в її схему, чим було покращено її проект. Але інформаційна і поведінкова семантика цієї БД не набула змін, що вказує на її якість.

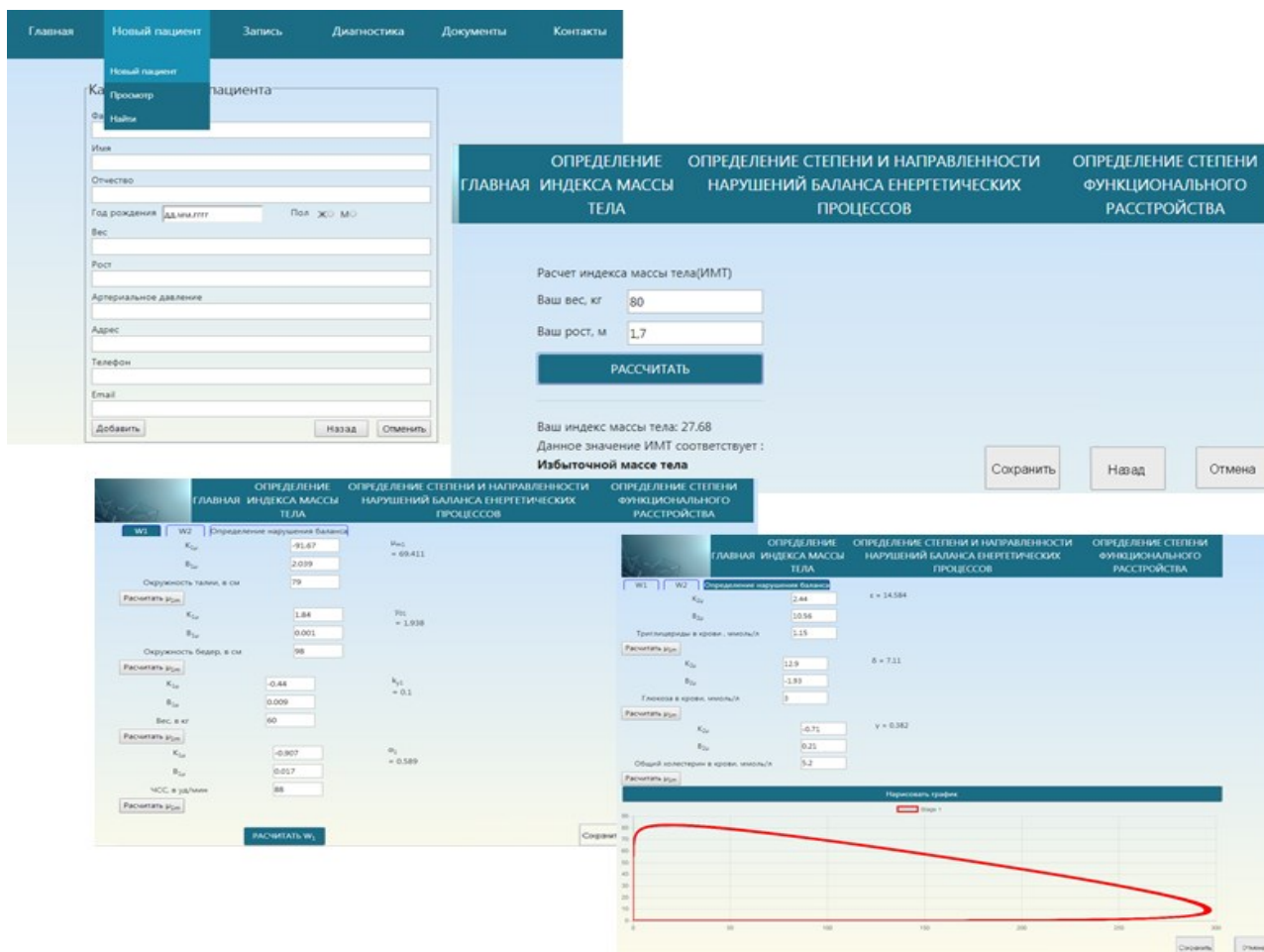


Рис. 3 – Діалогові вікна інформаційної системи «Functional disorders 1.0»

Висновки

Таким чином, було розроблено БД ІС діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів, яка дозволяє зберігати інформацію необхідну для діагностики порушень обміну речовин такого складного біологічного організаційного об'єкта як організм людини.

Простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача забезпечує зручність введення нової інформації та комфортність відображення результатів запитів до розробленої БД.

Використання розробленої БД ІС «Functional disorders 1.0» надасть можливість комплексно оцінювати стан складних організаційних об'єктів та індивідуалізувати відповідні заходи для поліпшення стану кожного конкретного об'єкта, а також значно поліпшити умови праці лікарів.

Список літератури

1. **Hutsa, O.** Development of the verification information technology of text procedures on logical connection and completeness / **O. Hutsa, N. Ihumenceva, N. Dovhopol, S. Yakubovska** // *Eastern - European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system.* – 2017. –

- № 5/2 (89). – С. 55-64. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.110660.
2. Діагностика в системі моніторингу. URL: <http://posibniki.com.ua/post-diagnostics-v-sistemi-monitoringu> (дата звернення: 12.04.2019).
3. **Kaur, R.** Hypertension diagnosis using fuzzy expert system / **R. Kaur, A. Kaur** // *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) National Conference on Advances in Engineering and Technology, AET-29th March.* – 2014. – P. 14-18.
4. **Furmankiewicz, M.** Artificial intelligence systems for knowledge management in e-health: the study of intelligent software agents / **M. Furmankiewicz, A. Soltysik-Piorunkiewicz, P. Ziuziański** // *Latest Trends on Systems: The Proceedings of 18th International Conference on Systems.* – 2014. – P. 551-556.
5. **Despres, JP.** Abdominal Obesity and the Metabolic Syndrome: Contribution to Global Cardiometabolic Risk / **JP. Despres, I. Lemieux, J. Bergeron, et al.** // *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* – 2008. – 28(6). – P. 1039-1049. - doi: 10.1161/atvbaha.107.159228.
6. **Жук, Т. В.** Ожирение, репродукция и оксидативный стресс / **Т. В. Жук, С. Д. Яворская, В. В. Востриков** // *Ожирение и метаболизм.* – 2017. – 14(4). – С. 16-22. – doi: 10.14341/omet2017416-22.
7. **Farr, S. A.** Obesity and Hypertriglyceridemia Produce Cognitive Impairment / **S. A. Farr, K. A. Yamada, D. A. Butterfield, et al.** // *Endocrinology.* – 2008. – 149(5). – P. 2628-2636. – doi: 10.1210/en.2007-1722.

8. **Dobrorodnia, H.** Development of an approach to mathematical description of imbalance in methabolic processes for its application in the medical diagnostic information system / **H. Dobrorodnia, O. Vysotska, M. Georgiyants, Y. Balym, L. Rak, O. Kolesnikova, V. Levykin, O. Dovnar, K. Nosov, A. Porvan** // *Eastern europeanjournal of enterprise technologies. Information technology*. – № 5/2(95). – 2018. – С. 29-39.
9. **Жукова, В. М.** Проектування та розробка інформаційної системи обліку контингенту дітей дошкільного та шкільного віку / **В. М. Жукова** // *Вісник Луганського національного університету імені Тараса Шевченка*. – 2015. – № 6 (295). – С. 20 – 30.
10. **Касім, А. М.** Склад і структура клієнт-серверної системи моделювання поведінки навігаційно-моніторингових комплексів змінного призначення / **А. М. Касім** // *Математичні машини і системи*. – 2016. – № 4. – С. 54-67.
11. **Хорозов, О. А.** Формування бази даних електронних медичних записів / **О. А. Хорозов** // *Компьютерная математика*. – 2014. – № 1. – С. 61-69.
12. **Кучко, А. В.** Разработка интерактивного Web-приложения для работы с данными рентгеновского малоуглового рассеяния / **А. В. Кучко, А. В. Смирнов** // *Компьютерные инструменты в образовании*. – 2015. – №2. – С. 25-32.
13. **Тимошин, Ю. А.** Технология распределенной обработки данных и приложений с использованием динамически интерпретируемых метамоделей / **Ю. А. Тимошин, Т. Г. Шемседінов, В. П. Ярченко, А. И. Мороз** // *Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління»*. – 2014. – №1(24). – С. 128-138.
14. **Ермаков, Е. Ю.** Проектирование, реализация и внедрение в эксплуатацию комплекса систем автоматизированного моделирования / **Е. Ю. Ермаков, О. Ю. Ермаков, А. А. Паничкина**. URL: <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/download/169/124/> (дата обращения: 17.04.2019).
15. **Завалій, Т. І.** Методи та засоби структурування і зберігання даних в електронних медичних картках / **Т. І. Завалій, Ю. В. Нікольський** // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. – 2010. – № 689. – С. 158–168.
16. **Малых, В. Л.** Объектно-реляционный подход к построению хранилища данных / **В. Л. Малых, А. Н. Калинин, Т. Ш. Юсуфов** // *Программные системы: теория и приложения*. – 2017. – №3(34). – С. 169–187. – doi: 10.25209/2079-3316-2017-8-3-169-187.
17. **Высоцкая, Е. В.** Разработка базы данных информационной системы диагностики когнитивных расстройств у больных дисциркуляторной энцефалопатией / **Е. В. Высоцкая, И. Ю. Панферова, Л. М. Рисованая** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Т.3. – №2(69). – С. 9-14.
18. **Высоцкая, Е. В.** Разработка базы данных информационной системы определения исхода инфаркта миокарда / **Е. В. Высоцкая, С. В. Якубовская, В. В. Никонов, И. Ю. Панферова, А. П. Порван** // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2016. – № 1(2). – С. 21-28.
19. **Демиденко, М. А.** Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / **М. А. Демиденко**. – Д.: 2016. – 104 с. URL: <http://nmu.org.ua> (дата звернення: 07.04.2019).
20. **Ясенова, І. С.** Тестування баз даних як невід'ємний етап створення та супроводу інформаційних систем / **І. С.**

Ясенова, О. В. Тегельман, О. В. Щур. URL: http://avia.nau.edu.ua/doc/2011/4/avia2011_4_3.pdf (дата звернення: 12.04.2019).

References (transliterated)

1. **Hutsa, O., Ihumenceva, N., Dovhopol, N., Yakubovska, S.** Development of the verification information technology of text procedures on logical connection and completeness. *Eastern - European Journal of Enterprise Technologies. «Information and controlling system»*, 2017, № 5/2 (89), 55-64, doi: 10.15587/1729-4061.2017.110660.
2. **Diahnostyka v systemi monitorinha** [Diagnostics in the monitoring system]. Available at: <http://posibniki.com.ua/post-diagnostika-v-sistemi-monitoringu> (application date: 04/12/2019).
3. **Kaur, R., Kaur, A.** Hypertension diagnosis using fuzzy expert system. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) National Conference on Advances in Engineering and Technology*, AET-29th March, 2014, 14-18.
4. **Furmankiewicz, M., Soltysik-Piorunkiewicz, A., Ziuziański, P.** Artificial intelligence systems for knowledge management in e-health: the study of intelligent software agents. *Latest Trends on Systems: The Proceedings of 18th International Conference on Systems*, 2014, 551-556.
5. **Despres, JP., Lemieux, I., Bergeron, J., et al.** Abdominal Obesity and the Metabolic Syndrome: Contribution to Global Cardiometabolic Risk. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.*, 2008, **28**(6), 1039-1049, doi: 10.1161/atvbaha.107.159228.
6. **Zhuk, T., Yavorskaya, S., Vostrikov, V.** Ozhireniye, reproduktiya i oksidativnyy stress. [Obesity, reproduction and oxidative stress]. *Obesity and metabolism*, 2017, **14** (4), 16-22, doi: 10.14341/OMET2017416-22.
7. **Farr, S. A., Yamada, K. A., Butterfield, D. A. et al.** Obesity and Hypertriglyceridemia Produce Cognitive Impairment. *Endocrinology*, 2008, **149**(5), 2628-2636, doi: 10.1210/en.2007-1722.
8. **Dobrorodnia, H., Vysotska, O., Georgiyants, M., Balym, Y., Rak, L., Kolesnikova, O., Levykin, V., Dovnar, O., Nosov, K., Porvan, A.** Development of an approach to mathematical description of imbalance in methabolic processes for its application in the medical diagnostic information system. *Eastern europeanjournal of enterprise technologies. Information technology*, 2018, № 5/2(95), 29-39.
9. **Zhukova, V. M.** Proektuvannya ta rozrobka informatsiynoyi systemy obliku kontynhentu ditey doshkil'noho ta shkil'noho viku [Designing and developing an informational system for counting the contingent of children of preschool and school age]. *Visnyk Luhans'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, 2015, № 6 (295), 20-30.
10. **Kasim, A. M.** Sklad i struktura kliiyent-servernoyi systemy modelyuvannya povedinky navihatsiyno-monitorynhovykh kompleksiv zminnoho pryznachennya [Composition and structure of the client-server system of simulation of behavior of navigation and monitoring systems of variable destination]. *Matematychni mashyny i systemy*, 2016, № 4, 54-67.
11. **Khorozov, O. A.** Formuvannya bazy danykh elektronnykh medychnykh zapysiv [Formation of the database of electronic medical records]. *Kompyuternaya matematyka*, 2014, № 1, 61-69.

12. **Kuchko, A. V., Smyrnov, A. V.** Razrabotka ynteraktyvnoho Web-prylozhenyia dlya raboty s dannymy renthenovskoho malouhlovoho rasseyaniia [Development of an interactive Web application for working with X-ray small-angle scattering data]. *Komp'yuternye ynstumenty v obrazovanii*, 2015, №2, 25-32.
13. **Tymoshyn, Yu. A., Shemsedynov, T. H., Yarchenko, V. P., Moroz, A. Y.** Tekhnolohyia raspredelennoy obrabotky danykh u prylozheny y spopol'zovanyem dynamychesky ynterpretyruemykh metamodeley [Distributed Data and Application Processing Technology Using Dynamically Interpreted Metamodels]. *Mizhvidomchyy naukovotekhnichnyy zbirnyk «Adaptyvni systemy avtomatychnoho upravlinnya»*, 2014, №1(24), 128-138.
14. **Ermakov, E. Yu., Ermakov, O. Yu., Panychkina, A. A.** Proektyrovanye, realizatsyya y vnedrenye v éksplyuatatsyyu kompleksa system avtomatyzirovannoho modelyrovanyia [Design, implementation and implementation of the complex of automated modeling systems]. Available at: <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/download/169/124/> (application date: 04/17/2019).
15. **Zavaliy, T. I., Nikol's'kyu, Yu. V.** Metody ta zasoby strukturuvannya i zberihannya danykh v elektronnykh medychnykh kartkakh [Methods and tools for structuring and storing data in electronic medical cards]. *Visnyk Natsional'noho universytetu «L'viv's'ka politekhnika»*, 2010, № 689, 158–168.
16. **Malykh, V. L., Kalynyn, A. N., Yusufov, T. Sh.** Ob'ektnorelyatsyonnyy podkhod k postroyenyu khranylyshcha danykh [Object-Relational Approach to Data Warehouse Building]. *Prohrammnye systemy: teoryia y prylozhenyia*, 2017, №3(34), 169–187, doi: 10.25209/2079-3316-2017-8-3-169-187.
17. **Vysotskaya, E. V., Panferova, I. Yu., Risovanaya, L. M.** Razrabotka bazy danykh informatsionnoy systemy diagnostiki kognitivnykh rasstroystv u bol'nykh distsirkulyatornoy entsefalopatiyey [Development of the database of an information system for the diagnosis of cognitive disorders in patients with dyscirculatory encephalopathy]. *East European Journal of Advanced Technology*, 2014, 3, No. 2 (69), 9-14.
18. **Vysotskaya, Ye. V., Yakubovskaya, S. V., Nikonov, V. V., Panferova, I. Yu., Porvan, A. P.** Razrabotka bazy danykh informatsionnoy systemy opredeleniya iskhoda infarkta miokarda [Development of a database of information system for determining the outcome of myocardial infarction]. *Tekhnologicheskyy audit i rezervy proizvodstva*, 2016, № 1(2), 21-28.
19. **Demidenko, M. A.** Sistemi pidtrimki priynyattya rishen': navch. posib. [Systems of air-perceptions: Discrimination: navch. posib], 2016, 104 s. Available at: <http://nmu.org.ua> (date of the beast: 04/ 07/2019).
20. **Yasanova, I. S., Tehel'man, O. V., Shchur, O. V.** Testuvannya baz danykh yak nevid'yemnyy etap stvorennia ta suprovodu informatsiynykh system [Testing databases as an integral part of the creation and maintenance of information systems]. Available at: http://avia.nau.edu.ua/doc/2011/4/avia2011_4_3.pdf (application date: 04/12/2019).

Відомості про авторів (About authors)

Доброгородня Ганна Сергіївна — Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірантка кафедри біомедичної інженерії, Харків, Україна, ORCID: orcid.org/0000-0002-3651-1000, e-mail: hanna.dobrorodnia@ukr.net.

Hanna Dobrorodnia - Postgraduate student, Department of biomedical engineering, Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0002-3651-1000, e-mail: hanna.dobrorodnia@ukr.net.

Висоцька Олена Володимирівна – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», завідувач кафедрою радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій, Харків, Україна, ORCID: orcid.org/0000-0003-3723-9771, e-mail: evisotska@ukr.net.

Olena Vysotska - Doctor in Technical Sciences, Professor, National Aerospace University H.E. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute», Head of Department of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies, Kharkiv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0003-3723-9771, e-mail: evisotska@ukr.net.

Панфорова Ірина Юрївна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, Харків, Україна, ORCID: orcid.org/0000-0001-7032-9109, e-mail: iryna.panforova@nure.ua.

Iryna Panforova - PhD in Technical Sciences, Kharkov National University of Radio Electronics, Associate of Professor Department of Information Control Systems, Kharkiv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0001-7032-9109, e-mail: iryna.panforova@nure.ua.

Печерська Анна Іванівна – кандидат технічних наук, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», доцент кафедри радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій, Харків, Україна, ORCID: orcid.org/0000-0001-7069-0674, e-mail: pecherska.a@ukr.net.

Anna Pecherska - PhD in Technical Sciences, National Aerospace University H.E. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute», Associate of Professor Department of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies, Kharkiv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0001-7069-0674, e-mail: pecherska.a@ukr.net.

Рисована Любов Михайлівна – кандидат технічних наук, Харківський національний медичний університет, старший викладач кафедри медичної та біологічної фізики і медичної інформатики, Харків, Україна, ORCID: orcid.org/0000-0001-7937-4176, e-mail: rluba_24@ukr.net.

Lyubov Rysovana – PhD in Technical Sciences, Kharkiv National Medical University, Head teacher, Candidate of Technical Science, Department of Medical Biophysics and Medical Informatics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0001-7937-4176, e-mail: rluba_24@ukr.net.

Довнар Олександр Йосипович – кандидат технічних наук, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», доцент кафедри радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій, Харків, Україна, ORCID: orcid.org/0000-0001-7171-0024, e-mail: dov.alexandr@yandex.ru.

Olexandr Dovnar - PhD in Technical Sciences, National Aerospace University H.E. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute», Associate of Professor Department of radio-electronic and biomedical computer-aided means and technologies, Kharkiv, Ukraine, ORCID: orcid.org/0000-0001-7171-0024, e-mail: dov.alexandr@yandex.ru.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Добrorодня, Г. С. База даних для системи діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів / **Г. С. Добrorодня, О. В. Висоцька, І. Ю. Панфьорова, А. І. Печерська, Л. М. Рисована, О. Й. Довнар** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 45-53. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.06.

Please cite this article as:

Dobrorodnia, H., Vysotska, O., Panforova, I., Pecherska, A., Rysovana, L., Dovnar, O. Database of the system for diagnostic the functional disorders of complex organizational objects. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2019, **10** (1335), 45-53, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.06.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Добrorодня, А. С. База данных для системы диагностики функциональных нарушений сложных организационных объектов / **А. С. Добrorодня, Е. В. Высоцкая, И. Ю. Панферова, А. И. Печерская, Л. М. Рисованая, А. И. Довнар** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 45-53. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.06.

АННОТАЦИЯ Рассмотрены особенности автоматизации процесса диагностики функциональных нарушений сложных организационных объектов. В статье сложным организационным объектом выступает организм человека, который способен к самообновлению и саморазвитию через обновление клеток, обмен веществ и энергии и другие физиологические процессы. Актуальность данной статьи заключается в том, что на сегодняшний день функциональные нарушения обмена веществ являются одной из основных проблем в большинстве промышленно развитых стран мира. Важными остаются вопросы изучения механизмов формирования и специфики клинических проявлений данного нарушения именно у трудоспособного населения. Для изучения проблемы возникновения функциональных нарушений данной нозологической группы характерно наличие большого количества лабораторно-диагностической информации, что затрудняет процесс своевременной постановки диагноза, поэтому в работе рассмотрена необходимость разработки информационной системы диагностики функциональных нарушений сложных организационных объектов. Одним из аспектов разработки информационной системы является создание и ведение баз данных, поэтому в статье предложена база данных информационной системы диагностики функциональных нарушений сложных организационных объектов, которая позволит накапливать и хранить данные о человеке и его лабораторно-диагностические показатели функционального состояния. Были разработаны концептуальная и логическая модели базы данных информационной системы диагностики функциональных нарушений сложных организационных объектов. Как систему управления базой данных была выбрана MySQL. Концептуальная модель базы данных раскрывает смысловую структуру предлагаемой информационной системы. Логическая модель, основанная на объектно-реляционной модели, имеет схему данных в виде таблиц, связанных между собой логически, что предотвращает нарушение работы базы данных при ее возможной модификации. Разработанная база данных может использоваться как модуль хранения данных о сложном организационном объекте и его лабораторно-диагностических показателях функционального состояния. Структура базы данных позволяет в дальнейшем использовать ее для решения задач автоматизации диагностического процесса похожих нарушений. Такая модель базы данных упрощает доступ медицинского персонала эндокринологических и терапевтических отделений к данным с целью своевременного и корректного диагностирования нарушений обмена веществ.

Ключевые слова: информационная система; функциональные нарушения; сложный организационный объект; субъект исследования; база данных; концептуальная и логическая модель

Поступила 27.04.2019

УДК 656.073.52

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.07

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ СКЛАДОВОЇ В ЛОГІСТИЧНОМУ ЛАНЦЮЗІ ПОСТАЧАНЬ ТОВАРІВ У РОЗДРІБНУ ТОРГІВЕЛЬНУ МЕРЕЖУ

К. Г. КОВЦУР*, Т. Т. ТОКМИЛЕНКО, Н. В. ПТИЦЯ

кафедра транспортних систем і логістики, ХНАДУ, Харків, УКРАЇНА

*e-mail: kovtsur@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розглядаються особливості доставки вантажів у роздрібну торгівельну мережу в містах. Представлені сучасні тенденції змін в роздрібній торгівлі в країнах Європи та представлено особливості функціонування ланцюгів постачання товарів в роздрібну торгівельну мережу на території України. В роботі представлені вимоги до транспортної ланки в ланцюзі постачання, виконання яких дозволить підприємствам-виробникам та роздрібним торговцям підвищити ефективність своєї роботи. Для ритмічної роботи системи доставки партійних вантажів у роздрібну торгівельну мережу стає необхідним оптимізувати роботу транспортної ланки. Аналіз літературних джерел дозволив визначити основні методи вибору автомобілів раціональної вантажопідйомності. Визначені основні критерії їх вибору, а саме собівартість перевезень та продуктивність роботи транспорту. Виходячи з того, що логістичні ланцюги постачання партійних вантажів в роздрібну торгівельну мережу містять елемент невизначеності, пов'язаний з перманентними коливаннями попиту на продукцію, в роботі наведена різниця обліку особливостей коливань попиту в торговельних точках різних форматів. Встановлено, що виділяють дві основні групи форматів торговельних точок: великі, що включають у себе супермаркети, гіпермаркети та дрібні, що включають так звані «магазини біля будинку», кіоски, мінімаркети. В роботі визначені основні фактори, які зумовлюють вибір рухомого складу при доставці партійних вантажів в містах. Запропоновано для усунення негативних результатів коливань попиту впровадження технологічних і організаційних рішень, а саме резервування провізних можливостей парку рухомого складу. Серед існуючих способів резервування провізних можливостей парку рухомого складу можна виділити чотири – резервування провізних можливостей парку рухомого складу за рахунок збільшення вантажності автомобіля проти планової; за рахунок кількісного збільшення парку рухомого складу; за рахунок використання залученого парку рухомого складу та за рахунок поєднання всіх попередніх способів. Аналіз моделей впливу умов доставки, технологічних параметрів способу резервування провізних можливостей на логістичні витрати дозволив визначити зони ефективності використання різних способів резервування провізних можливостей. Зроблено оцінку ефективності застосування способів резервування провізних можливостей парку автомобілів під конкретні умови перевезень. В роботі наведено критичний аналіз кожного з можливих способів резервування провізних можливостей парку рухомого складу.

Ключові слова: роздрібна торгівельна мережа; доставка; логістичні витрати; резерв; провізні можливості; втрати; коливання попиту; автомобіль.

RATIONALIZATION OF THE TRANSPORT COMPONENT IN THE LOGISTIC SUPPLY CHAIN OF GOODS IN THE RETAIL TRADE

K. KOVTSUR, T. TOKMYLENKO, N. PTYTSIA

Department of Transport Systems and Logistics, KhNADU, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The features of the delivery of goods to the retail network are presented. The modern tendencies of changes in retail trade in the European countries are presented and the features of functioning of supply chains of goods in the retail trade network on the Ukraine are presented. The paper presents requirements for the transport in the supply chain, the implementation of which will allow manufacturing companies and retailers to improve the efficiency of their work. It's necessary to optimize the operation of the transport link for the rhythmic operation of the delivery system of batch goods to the retail distribution network. Analysis of the literature allowed determining the basic methods for selecting vehicles of a rational capacity. The basic criteria of their choice are determined, namely – the transportation cost and the transport performance. Based on the fact that the logistic supply chains of batch goods to the retail trade network contain an element of uncertainty associated with the permanent fluctuations in demand, the difference in accounting for the peculiarities of demand fluctuations of different formats is given in the work. Two main groups of formats of outlets are distinguished: large ones, including supermarkets, hypermarkets and small ones, including so-called "shops at home", kiosks, mini-markets, is established. The paper identifies the main factors that determine the choice of freight transport fleet in the delivery of batch cargo in cities. It is proposed implementation of technological and organizational solutions, such as reservation of transporting capacities of freight transport fleet, to eliminate negative impact of demand fluctuations is presented in manuscript. Among the existing four methods of reservation of transporting capacities of the freight transport fleet, can be singled out— reserving the freight carrying capacity of the freight transport fleet by increasing the carrying capacity against the planned one; due to a quantitative increase in the freight transport fleet; due to the use of the attracted freight transport fleet and by combining all the previous methods. The analysis of the models of the influence of delivery conditions, technological parameters of the method of reservation of transporting capacities of freight transport fleet on logistic costs allowed determining the zones of efficiency of using different methods of reservation of transporting capacities. The estimation of efficiency of application of methods

of reservation of transporting capacities of the freight transport fleet for the transportations conditions is presented. The paper presents a critical analysis of each of the possible methods of reservation of transporting capacities of the freight transport fleet.

Key words: retail trade network; delivery; logistic costs; reserve; transporting capacities; loses; demand fluctuations; automobile.

Вступ

Автомобільний транспорт займає одне з провідних місць у транспортній системі країн. За звітними даними Державних служб статистики Макроекономічних процесів країн СНД обсяги перевезень вантажів автомобільним транспортом за останні два роки скоротилися на 1,5-2%, однак обсяги перевезень партійних вантажів продовжують збільшуватися (рис. 1). Практика роботи автомобільного транспорту показує, що значна частина обсягу перевезень вантажів у різних галузях здійснюється дрібними відправками (близько 25%); підвищується питома вага перевезень партійних вантажів, як в загальному обсязі перевезень, так і в загальній кількості партій вантажу. Зростання перевезень партійних вантажів пов'язаний зі стрімким розвитком роздрібною торгівлі.

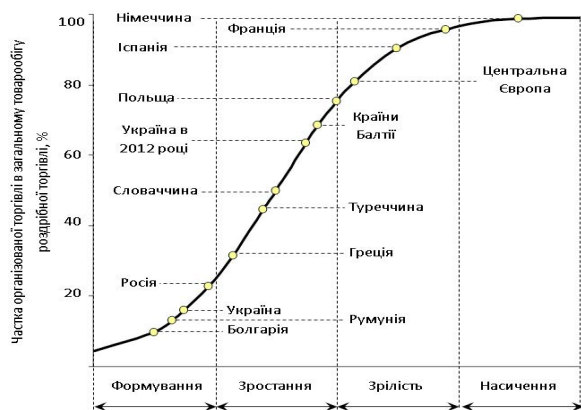


Рис. 1 – Стан роздрібною торгівлі країн Європи

За даними Державного комітету статистики України [1] з початку 2000 року щорічні темпи зростання роздрібною товарообігу становили в середньому від 15% до 30%. При цьому значна частка загального товарообігу, а це приблизно 65%, припадає саме на великі міста. Поява нових форматів торгових точок, зміна ролі посередників, прихід іноземного капіталу – все це в сукупності призводить до посилення конкуренції і ставить питання про застосування найсучасніших концепцій управління і розподілу функцій в ланцюзі постачань (рис. 2).

Своєчасність, якість виконання операцій впливають на безперебійність торгівлі і на якість обслуговування торгових точок [2]. Такі операції як вивчення попиту торгових точок, періодичність заявок на завезення товарів, формування оптимального асортименту дозволяють підприємству-виробнику забезпечити ефективну роботу з торговими точками в процесі доставки товарів до торговельної мережі [3]. Рациональна організація доставки товарів до торговельної мережі дозволить ефективно використовувати транспорт в ланцюзі постачань, що призведе до зниження витрат на доставку.

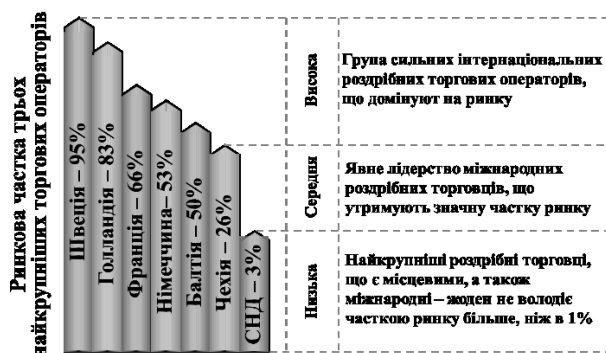


Рис. 2 – Ступінь концентрації ринку роздрібною торгівлі

В умовах жорсткої конкуренції будь-яке підприємство повинно бути націлене не тільки на отримання прибутку, а й повністю задовольняти споживача, тобто воно має гнучко реагувати на попит [4]. На транспорті при невиконанні встановлених нормативних термінів доставки вантажів, повноти замовлення застосовується система штрафних санкцій.

Серед особливостей перевезень в торгівлі точки в містах слід відзначити те, що дані перевезення відрізняються невеликими обсягами перевезень на адресу одного вантажоодержувача, які досягають мінімального значення до 50-100 кг, а кількість пунктів призначення протягом доби може досягати від декількох десятків до декількох тисяч.

Невідповідність теоретичних уявлень і рішень, прийнятих при перевезеннях партійних вантажів в роздрібною торгову мережу автомобілями невеликих автотранспортних підприємств, яких за даними [1] до 85%, обумовлює прийняття різних організаційних і технологічних рішень у виробничому процесі на основі інтуїції і «минулого досвіду» інженерів-технологів по організації перевезень і логістів.

Невідповідність провізних спроможностей умовам перевезень призводить до нераціональної роботи транспорту в ланцюзі постачань, що веде до збільшення витрат на доставку вантажів або до недоотримання прибутку постачальника.

Огляд літератури

Аналіз літературних джерел з питання вибору автомобілів рациональної вантажопідйомності показує, що увага авторів зосереджена на вирішенні проблем визначення парку автомобілів з метою зниження собівартості перевезень [6,7] або збільшення продуктивності роботи транспорту [5,8-10].

До основних факторів, які зумовлюють вибір рухомого складу (РС) при доставці партійних вантажів в містах можна віднести, крім розміру партії

вантажу, вид і особливості перевезень вантажу [3,11,16], швидкість доставки вантажу [7-9], спосіб виконання навантаження-розвантаження [16,18]. Однак одним з основних параметрів, що використовується при визначенні вантажопідйомності автомобіля залишається розмір партії вантажу [12,17].

Методики розрахунку раціональної структури парку РС можна розділити на дві групи: ті, в яких представлені методи розрахунку з урахуванням стохастичних характеристик умов роботи парку РС і без урахування. Всі існуючі методики об'єднує те, що всі вони спрямовані на підвищення ефективності роботи АТП. Однак більшість представлених методик застосовуються для розрахунку структури автопарку в конкретних випадках (робота в кар'єрах, в умовах Крайньої Півночі, для великих монопольних підприємств) і не враховують комплексного впливу експлуатаційних показників на структуру парку автомобілів.

При визначенні структури парку автомобілів для підвищення надійності роботи транспорту в ланцюзі постачань в літературних джерелах пропонується створювати резерв провізних можливостей [19].

В поточний час вивчення питання резервування провізних можливостей у вирішенні завдань, пов'язаних з доставкою продукції в роздрібну торговельну мережу в умовах змінного попиту, приділяється увага в наукових працях як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Всі існуючі моделі резервування провізних можливостей можна розділити на дві групи: детерміновані і ймовірнісно-статистичні.

У роботах більшості авторів розглядаються детерміновані моделі. Однак ймовірнісно-статистичні є більш реалістичними, тому що в складних системах вихідні дані не повністю визначаються поточним станом моделі і вихідними даними, які залежать також від коливань випадкового характеру [14,15].

Існує дві основні постановки завдання резервування: резервування вантажопідйомності і резервування провізних можливостей за рахунок додаткової кількості транспортних засобів.

Аналіз методик резервування провізних можливостей показав, що існує проблема наукового обґрунтування сфер раціонального використання різних способів резервування провізних можливостей парку автомобільного транспорту при перевезеннях партійних вантажів в реальних умовах перманентних коливань попиту.

Мета роботи

Метою даної роботи є аналіз моделей впливу умов доставки, характеристик роздрібно-торгівельної мережі, технологічних параметрів способу резервування провізних можливостей парку РС на витрати на доставку товарів у роздрібну торговельну мережу, що дозволить визначити зони ефективності

використання різних способів резервування провізних можливостей.

Виклад основного матеріалу

У даний час тенденції розвитку парку автомобільного транспорту вказують на зміни його структури. Використання розвізних маршрутів при доставці партійних вантажів дозволяє скоротити витрати на транспортування. На практиці логістичні ланцюги поставок партійних вантажів у роздрібну торговельну мережу містять елемент невизначеності [20], пов'язаний з попитом на продукцію (рис. 3).

При використанні заздалегідь спрогнозованих розвізних маршрутів при змінному попиті, на практиці будуть отримані значні відхилення від розрахункових. У разі якщо сумарний розмір замовлення буде більшим, ніж розрахункове значення вантажопідйомності автомобіля, то маємо неповний завезення вантажу або несвочасне завезення, в іншому випадку – неповне використання вантажопідйомності автомобіля (рис. 4).

Саме тому необхідно, щоб критерій ефективності складався не тільки з витрат на транспортування (постійних і змінних), але і втрат, викликаних завезенням товару в неповному обсязі через нестачу провізних можливостей

$$S_{\text{сум}}^{np} = S_{\text{мп}} + S_{\text{вт}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $S_{\text{мп}}$ - витрати на транспортування вантажу в торговельні точки, грн.; $S_{\text{вт}}$ - втрати від обслуговування клієнтів не в повному обсязі, грн.

Через те, що значення попиту не визначено, передбачається, що він змінюється відповідно до характеристик. Ці характеристики отримані на основі емпіричних даних і виявлено, що коливання обсягів замовлень продовольчих товарів торговельних точок «дрібних» форматів (кіоски, мінімаркети) можливо описати рівномірним законом розподілу, «великих» форматів (супермаркети і гіпермаркети) – законом розподілу Сімпсона (рис. 5).

Порівняльний аналіз способів резервування за критерієм приведених логістичних витрат, що складаються з витрат на транспортування і втрат, викликаних недозавозом, при встановлених областях існування факторів показав, що для будь-яких районів перевезень ефективним є створення запасу по вантажопідйомності. У разі неможливості створення запасу по вантажопідйомності, альтернативним способом є використання резервних одиниць РС. Якщо неможливо впровадити зазначений спосіб резервування, то ефективним є використання залученого транспорту.

Поєднання трьох способів резервування провізних можливостей парку РС є ефективним лише у випадках, коли середній розмір замовлення і коефіцієнт його варіації знаходиться в межах 6 т і 0,58 відповідно.

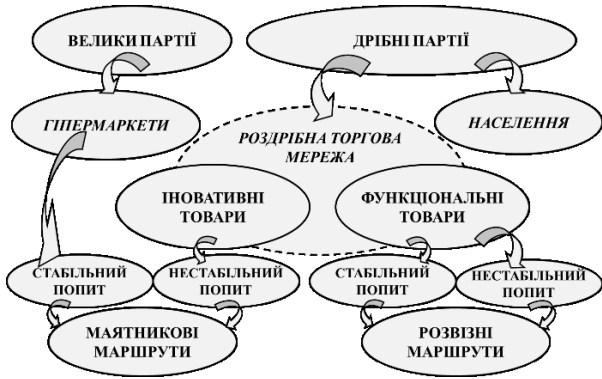


Рис. 3 – Способи організації доставки споживчих товарів

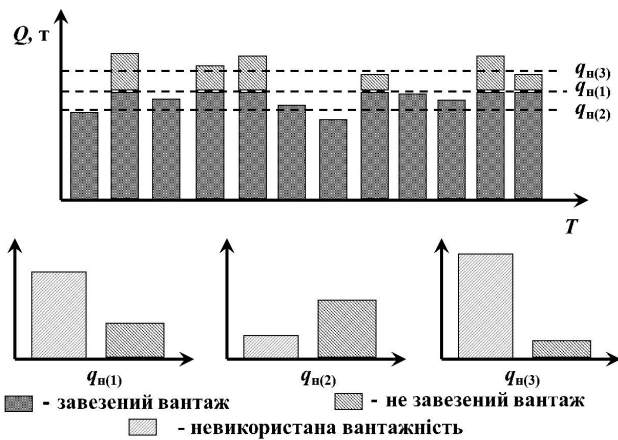


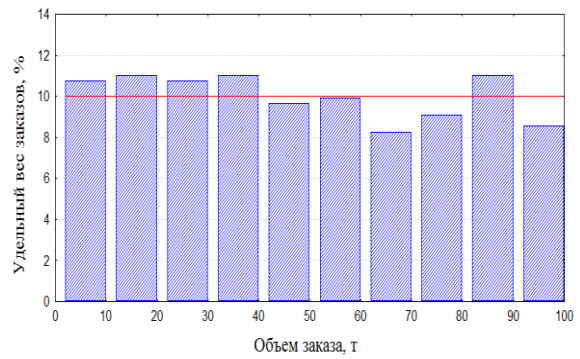
Рис. 4 – Завантаження автомобіля при змінному попиті на перевезення

Одним із способів компенсації коливань попиту за рахунок технологічних рішень є створення запасу за вантажопідйомністю автомобіля. В цьому випадку планова кількість пунктів заїзду змінюється з урахуванням коефіцієнта запасу за вантажопідйомністю. Номінальна кількість пунктів заїзду визначається виходячи з коефіцієнта запасу за вантажопідйомністю складе

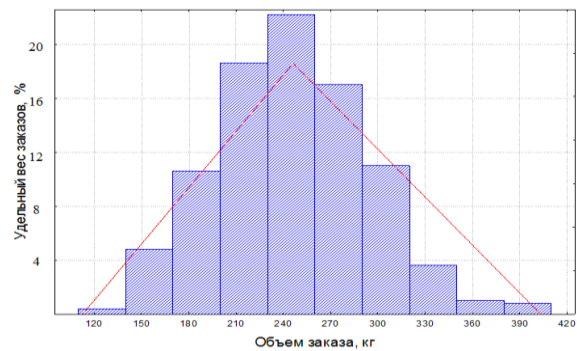
$$n_n = n_\phi \cdot k_s \quad (2)$$

де n_ϕ - фактична кількість пунктів заїзду на маршруті, од.; k_s - коефіцієнт запасу за вантажопідйомністю.

Створення запасу за вантажопідйомністю реалізується на стадії визначення структури парку РС. Приймається, що торговельні точки рівномірно розподілені в районі обслуговування, а схема обслуговування торговельних точок в районі перевезень складається з центрального складу або складу готової продукції постачальника або виробника, який може знаходитися за межами території обслуговування, так і всередині її (рис. 6).

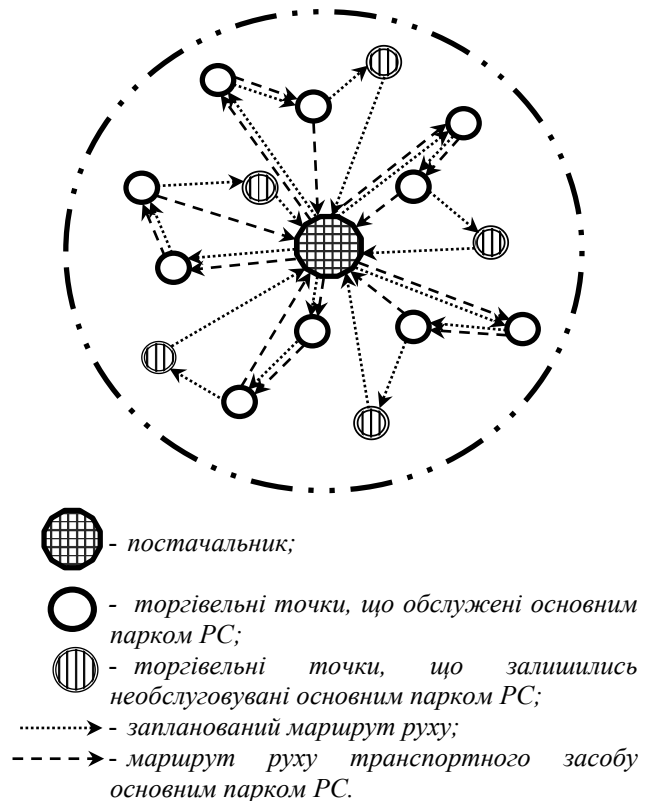


а) для торговельних точок дрібних форматів



б) для торговельних точок великих форматів

Рис. 5 – Закони розподілу обсягів замовлень



⊗ - постачальник;

○ - торговельні точки, що обслужені основним парком РС;

⊖ - торговельні точки, що залишились необслуговуваними основним парком РС;

⋯ - запланований маршрут руху;

--- - маршрут руху транспортного засобу основним парком РС.

Рис. 6 – Схема обслуговування торговельних точок

Планування маршрутів доставки продукції здійснюється попередньо, і в разі коливань попиту

зміна маршрутів заборонено, відповідно, завезення товарів від постачальника повинно відбуватися за графіком, який узгоджується попередньо. В умовах мінімізації сумарних приведених витрат при такому підході частину торгівельних точок може залишитися повністю або частково не обслуженими. В цьому випадку, постачальник недоотримає частину можливого доходу, зокрема несе втрати від недопоставки товарів не в явному вигляді. Оптимізаційними параметрами при даній постановці виступають кількість пунктів заїзду на маршруті і коефіцієнт запасу за вантажопідйомністю (рис. 7).

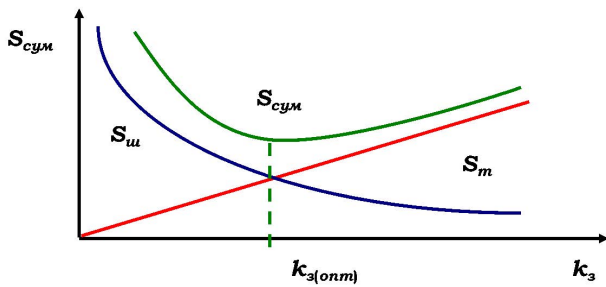


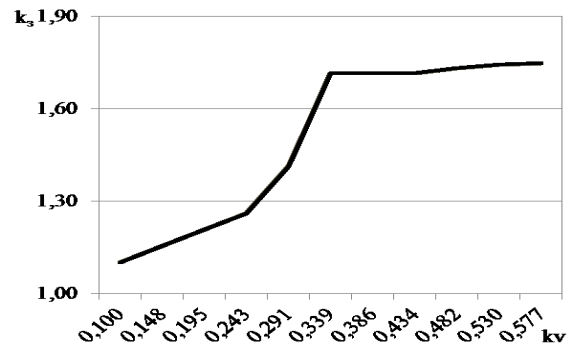
Рис. 7 – Вплив коефіцієнта запасу по вантажопідйомності на сумарні витрати на доставку

Аналіз моделей приведених витрат показує, що раціональне значення коефіцієнту запасу за вантажопідйомністю при доставці споживчих товарів в торгові точки дрібних і великих форматів змінюється у межах 1,15-1,75. При збільшенні коливань попиту резерв провізних можливостей необхідно збільшувати. Необхідно відзначити, що для торгових точок дрібних форматів при коефіцієнті варіації розміру замовлення до 0,3, запас по вантажопідйомності збільшується пропорційно, проте потім зміни стають незначними. Тому для обслуговування торгових точок з високими коливаннями попиту (середнє значення коефіцієнту варіації більше 0,3) при виборі вантажопідйомності автомобіля необхідно враховувати коефіцієнт запасу за вантажопідйомністю в розмірі 1,7. Для торгових точок великих форматів при збільшенні коливань попиту торгових точок запас за вантажопідйомністю пропорційно збільшується (рис. 8).

В умовах змінного попиту для компенсації коливань попиту, в разі неможливості створення запасу по вантажопідйомності, доцільним є створення певного запасу резервних одиниць парку РС. Основною перевагою даного способу резервування є наявність постійної кількості одиниць РС і структури парку у перевізника.

При резервуванні провізних можливостей парку РС за рахунок кількісного збільшення схема доставки товарів до торговельної мережі схожа з попередньою. Однак після того, як провізні можливості основного парку РС вичерпані, а не обслуговувані торгові точки залишилися, втрати від недопоставки в які перевищують витрати на транспортування резервним транспортом, то стає

раціональним використання резервного парку РС. Приймається, що вантажопідйомність резервних одиниць парку РС така ж, як і основного через можливість ротації автомобілів на маршрутах. Однак це призводить до використання автомобіля нерациональної вантажопідйомності, який працює на додаткових маршрутах, що веде до погіршення техніко-експлуатаційних показників роботи транспорту, таких як коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля, неповне використання автомобіля в часі.



а) для торгових точок дрібних форматів

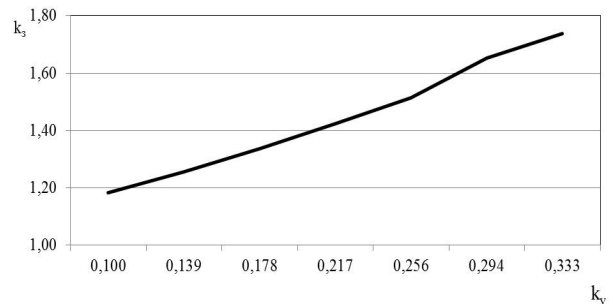


Рис. 8 – Вплив коефіцієнта варіації розміру замовлення в торгових точках дрібних і великих форматів на коефіцієнт запасу за вантажопідйомністю

Коефіцієнт запасу ПВ резервного парку РС і кількість пунктів заїзду на маршруті є оптимізаційними параметрами роботи резервного парку РС, знаходження яких дозволить визначити обсяги робіт для резервного парку РС і дозволить зменшити витрати на доставку. Частка резервних транспортних засобів до основних можна представити як

$$\delta_p = \delta_{об}^p \cdot \delta_{зр} \cdot P_{недоз} \quad (3)$$

де $\delta_{об}^p$ - коефіцієнт кратності часу оберту резервного парку РС до основного; $P_{недоз}$ - ймовірність незадоволення основним парком РС; $\delta_{зр}$ - коефіцієнт запасу провізних можливостей резервного парку РС.

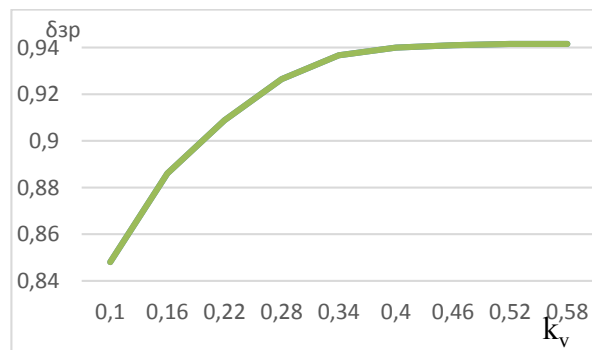
Аналіз математичних моделей логістичних витрат доводить, що при середніх значеннях характеристик транспортної ланки ланцюга постачань

і району обслуговування (щільність дислокації торгових точок – 13,673 од/км², середня відстань доставки – 101,5 км, середній розмір замовлення 3 т, величина втрат – 5250 грн/т, коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності – 0,7 [17]) коефіцієнт запасу провізних можливостей резервного транспорту зі збільшенням коливань попиту як в торгових точках великих, так і дрібних форматів, описується випуклою функцією. Так при коефіцієнті варіації розміру замовлення в торгових точках дрібних і великих форматів більш ніж 0,3 і 0,25 відповідно, коефіцієнт запасу провізних можливостей резервного транспорту змінюється незначно і в середньому становить 0,94. Облік даного значення при визначенні характеристик РС дозволить знизити логістичні витрати.

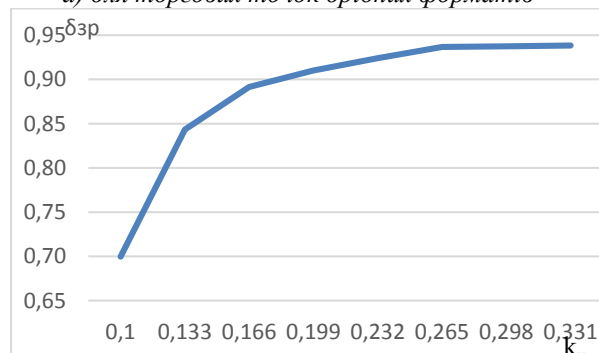
При резервуванні провізних можливостей парку РС в разі, коли попит на перевезення перевищує ПВ парку РС, можливий варіант використання залученого парку, який працює на ринку транспортних послуг за принципом «вантажного таксі». Часто на практиці при резервуванні ПВ парку РС вважається найбільш раціональним використання залученого парку через можливість вибору автомобіля оптимальної вантажопідйомності під заданий обсяг перевезень (рис. 9).

Однак найбільш істотними недоліками цього способу резервування є підвищена вартість перевезень залученими автомобілем, в порівнянні з собівартістю перевезень власним автомобілем, і те, що мінімальний термін оренди автомобіля часто перевищує необхідний час для взяття його в оренду. Практика показує, що в середньому мінімальний час, на яке дається транспортний засіб, становить 4-5 годин, а середня вартість однієї години оренди фургонів малої і середньої вантажопідйомності становить 60-120 грн/год. та 5,0-6,0 грн/км. З огляду на вище представлене, використовувати залучений парк РС необхідно під певний обсяг робіт, тобто в умовах змінного попиту створювати запас ПВ парку РС не раціонально. Запас за вантажопідйомністю основного парку РС не планується. Передбачається, що існує така вантажопідйомність залученого автомобіля, яка дорівнювала або була б близька до розміру партії вантажу, який необхідно перевезти. Негативною характеристикою залученого транспорту є негарантоване транспортне обслуговування. Кількість пунктів заїзду на маршруті основного і залученого парку РС є оптимізаційним параметром роботи залученого парку, і виходячи з його значення, визначається необхідна вантажопідйомність залученого парку РС. З огляду на припущення, що торгові точки розподілені рівномірно в районі перевезень, то і торгові точки, які обслуговуються залученими парком РС, теж розподілені рівномірно в районі перевезень. Характеристики маршрутів основного і залученого парку РС будуть відрізнятися. Аналіз математичних моделей логістичних витрат показує, що при середніх значеннях параметрів

транспортної ланки ланцюга постачань і району обслуговування, при доставці в торгові точки дрібних форматів, де коливання попиту незначні (коефіцієнт варіації попиту в межах 0,1-0,25) використання залученого транспорту є недоцільним (рис. 10).

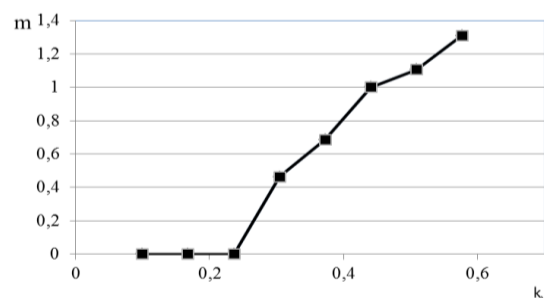


а) для торгових точок дрібних форматів

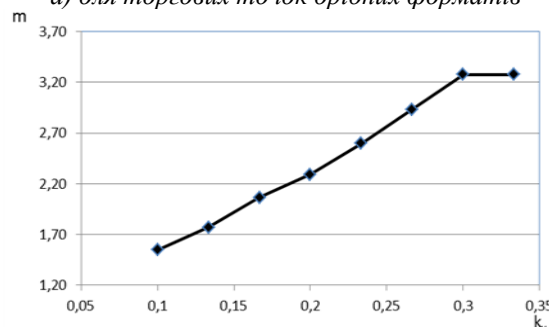


б) для торгових точок великих форматів

Рис. 9 – Вплив коливань попиту в торговельних точках дрібних і великих форматів на коефіцієнт запасу провізних можливостей резервного парку



а) для торгових точок дрібних форматів



б) для торгових точок великих форматів

Рис. 10 – Вплив коливань попиту в торговельних точках на кількість пунктів заїзду на маршруті залученого транспорту

У загальному випадку, кожен із способів резервування провізних можливостей парку автомобілів є надійним технологічним рішенням

компенсації коливань попиту, проте кожен з них має свої переваги і недоліки (табл. 1).

Таблиця 1 – Особливості способів резервування провізних можливостей парку автомобілів

Особливості способу	Резервування вантажності автомобілів	Резервування кількості автомобілів	Наймення транспорту сторонніх перевізників
<i>Переваги</i>	Оптимальна вантажність автомобілів; постійна кількість автомобілів і структури парку; незмінні маршрути; стабільний графік заводу	Постійна кількість автомобілів і структури парку	Оптимальна вантажність автомобілів
<i>Практичні обмеження</i>	Дискретний ряд вантажностей і ємностей автомобілів	Дискретна кількість автомобілів	Обов'язковий мінімальний час оплати роботи автомобілів
<i>Недоліки</i>	Неповне використання вантажності автомобілів	Неповне використання вантажності автомобілів; неоптимальна вантажність на додаткових маршрутах; неповне використання автомобілів в часі	Нераціональне використання часу роботи автомобілів; підвищені витрати на перевезення; негарантоване транспортне обслуговування

Висновки

На сьогоднішній день ринок роздрібної торгівлі є значущим в системі ВВП країни. Диктуючи жорстокі вимоги до перевізників, роздрібна торгівля на сьогоднішній день є вирішальною ланкою у всій ланцюга постачань. Технологічним способом компенсації невідповідності провізних здібностей транспорту умовам перевезень є резервування провізних можливостей парку автомобілів. У результаті проведеного дослідження сформульовано цільова функція сумарних витрат на доставку. Визначення зони ефективності використання того чи іншого способу резервування конкретних умов роботи транспорту дозволить отримати економічний ефект і знизити витрати на доставку від 15-30%.

Список літератури

1. Інформаційний ресурс Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. **Тан, К. С.** A framework of supply chain management literature / **К. С. Тан** // *European Journal of Purchasing & Supply Management*. – 2001. – Vol. 7, No. 1. – P. 39-48. – doi: 10.1016/S0969-7012(00)00020-4.
3. **Yang, L.** Comparisons of sales modes for a fresh product supply chain with freshness-keeping effort / **L. Yang** // *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*. – 2019. – Vol. 125. – P. 425-448. – doi: 10.1016/j.tre.2019.03.020.
4. **Vizinger, T.** Coordination of a Retail Supply Chain Distribution Flow / **T. Vizinger, J. Žerovnik** // *Technical Gazette*. – 2018. – 25 (5). – P. 1298-1305. – doi: 10.17559/TV-20161219120040.
5. **Паули, Н. В.** Совершенствование методики выбора рациональной структуры парка грузовых автомобилей с учетом наработки: *дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: Оренбург, 2013. – 146 с.*
6. **Арам, М. А.** Эффективность формирования структуры парка транспортных средства в условиях рыночной экономики: *дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05: Москва, 2001. – 154 с.*
7. **Якунин, С. В.** Обоснование структуры таксомоторного парка с учетом характеристик периода эксплуатации автомобилей: *дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10: Оренбург, 2009. – 129 с.*
8. **Карагодин, А. В.** Методика выбора парка грузовых автомобилей для транспортного обслуживания нефтедобывающих предприятий: *дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. – Москва, 2002. – 121 с.*
9. **Заруднев, Д. И.** Методика выбора автотранспортных средств для перевозки грузов: *дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Омск, 2005. – 237 с.*
10. **Шилимов, М. В.** Формирование структуры парка и выбор автомобильных транспортных средств для перевозки крупногабаритных тяжеловесных грузов: *дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. – Москва, 2005. – 145 с.*
11. **Жуков, А. И.** Разработка методики формирования парка подвижного состава автобусного предприятия: *дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. – Москва, 2010. – 127 с.*
12. **Baublys, A.** Modelling freight flows at transport terminal and vehicle fleet of optimal carrying capacity / **A. Baublys** // *Transport and Telecommunication*. – 2006. – Vol. 7, No.2. – P. 254-261.
13. **Cherry, Ch. R.** Development of Duration Models to Determine Rolling Stock Fleet Size / **Ch. R. Cherry** // *Journal of Public Transportation*. – 2005. – Vol. 8, No. 3. – P. 57-70.
14. **Nuzzolo, A.** Freight transport modeling: Review and future challenges / **A. Nuzzolo, P. Coppola, A. Comi** //

- International Journal of Transport Economics*. – 2013. – Vol. XL, Is. 2. – P. 151-181.
15. **Nuzzolo, A.** A demand model for international freight transport by road / **A. Nuzzolo, U. Crisalli, A. Comi** // *European Transport Research Review*. – 2008. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 23-33. – doi: 10.1007/s12544-008-0003-0.
 16. **Bowersox, J.** Supply Chain Logistics Management / **J. Bowersox, D. J. Closs, M. B. Cooper** // *USA: McGraw-Hill International Edition*. – 2002. – 678 p.
 17. **Воркут, А. И.** Транспортное обслуживание торгово-оптовых баз / **А. И. Воркут, А. Г. Калинин, А. Г. Ковалик, А. С. Рудык**. – К.: Техніка, 1985. – 112 с.
 18. **Смехов, А. А.** Основы транспортной логистики / **А. А. Смехов**. – М.: Транспорт, 1995. – 197 с.
 19. **Ковцур, К. Г.** Резервування провізних можливостей парку автомобілів у логістичних ланцюгах постачання споживчих товарів : *автореф. дис ... канд. техн. наук*: 05.22.01. – Харків, 2015. – 21 с.
 20. **Oliveira, F. L.** Uncertainty supply chain model and transport in its deployments / **F. L. Oliveira** // *Independent Journal of Management & Production*. – 2014. – Vol. 5, Iss. 2. – P. 480-492. – doi: 10.14807/ijmp.v5i2.167.
- References (transliterated)**
1. DerzhavnoYi sluzhbi statistiki UkraYini [Information resource of the State Statistics Service of Ukraine]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
 2. **Tan, K. C.** A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 2001, 7(1), 39-48, doi:10.1016/S0969-7012(00)00020-4.
 3. **Yang, L.** Comparisons of sales modes for a fresh product supply chain with freshness-keeping effort. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 125, 425-448, doi: 10.1016/j.tre.2019.03.020.
 4. **Vizinger, T., Žerovnik, J.** Coordination of a Retail Supply Chain Distribution Flow. *Technical Gazette*, 2018, 25, 5(2018), 1298-1305, doi: 10.17559/TV-20161219120040.
 5. **Pauli, N. V.** Sovershenstvovanie metodiki vyibora ratsionalnoy strukturyi parka gruzovyih avtomobiley s uchetom narabotki [Improving the method of selecting a rational structure of trucks, taking into account the developments]: *dis. ... kand. tehn. nauk*: 05.22.10: Pauli Nikita Vladimirovich. Orenburg, 2013, 146.
 6. **Aram, M. A.** Effektivnost formirovaniya strukturyi parka transportnyih sredstva v usloviyah ryinochnoy ekonomiki [The effectiveness of the formation of the vehicle structure in a market economy]: *dis. ... kand. ekon. nauk*: 08.00.05. Moskva, 2001, 154.
 7. **Yakunin, S. V.** Obosnovanie strukturyi taksomotornogo parka s uchetom harakteristik perioda ekspluatatsii avtomobiley [Justification of the structure of the taxi, taking into account the characteristics of the period of operation of vehicles]: *dis. ... kand. tehn. nauk*: 05.22.10: Orenburg, 2009, 129.
 8. **Karagodin, A. V.** Metodika vyibora parka gruzovyih avtomobiley dlya transportnogo obsluzhivaniya neftedobyivayuschih predpriyatii [Methods of choosing of trucks for the transport service of oil-producing enterprises]: *dis. ... kand. tehn. nauk*: 05.22.01: Karagodin Aleksey Viktorovich. Moskva, 2002, 121.
 9. **Zarudnev, D. I.** Metodika vyibora avtotransportnyih sredstv dlya perevozki gruzov [Methods of selection of vehicles for the transport of goods]: *dis. ... kand. tehn. nauk*: 05.22.10. - Omsk, 2005, 237.
 10. **Shilimov, M. V.** Formirovanie strukturyi parka i vyibor avtomobilnyih transportnyih sredstv dlya perevozki krupnogabaritnyih tyazhelovesnyih gruzov [Formation of the structure of the park and the choice of motor vehicles for the transport of bulky oversized cargo]: *dis. ... kand. tehn. nauk*: 05.22.01: Moskva, 2005, 145.
 11. **Zhukov, A. I.** Razrabotka metodiki formirovaniya parka podvizhnogo sostava avtobusnogo predpriyatiya [Development of a rolling stock park for a bus enterprise]: *dis. ... kand. tehn. nauk*: 05.22.08. Moskva, 2010, 127.
 12. **Baublys, A.** Modelling freight flows at transport terminal and vehicle fleet of optimal carrying capacity. *Transport and Telecommunication*. Riga, 2006, 7 (2), 254-261.
 13. **Cherry, Ch. R.** Development of Duration Models to Determine Rolling Stock Fleet Size. *Journal of Public Transportation*, 2005, 8 (3), 57-70.
 14. **Nuzzolo, A., Coppola, P., Comi, A.** Freight transport modeling: Review and future challenges. *International Journal of Transport Economics*, 2013, XL (2), 151-181.
 15. **Nuzzolo, A., Crisalli, U., Comi, A.** A demand model for international freight transport by road. *European Transport Research Review*, 2008, 1 (1), 23-33, doi: 10.1007/s12544-008-0003-0.
 16. **Bowersox, J., Closs, D. J., Cooper, M. B.** Supply Chain Logistics Management. USA: McGraw-Hill International Edition, 2002, 678.
 17. **Vorkut, A. I., Kalinin, A. G., Kovalik, A. G., Rudyk, A. S.** Transportnoe obsluzhivanie torgovo-optovyih baz [Transport service of trade and wholesale bases]. K.: Tehnika, 1985, 112.
 18. **Smehov, A. A.** Osnovyi transportnoy logistiki [Basics of transport logistics]. M.: Transport, 1995, 197.
 19. **Kovtsur, K. H.** Rezervuvannia proviznykh mozhlyvostei parku avtomobiliv u lohistychnykh lantsiuhakh postachan spozhyvchykh tovariv [Provision of spare parts for the fleet of vehicles in the logistic chains of consumer goods supply]: *avtoref. dys ... kand. tekhn. nauk*: 05.22.01. Kharkiv, 2015, 21.
 20. **Oliveira, F. L.** Uncertainty supply chain model and transport in its deployments. *Independent Journal of Management & Production*, 2014, 5 (2), 480-492, doi: 10.14807/ijmp.v5i2.167.

Відомості про авторів (About authors)

Ковцур Катерина Григорівна – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри транспортних систем і логістики; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-0445-5438; e-mail: kovtsyur@ukr.net.

Kateryna Kovtsur – Ph. D, Kharkiv National Automobile And Highway University, Associate Professor, Department of Transport systems and logistics, Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0445-5438; e-mail: kovtsyur@ukr.net.

Токмиленко Тетяна Томівна – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, старший викладач кафедри транспортних систем і логістики; м. Харків, Україна; e-mail: tetyana@tokmylenko.com.

Tetiana Tokmylenko – Kharkiv National Automobile And Highway University, Senior lecturer, Department of Transport systems and logistics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: tetyana@tokmylenko.com.

Птиця Наталія Василівна – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірант кафедри транспортних систем і логістики, м. Харків, Україна; e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com.

Natalia Ptitsia – Kharkiv National Automobile and Highway University, postgraduate student, Department of Transport Systems and Logistics, Kharkov, Ukraine; e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Ковцур, К. Г. Рационалізація транспортної складової в логістичному ланцюзі постачань товарів у роздрібну торговельну мережу / **К.Г. Ковцур, Т. Т. Токмиленко, Н. В. Птиця** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 54-62. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.07.

Please cite this article as:

Kovtsur, K., Tokmylenko, T., Ptitsia, N. Rationalization of the transport component in the logistic supply chain of goods in the retail trade. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 54-62, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.07.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ковцур, Е. Г. Рационализация транспортной составляющей в логистической цепи поставок товаров в розничную торговую сеть / **Е. Г. Ковцур, Т. Т. Токмиленко, Н. В. Птица** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 54-62. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.07.

АННОТАЦИЯ Рассматриваются особенности доставки грузов в розничную торговую сеть в городах. Представлены современные тенденции изменений в розничной торговле в странах Европы и представлены особенности функционирования цепей поставок товаров в розничную торговую сеть на территории Украины. В работе представлены требования к транспортному звену в цепи поставок, выполнение которых позволит предприятиям-производителям и розничным торговцам повысить эффективность своей работы. Для ритмичной работы системы доставки партионных грузов в розничную торговую сеть становится необходимым оптимизировать работу транспортного звена. Анализ литературных источников позволил определить основные методики выбора автомобилей рациональной грузоподъемности. Определены основные критерии их выбора, а именно себестоимость перевозок и производительность работы транспорта. Исходя из того, что логистические цепи поставок партионных грузов в розничную торговую сеть содержат элемент неопределенности, связанный с перманентными колебаниями спроса в работе приведена разница учета особенностей колебаний спроса в торговых точках различных форматов. Установлено, что выделяют две основные группы форматов торговых точек: крупные, включающих в себя супермаркеты, гипермаркеты и мелкие, включающие так называемые «магазины у дома», киоски, минимаркеты. В работе определены основные факторы, которые обуславливают выбор подвижного состава при доставке партионных грузов в городах. Предложено для устранения негативных результатов колебаний спроса внедрение технологических и организационных решений, а именно резервирование провозных возможностей парка подвижного состава. Среди существующих способов резервирования провозных возможностей парка подвижного состава можно выделить четыре – резервирование провозных возможностей парка подвижного состава за счет увеличения грузоподъемности автомобиля относительно плановой; за счет количественного увеличения парка подвижного состава; за счет использования привлеченного парка подвижного состава и за счет сочетания всех предыдущих способов. Анализ моделей влияния условий доставки, технологических параметров способа резервирования провозных возможностей на логистические затраты позволил определить зоны эффективности использования различных способов резервирования провозных возможностей. Проведена оценка эффективности применения способов резервирования провозных возможностей парка автомобилей под конкретные условия перевозок. В работе приведен критический анализ каждого из возможных способов резервирования провозных возможностей парка подвижного состава. **Ключевые слова:** розничная торговая сеть; доставка; логистические затраты; резерв; провозные возможности; потери; колебания спроса; автомобиль.

Надійшла (received) 26.04.2019

УДК 615.4:658.562.3

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.08

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИРОБІВ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Р. М. ТРИЩ, А. М. ДЕНИСЕНКО, С. М. АРТЮХ, Ю. С. ЛИС*

*кафедра Охорони праці, стандартизації та сертифікації, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків,
УКРАЇНА*

**e-mail: trich_@ukr.net*

АНОТАЦІЯ У статті вивчаються особливості розроблення, впровадження та сертифікації систем управління якістю підприємств та організацій, які мають відношення до проектування та розроблення, виробництва, зберігання та дистрибуції, монтажу та обслуговування медичних виробів, а також до проектування, розроблення й надання пов'язаних з ними послуг. Законодавством України у сфері технічних регламентів та оцінювання відповідності встановлено, що всі медичні вироби, що знаходяться в обігу на ринку України, повинні проходити процедуру оцінки відповідності та відповідати певним нормативним вимогам. Крім того проведено аналіз законодавчих та нормативних вимог, щодо оцінювання процесів при виготовленні виробів медичного призначення, який показав, що у міжнародному стандарті, щодо вимог до системи управління якістю є ряд вимог, пов'язаних з необхідністю оцінювання процесів системи. Міжнародний стандарт базується на процесному підході щодо управління якістю. Для цього організація повинна виконати усі принципи, які встановлені стандартом, серед яких процесний та ризик орієнтований підхід. Тому потрібно дослідити можливості застосування математичних залежностей для отримання статистичних закономірностей функціонально залежних безрозмірних оцінок показників якості процесів системи управління якістю, що дозволить ефективно вирішувати практичні завдання, застосовуючи статистичні методи. Для оцінювання якості процесів застосовуються комплексні показники якості, які включають одиничні з різними шкалами вимірювання, тому представлено дослідження функцій щільності випадкових величин оцінок показників якості процесів на безрозмірній шкалі та визначення імовірності їх попадання в заданий інтервал оцінювання. Знаючи функцію щільності одиничних показників якості процесу та знаючи залежність з їх оцінками на безрозмірній шкалі, можна вирішувати практичні задачі з визначення імовірності попадання оцінок показників якості в заданий інтервал. Вирішення таких задач актуально при визначенні ризиків процесів систем управління якістю, чи визначенні надійності технологічного процесу та інші.

Ключові слова: медичні вироби; функція розподілу випадкової величини; математична залежність; показники якості процесів; функція щільності; безрозмірна шкала

QUALITY ASSESSMENT PROCESSES IN THE MANUFACTURE OF MEDICAL DEVICES

R. TRISHCH, A. DENYSENKO, S. ARTIUKH, Y. LYS

*Department of labor safety protection, standardization and certification, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv,
UKRAINE*

ABSTRACT In this paper we study the development, implementation and certification of quality management systems of companies and organizations involved in the design and development, production, storage and distribution, installation and servicing of medical devices, as well as the design, development and provision of related services. The legislation of Ukraine in the field of technical regulations and conformity assessment established that all medical devices in circulation on the Ukrainian market must undergo a procedure for assessing compliance and meet certain regulatory requirements. In addition, an analysis of legislative and regulatory requirements was carried out to evaluate the processes in the manufacture of medical devices, which showed that in the international standard, the requirements for a quality management system are a number of requirements related to the need to evaluate system processes. The international standard is based on a process approach to quality management. To do this, the organization must comply with all principles established by the standard, including process and risk oriented approach. Therefore, it is necessary to explore the possibilities of applying mathematical dependencies to obtain statistical regularities of functionally dependent dimensionless estimates of the quality indicators of the quality management system processes, which will effectively solve practical problems using statistical methods. To assess the quality of processes, complex quality indicators are used, which include single measurements with different scales, therefore, a study is presented of the density functions of random variables for evaluating the quality indicators of processes on a dimensionless scale and determining the probability of their falling into a given assessment interval. Knowing the density function of individual indicators of the quality of the process and knowing the dependence on their estimates on a dimensionless scale, one can solve practical problems of determining the probability of falling into the estimates of quality indicators in a given interval. The solution of such

problems is important in determining the risks of the processes of quality management systems or determining the reliability of the technological process and so on.

Keywords: *medical devices; distribution function of a random variable; mathematical dependence; process quality indicators; density function; dimensionless scale*

Вступ

Однією з інноваційних галузей у світовій промисловості являється виробництво медичних виробів, що включає в себе і медичну техніку. Так як основним призначенням таких виробів є покращення якості та збільшення тривалості людського життя, то вона знаходиться в постійному полі зору контролюючих та регулюючих органів. В Україні державний нагляд та контроль за виробництвом та обігом медичних виробів здійснює Державна служба України з лікарських засобів.

Законодавством України у сфері технічних регламентів та оцінювання відповідності встановлено, що всі медичні вироби, що знаходяться в обігу на ринку України, повинні проходити процедуру оцінки відповідності та відповідати таким нормативним вимогам: Технічному регламенту щодо медичних виробів, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2013 № 753 [1], Технічному регламенту щодо медичних виробів для діагностики *in vitro*, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2013 № 754 [2], та Технічному регламенту щодо активних медичних виробів, які імплантують, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2013 № 755. Відповідність продукції вимогам технічних регламентів забезпечується шляхом застосування національних стандартів, що діють у цій сфері [3].

В Україні діє міжнародний стандарт [4], який встановлює вимоги до системи управління якістю, які можуть застосовуватися підприємством повного циклу виробництва медичних виробів, за умови, що організація доведе свою здатність систематично надавати медичні вироби та пов'язані з ними послуги, які однаково задовольняють вимоги замовника та вимоги регуляторних органів, застосовні до медичних виробів і пов'язаних з ними послуг. Такі організації можуть бути підприємствами, що відповідають за одну або кілька стадій повного циклу виробництва медичних виробів, а саме: проектування та розроблення, виробництво, зберігання та дистрибуція, монтаж та обслуговування, а також проектування, розроблення й надання пов'язаних з ними послуг (наприклад, послуг технічної підтримки). Вимоги цього міжнародного стандарту можуть також застосовувати постачальники або інші зовнішні сторони, що надають свої послуги при виробництві продукції та мають запроваджені системи управління якістю.

Для підтвердження відповідності системи управління якістю відповідно вимогам міжнародного стандарту організація, яка виконує хоча би один із зазначених циклів виробництва медичних виробів повинна розробити, впровадити, постійно

удосконалювати свою систему та отримати відповідний сертифікат в акредитованому органі з сертифікації. Для цього організація повинна виконати усі принципи, які установлені стандартом, серед яких процесний та ризик орієнтований підхід. Для виконання таких принципів організація повинна розробити процедури оцінювання процесів та ризиків з метою приймання ефективних управлінських рішень.

Мета роботи

Дослідити можливості застосування математичних залежностей для отримання статистичних закономірностей функціонально залежних безрозмірних оцінок показників якості процесів системи управління якістю, що дозволить ефективно вирішувати практичні завдання, застосовуючи статистичні методи.

Викладення основного матеріалу

Аналіз законодавчих та нормативних вимог, щодо оцінювання процесів при виготовленні виробів медичного призначення

Медичні вироби розробляються та виготовляються в такий спосіб, щоб у разі їх застосування за призначенням у відповідних умовах вони не спричиняли виникнення ризику для клінічного стану або безпеки споживачів чи для здоров'я і безпеки користувачів або інших осіб, за умови, що будь-які потенційні ризики, які можуть бути пов'язані із застосуванням таких медичних виробів за їх призначенням, є допустимими порівняно з корисною дією для споживачів і поєднуються з високим рівнем захисту здоров'я та безпеки [1].

Міжнародний стандарт [4] базується на процесному підході, щодо управління якістю. Будь-яку дію, під час якої отримують вхідні дані, що потім перетворюють на вихідні, можна вважати процесом. Часто вихідні дані одного процесу безпосередньо формують вхідні дані наступного процесу. Для ефективного функціонування організація повинна визначити та управляти багатьма пов'язаними між собою процесами. Під «процесним підходом» розуміють застосування у межах організації системи процесів разом з їх визначенням та взаємодіями, а також управління ними.

При застосуванні в системі управління якістю такий підхід підкреслює важливість:

- a) розуміння та дотримання вимог;
- b) оцінки процесів з точки зору доданої вартості;

с) отримання результатів функціонування процесу та його ефективності;

д) вдосконалення процесів на основі об'єктивних вимірювань.

Згідно з вимогами стандарту [4], організація повинна:

а) визначити процеси, необхідні для системи управління якістю та застосування цих процесів в рамках всієї організації з урахуванням ролей, прийнятих організацією;

б) застосовувати підхід, заснований на оцінці ризиків, для контролю відповідних процесів, необхідних для функціонування системи управління якістю;

с) визначити послідовність і взаємодію цих процесів.

Для кожного процесу системи управління якістю, організація повинна:

а) визначити критерії та методи, необхідні для забезпечення того, що функціонування і управління цими процесами є ефективним;

б) забезпечувати наявність ресурсів та інформації, необхідних для підтримки функціонування та моніторингу цих процесів;

с) вживати заходів, необхідних для досягнення запланованих результатів та щоб підтримувати ефективність цих процесів;

д) проводити спостереження, вимірювання, в залежності від обставин, і аналіз цих процесів;

е) започатковувати і вести журнали записів, необхідні для підтвердження відповідності цьому стандарту і відповідності нормативним вимогам.

Організація повинна управляти цими процесами системи управління якістю відповідно до вимог цього міжнародного стандарту та чинних нормативних вимог. Зміни, які повинні бути внесені в ці процеси, мають бути:

а) оцінені на предмет їх впливу на систему управління якістю;

б) оцінені на предмет їх впливу на медичні виробни, вироблених в рамках цієї системи управління якістю;

с) контрольовані відповідно до вимог цього міжнародного стандарту та чинних нормативних вимог.

Отже, зважаючи на вимоги міжнародного стандарту та результати проведеного його аналізу, для ефективного функціонування системи управління якістю необхідно мати можливість оцінювати процеси. Тому наступним кроком являється пошук наукових інструментів для оцінювання якості процесів, які мають різну природу, одиниці вимірювання, різні шкали та діапазони оцінювання.

Кваліметричний інструмент для оцінювання якості процесів

Оцінюванням якості об'єктів кваліметрії займається наука - кваліметрія, яка вивчає їх оцінювання в кількісному вираженні з метою отримання інформації, необхідної для прийняття

рішення при подальшому управлінні їх якістю. Так як якість будь яких об'єктів може мати багато показників, які, в свою чергу, мають різні діапазони та шкали вимірювання, то зручно їх привести до однієї (безрозмірної) шкали вимірювання. Це дозволить їх об'єднувати та отримувати комплексний показник якості об'єкта.

Так як вимірні показники якості не завжди розподілені рівномірно і не завжди мають лінійну математичну залежність з їх оцінкою на безрозмірній шкалі, то, при оцінюванні якості об'єктів важливе місце займає вид математичної залежності. Існуючі залежності застосовують для оцінювання конкретних об'єктів і не являються універсальними, що обмежує ефективно оцінювати якість процесів, адже вони всі відрізняються і мають різні характеристики з різними показниками якості. Тому пропонуються математичні залежності, які були опубліковані в роботах національних науковців [5-8] та закордонних науковців [9-15] і являються універсальними, так як мають параметр форми і можуть при одному і тому значенні показника якості давати різні оцінки на безрозмірній шкалі.

Але, як правило для оцінювання якості процесів застосовуються комплексні показники якості, які включають одиничні з різними шкалами вимірювання, тому отримання оцінок показників якості не дає можливості для прийняття управлінських рішень не знаючи закономірностей розподілу статистичних даних оцінок одиничних параметрів. Тому у даній частині наукової роботи представлено дослідження функцій щільності випадкових величин оцінок показників якості процесів на безрозмірній шкалі та визначення імовірності їх попадання в заданий інтервал оцінювання.

Нехай випадкова величина розсіювання показника якості будь-якого процесу X підпорядкована нормальному закону розподілу та пов'язана з випадковою величиною Y залежністю:

$$F(x) = y = e^{-e^{-x}}$$

Знайдемо щільність ймовірностей випадкової величини Y . Як відомо, рівняння знаходження функції щільності ймовірностей $q(y)$ випадкової величини Y має вигляд:

$$q(y) = f(\psi(y))\psi'(y)$$

де, $f(x)$ – щільність ймовірностей випадкової величини X , $\psi(y)$ – обернена функція до $y = \varphi(x)$ і яка на інтервалі можливих значень випадкової величини X має похідну. Отже, знайдемо функцію, обернену до $y = e^{-e^{-x}}$.

У результаті алгебраїчних перетворень маємо:

$$\ln y = \ln(e^{-e^{-x}}); \ln y = -e^{-x}; -\ln y = e^{-x}; \ln y^{-1} = e^{-x}; \ln \frac{1}{y} = e^{-x};$$

$$\ln \ln \frac{1}{y} = \ln e^{-x}; \ln \ln \frac{1}{y} = -x; x = -\ln(-\ln y); x'_y = -\frac{1}{y \ln y}.$$

Знайдемо похідну функції $x = x(y)$

$$x'_y = \frac{1}{y \ln y}, y \in (0;1)$$

В нашому випадку функція щільності ймовірностей $q(y)$ випадкової величини y буде мати наступний вигляд:

$$q(y) = -\frac{1}{y \ln y \sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(-\ln(-\ln y) - m_x)^2}{2\sigma_x^2}} = -\frac{1}{y \ln y \sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(-\ln(-\ln y) + m_x)^2}{2\sigma_x^2}}$$

де m_x – математичне сподівання значень показника якості; σ_x – середнє квадратичне відхилення значень показника якості. Наведемо графік функції щільності ймовірностей $q(y)$ випадкової величини y у випадку, коли параметри мають наступні значення: $m_x = 0,5$; $\sigma_x = 0,16$ (рис. 1).

Наведемо графік функції щільності ймовірностей $q(y)$ випадкової величини y у випадку, коли параметри мають наступні значення: $m_x = 0,45$; $\sigma_x = 0,17$ (рис. 2).

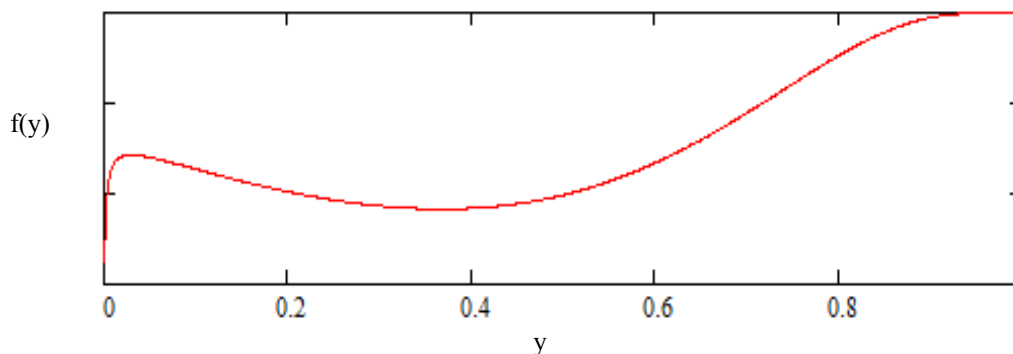


Рис. 1 - Графік функції щільності ймовірностей випадкової величини при параметрах $m_x = 0,5$; $\sigma_x = 0,16$

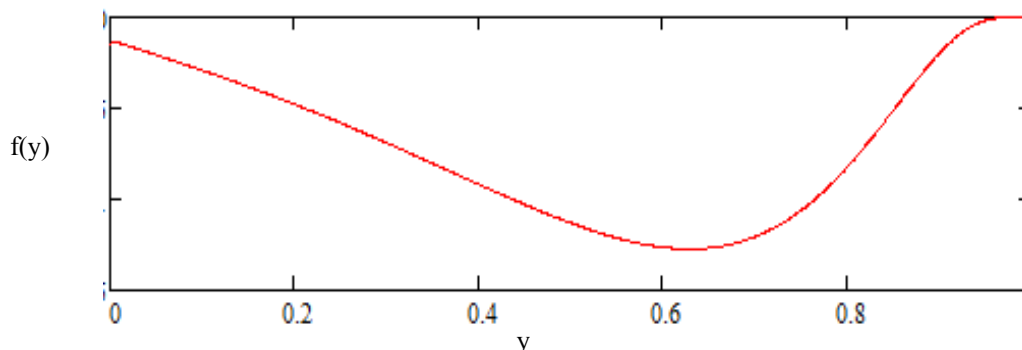


Рис. 2 - Графік функції щільності ймовірностей випадкової величини при параметрах $m_x = 0,45$; $\sigma_x = 0,17$

Якщо відома функція щільності ймовірностей для випадкової величини Y , то можна розв'язати ряд практичних задач, зокрема знайти ймовірність того, що значення випадкової величини Y попадає в деякий проміжок (c, d) :

$$P(c < y < d) = \int_c^d f(y) dy = F(d) - F(c)$$

де $f(y)$ – функція розподілу випадкової величини Y .

Розглянемо деяку практичну задачу - знайдемо ймовірність того, що значення випадкової величини Y попадуть в проміжок $(c; d)$. Для цього необхідно обчислити інтеграл:

$$P(c < y < d) = \int_c^d f(y) dy .$$

В результаті розрахунків отримали результати, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Ймовірності попадання значення випадкової величини y у проміжок $(c - d)$

Інтервал (c - d)	0,1-1	0,2 - 1	0,3 - 1	0,4 - 1	0,5 - 1	0,6 - 1	0,7 - 1	0,8 - 1	0,9 - 1
Ймовірність	0,901	0,621	0,347	0,179	0,069	0,032	0,006	0,002	0,001

Отже, знаючи закон розподілу одиничних показників якості об'єкту кваліметрії та знаючи залежність з їх оцінками на безрозмірній шкалі, можна вирішувати практичні задачі з визначення імовірності попадання оцінок показників якості в заданий інтервал. Вирішення таких задач актуально при визначенні ризиків процесів систем управління якістю, чи визначенні надійності технологічного процесу та інше.

Висновки

Проведено аналіз законодавчих та нормативних вимог щодо оцінювання процесів при виготовленні виробів медичного призначення, який показав, що у міжнародному стандарті щодо вимог до системи управління якістю є ряд вимог, пов'язаних з необхідністю оцінювання процесів системи.

Для оцінювання якості процесів представлено дослідження функцій щільності випадкових величин оцінок показників якості процесів на безрозмірній шкалі та визначення імовірності їх попадання в заданий інтервал оцінювання, що дозволяє вирішувати практичні задачі з визначення імовірності попадання оцінок показників якості в заданий інтервал. Вирішення таких задач актуально при визначенні ризиків процесів систем управління якістю, чи визначенні надійності технологічного процесу, що дозволить ефективно вирішувати практичні завдання, застосовуючи статистичні методи.

Список літератури

1. Технічний регламент щодо медичних виробів. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 2.10.2013 р. № 753.
2. Технічний регламент щодо медичних виробів для діагностики *in vitro*. Затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2013 № 754.
3. **Співак, Н.** Огляд актуальних питань ринку медичних виробів. – 2017. – URL: <https://eba.com.ua/article/review-current-issues-medical-products-market>.
4. ДСТУ EN ISO 13485:2015 Медичні вироби. Система управління якістю. Вимоги до регулювання (EN ISO 13485:2012, IDT; ISO 13485:2003, IDT) [Чинний від 2016-01-01]. Київ, 2015, 87 с.
5. **Трищ, Р. М.** Обобщённая точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС / **Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2006. – №1/2 (19). – С. 63–67.
6. **Trisch, R.** Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises according to international standards of the ISO 9000 series / **R. Trisch, E. Gorbenko, N. Dotsenko, N. Kim, A. Kiporenko** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016.

- №. 4 (3). – С. 18-24. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.75503.
7. **Столярчук, П. Г.** Методи оцінювання систем управління якістю / **П. Г. Столярчук, Р. І. Байцар, А. В. Гунькало** // *Вимірювальна техніка та метрологія : міжвідомчий науково-технічний збірник*. – 2008. – № 68. – С. 244-247.
8. **Трищ, Р. М.** Точечная и интервальная оценки качества изделий / **Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк** // *Вісник НТУ „ХПИ”. Збірник наукових праць*. – 2006. – 27. – С.96-102.
9. **Derringer, G.** Simultaneous Optimization of Several Response Variables / **G. Derringer, R. Suich** // *Journal of Quality technology*. – 1980. – Vol. 12, No 4. – P. 83-89.
10. **Ginevičius, R.** Quantitative assessment of quality management systems' processes / **R. Ginevičius, H. Trishch, V. Petraškevičius** // *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. – 2015. – Vol. 28:1. – P. 1096-1110. – doi: 10.1080/1331677X.2015.1087676.
11. **Brauers, W.** Development of a Methodology of Evaluation of Financial Stability of Commercial Banks / **W. Brauers, R. Ginevičius, A. Podvieszko** // *Panoeconomicus*. – 2014. – Vol. 61(3). – P. 349–367. – doi: 10.2298/PAN1403349B.
12. **Ginevičius, R.** Lithuanian experience of quantitative evaluation of socioeconomic system position by multicriteria methods / **R. Ginevičius, K. Suhajda, J. Šimkūnaitė** // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2014. – Vol. 110. – P. 952–960. – doi: 10.1016/j.sbspro.2013.12.941.
13. **Mizikaci, F.** A systems approach to program evaluation model for quality in higher education / **F. Mizikaci** // *Quality Assurance in Education*. – 2006. – Vol. 14:1. – P. 37-53. – doi: 0.1108/09684880610643601.
14. **Ching-Chow Yang, Bai-Sheng Chen** Key quality performance evaluation using fuzzy AHP // *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*. – 2004. – Vol. 21:6. – P. 543-550. – doi: 10.1080/10170660409509433.
15. **Anastas, J. W.** Quality in Qualitative Evaluation: Issues and Possible Answers / **J. W. Anastas** // *Research on Social Work Practice*. – 2004. – Vol. 14:1. – P. 57–65. – doi: 10.1177/1049731503257870.

References (transliterated)

1. Tekhnichnyy rehlament shchodo medychnykh vyrobiv. Zatverdzheno postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 2.10.2013. № 753.
2. Tekhnichnyy rehlament shchodo medychnykh vyrobiv dlya diahnostryky in vitro. Zatverdzhenny postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 02.10.2013. № 754.
3. **Spivak, N.** Ohlyad aktual'nykh pytan' rynku medychnykh vyrobiv, 2017. Available at: <https://eba.com.ua/article/review-current-issues-medical-products-market>.
4. DSTU EN ISO 13485:2015 Medychni vyroby. Systema upravlinnya yakisty. Vymohy do rehulyuvannya (EN ISO 13485:2012, IDT; ISO 13485:2003, IDT), Kiev, 2015, 87.
5. **Trishch, R. M., Slityuk, E. A.** Obobshchonnaya tochehnaya i interval'naya otsenki kachestva izgotovleniya detali DVS [Generalized point and interval evaluation items ICE workmanship]. *Vostochno-*

- Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]*, 2006, 1/2 (19), 63-67.
6. **Trishch, R., Gorbenko, E., Dotsenko, N., Kim, N., Kiporenko A.** Development of qualimetric approaches to the processes of quality management system at enterprises according to international standards of the ISO 9000 series. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, 4 (3), 18-24, doi: 10.15587/1729-4061.2016.75503.
 7. **Stolyarchuk, P. G., Baitsar, R. I., Gunkalo, A. V.** Metody otsynuyvannya system upravlinnya yakistyu [Methods of evaluation of quality management systems]. *Vumiryuval'na tekhnika ta metrolohiya : mizhvidomchy naukovu-tekhnichnyy zbirnyk [Measurement technology and metrology: interdepartmental scientific and technical collection]*, 2008, 68, 244-247.
 8. **Trishch, R. M., Slityuk, E. A.** Tochechnaya i interval'naya otsenki kachestva izdeliy [Spot and interval evaluation of product quality]. *Visnyk NTU „KHPi”. Zbirnyk naukovykh prais' [Bulletin of the NTU "KhPI". Collection of scientific works]*, 2006, 27, 96-102.
 9. **Derringer, G., Suich, R.** Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality technology*, 1980, 12 (4), 83-89.
 10. **Ginevičius, R., Trishch, H. Petraškevičius, V.** Quantitative assessment of quality management systems' processes. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2015, 28:1, 1096-1110, doi:10.1080/1331677X.2015.1087676
 11. **Brauers, W., Ginevičius, R., Podvieszko, A.** Development of a Methodology of Evaluation of Financial Stability of Commercial Banks. *Panoeconomicus*, 2014, 61(3), 349-367, doi: 10.2298/PAN1403349B.
 12. **Ginevičius, R. Suhajda, K., Šimkūnaitė, J.** Lithuanian experience of quantitative evaluation of socioeconomic system position by multicriteria methods. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2014, 110, 952-960, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.12.941.
 13. **Mizikaci, F.** A systems approach to program evaluation model for quality in higher education. *Quality Assurance in Education*, 2006, 14:1, 37-53, doi: 0.1108/09684880610643601.
 14. **Ching-Chow Yang, Bai-Sheng Chen** Key quality performance evaluation using fuzzy AHP. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 2004, 21:6, 543-550, doi: 10.1080/10170660409509433.
 15. **Anastas, J. W.** Quality in Qualitative Evaluation: Issues and Possible Answers. *Research on Social Work Practice*, 2004, 14(1), 57-65, doi: 10.1177/1049731503257870.

Відомості про авторів (About authors)

Трищ Роман Михайлович – доктор технічних наук, професор, Українська інженерно-педагогічна академія, завідувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-3074-9736; e-mail: trishch_@ukr.net.

Roman Trishch – doctor of technical sciences, professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, head of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification; Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3074-9736; e-mail: trishch_@ukr.net.

Денисенко Андрій Миколайович – Українська інженерно-педагогічна академія, здобувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-3179-2376; e-mail: denisenko-m2012@mail.ru.

Andriy Denysenko – applicant of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3179-2376; e-mail: denisenko-m2012@mail.ru.

Артюх Світлана Миколаївна - кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-0804-6313; e-mail: artyhsn@gmail.com.

Svitlana Artiukh - candidate of technical sciences, docent, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, docent of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification; Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0804-6313; e-mail: artyhsn@gmail.com.

Лис Юлія Станіславівна – кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-7427-6008; e-mail: ysliss1970@gmail.com.

Yuliya Lys – candidate of technical sciences, docent, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, docent of the Department of Labour Safety, Standardization and Certification; Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7427-6008; e-mail: ysliss1970@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Трищ, Р. М. Оцінювання якості процесів при виготовленні виробів медичного призначення / **Р. М. Трищ, А. М. Денисенко, С. М. Артюх, Ю. С. Лис** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 63-69. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.08.

Please cite this article as:

Trishch, R., Denysenko, A., Artiukh, S., Lys, Y. Quality assessment processes in the manufacture of medical devices. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 10 (1335), 63-69, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.08.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Трищ, Р. М. Оценка качества процессов при изготовлении изделий медицинского назначения / **Р. М. Трищ, А. Н. Денисенко, С. Н. Артюх, Ю. С. Лис** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 63-69. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.08.

АННОТАЦИЯ В статье изучаются особенности разработки, внедрения и сертификации систем управления качеством предприятий и организаций, имеющих отношение к проектированию и разработке, производству, хранению и дистрибуции, монтажа и обслуживания медицинских изделий, а также к проектированию, разработке и предоставлению связанных с ними услуг. Законодательством Украины в сфере технических регламентов и оценки соответствия установлено, что все медицинские изделия, находящиеся в обращении на рынке Украины, должны проходить процедуру оценки соответствия и отвечать определенным нормативным требованиям. Кроме того проведен анализ законодательных и нормативных требований, по оценке процессов при изготовлении изделий медицинского назначения, который показал, что в международном стандарте, относительно требований к системе управления качеством является ряд требований, связанных с необходимостью оценки процессов системы. Международный стандарт базируется на процессном подходе к управлению качеством. Для этого организация должна выполнить все принципы, установленные стандартом, среди которых процессный и риск ориентированный подход. Поэтому нужно исследовать возможности применения математических зависимостей для получения статистических закономерностей функционально зависимых безразмерных оценок показателей качества процессов системы управления качеством, что позволит эффективно решать практические задачи, применяя статистические методы. Для оценки качества процессов применяются комплексные показатели качества, которые включают единичные с различными шкалами измерения, поэтому представлено исследование функций плотности случайных величин оценок показателей качества процессов на безразмерной шкале и определения вероятности их попадания в заданный интервал оценки. Зная функцию плотности единичных показателей качества процесса и зная зависимость от их оценок на безразмерной шкале, можно решать практические задачи по определению вероятности попадания оценок показателей качества в заданный интервал. Решение таких задач актуально при определении рисков процессов систем менеджмента качества или определении надежности технологического процесса и прочее.

Ключевые слова: медицинские изделия; функция распределения случайной величины; математическая зависимость; показатели качества процессов; функция плотности; безразмерная шкала.

Поступила (received) 02.05.2019

УДК 65.012.3:316.422

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.09

КОМПАКТНІСТЬ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛІННЯ ЯК МІРА ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

I. I. СТАНОВСЬКА

кафедра вищої математики та моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА
e-mail: stanovskairaida@gmail.com

АНОТАЦІЯ Ефективність виробництва, в тому числі, проектного менеджменту у великій мірі залежить від компактності елементарних робіт які виконуються: вони повинні починатися і закінчуватися таким чином, щоб на протязі всього проекту не створювалося та не залишалося «чорних плям» – бездіяльність спеціалізованих груп та окремих виконавців, простоювання обладнання та одиниць транспорту, зберігання матеріальних ресурсів, які наразі не використовуються, запаси зайвих грошей на рахунках, які знадобляться значно пізніше, тощо. Метою роботи було підвищення ефективності проектного та технологічного управління за рахунок розробки та імплементації нового методу оцінювання останньої шляхом оцінювання компактності заповнення параметрами елементів проектної діяльності загального об'єму проекту. Для розрахунку значення компактності потрібна таблична інформація про значення усіх параметрів проекту на границях ітерацій вздовж напрямку розширення проектного менеджменту. Далі інформація розбивається на окремі канали (за кількістю параметрів проектного менеджменту, що враховуються системою оцінки). В кожному каналі інформація відомими методами апроксимується в багатовимірний інтеграл, далі – в степеневий многочлен. Застосовуючи до многочлена багатовимірні перерізи на границях ітерацій, отримуємо множину перетинів, які містять «чорні плями» в тих місцях, де проектна діяльність з деяких причин не провадиться. Розраховуючи співвідношення суми площин «чорних плям» до суми площин перетинів, отримуємо коефіцієнт компактності робіт. Виконано комп'ютерну симуляцію проектної діяльності. Показано, як контроль компактності процесу дозволяє зменшити час та кошторис проекту. Коефіцієнт компактності може використовуватися при плануванні проектних робіт для порівняння та вибору варіантів, а також при корегуванні проектного управління. В приватному акціонерному товаристві «Одескабель» були проведені випробування системи підтримки рішень в проактивному управлінні реконструкцією виробництва «REPROD» (Reconstruction of Production projects) при плануванні та управлінні проектом розвитку складних систем із позитивним економічним ефектом.

Ключові слова: компактність динамічної моделі; розширення проектного управління; інтерпретація поліномом; міра ефективності

THE COMPATIBILITY OF PROJECT MANAGEMENT DYNAMIC MODEL AS A MEASURE OF ITS EFFICIENCY

I. I. STANOVSKA

Department of Higher Mathematics and Systems Modeling, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT The production effectiveness, including project management, to a large extent depends of the elementary work compactness being carried out: they must begin and end in such a way that throughout the project no black spots are created and left-inactivity of the specialized groups and individual performers, idle equipment and units of transport, storage of material resources that are not currently in use, stocks of excessive money on accounts that will be required much later, and so on. The purpose of the work was to increase the project and technological management efficiency by developing and implementing a new method for evaluating the latter by assessing the compactness of filling with the parameters of the project activity of the total project volume. To calculate the compactness value, you need tabular information about the value of all project parameters on the boundaries iterations along the direction of project management extension. The following information is split into separate channels (by the number of project management parameters taken into account by the rating system). In each channel, the information is approximated by known methods to a multidimensional integral, then to a power polynomial. Applying the polynomial to multi-dimensional sections on the boundaries of iterations, we obtain section pluralities that contain "black spots" in those places where the project activity for some reason is not carried out. Calculating the ratio of the sum of the planes of "black spots" to the sum of sections, we obtain the compactness works coefficient. Computer simulation of the project activity is executed. It is shown how controlling the compactness of the process can reduce the time and cost of the project. The compactness factor can be used when planning design work for comparison and selection of options, as well as when adjusting project management. In the private joint-stock company "Odeskabel", tests were conducted to support decision-making in the proactive management of the production in planning reconstruction and managing the project of complex systems "REPROD" (Reconstruction of Production projects) development with a positive economic effect.

Keywords: the dynamic model of compactness; the project management expansion; polynomial interpretation; effectiveness measure

Вступ

Багатофакторна проектна діяльність, навіть якщо виконується за ретельно проробленим планом

як правило швидко «розширюється» – з'являються нові параметри, зростає діапазон зміни існуючих. Менеджер такої діяльності, який вимушений враховувати усі внутрішні та зовнішні виклики,

обов'язково від такого плану активно відступає, адже обладнання руйнується, люди хворіють та звільнюються, коштів та часу не вистачає, постачання ресурсів дає збої, порушення законів та інструкцій змінюють структуру взаємовідносин у колективі виконавців, тощо.

Кожна з таких подій саме й призводить до «розширення» проекту, з одного боку, та виникненню «чорних плям» у проекті, – з іншого. До чорних плям віднесемо «мертві» ділянки моделі проекту, в об'єкті – це кинуті виробничі площі, земельні ділянки та матеріали, залишки обладнання, різного роду недобудови, невиконані договори із підрядчиками та зацікавленими сторонами, «мертві» гроші, тощо.

Не останню роль у виникненні «чорних плям» відіграють некомпетентні виконавці, які спроможні зруйнувати найкраще підібрані ідеї та побудовані плани проектів та програм [1].

Для зменшення таких ефектів існує багато стратегій. Прикладом тут може служити японська система для контролю логістичного ланцюга з точки зору виробництва *Kanban* [2]. *Kanban* став ефективним інструментом в управлінні системою виробництва у цілому. Однією з переваг *Kanban* є встановлення верхньої межі на кількість деталей, що очікують опрацювання, й уникнення таким чином перевантаження системи виробництва.

Але будь-яка, навіть найдосконаліша система не може ефективно працювати без метрологічної підтримки – методу вимірювання «втрачених» ресурсів: часу, коштів, тощо. Особливо актуальний такий підхід в проектному менеджменті, який відрізняється багатофакторністю, великою кількістю різнопланових важковимірюваних пов'язаних між собою параметрів, і таке інше.

Мета роботи

Метою роботи є підвищення ефективності проектного та технологічного управління за рахунок розробки та імплементації експрес-методу розрахунку останнього шляхом комплексного оцінювання компактності заповнення параметрами елементів проектної діяльності загального об'єму проекту.

Викладення основного матеріалу

1. Постановка проблеми та нова модель РМ.

Розвиток теорії і практики проектного управління починається з обґрунтування закону ініціації проектів, – першого етапу будь-якої проектної діяльності [3]. Адже саме на цьому ранішньому етапі намагаються передбачити життєздатність проекту, оцінюючи обґрунтування інвестицій на основі вихідних даних, номенклатури продукції, потужності підприємства, основних технологічних рішень, забезпечення підприємства ресурсами, місця його розташування, основних будівельних рішень, оцінки впливу на навколишнє середовище, а також інформації щодо кадрів та

соціального розвитку, ефективності інвестицій [4].

Цей етап під керівництвом замовника (інвестора) виконують проектна та консультативна організації. Його результат – оцінка життєздатності варіантів проекту, висновки за матеріалами обґрунтувань і документи для прийняття попереднього інвестиційного рішення.

Базою для порівняння за наявності як альтернативного, так і єдиного варіанта проекту беруть ситуацію «без проекту». Це означає, що показники проекту реконструкції підприємства порівнюють з показниками діючого підприємства, у разі будівництва нового підприємства проект порівнюється із ситуацією «без будівництва нового підприємства».

Життєздатність проекту аналізують і оцінюють у два етапи:

– з альтернативних варіантів проекту вибирають життєздатніший;

– щодо вибраного варіанту аналізують методи фінансування та структуру інвестицій, які забезпечать максимальну життєздатність проекту.

Таким чином, на перший план виходять методи порівняння того, чого ще нема, адже на етапі ініціації виконання проекту ще не розпочалося. Залишаються прогностичні моделі, від точності та адекватності яких суттєво залежить успіх всього проекту та якості його продукту. Це особливо відповідально у випадку ініціалізації проектів, пов'язаних із небезпечним середовищем, наприклад, АЕС [5] або енергетичними суперсистемами [6].

Для порівняння будь-чого необхідно вміти вимірювати або хоча б приблизно оцінювати головні параметри варіантів. Заради цього постійно розробляються нові методи оцінки проектів і програм [7].

У той же час процеси проектного менеджменту (РМ) настільки складні та багатофакторні, а їхні основні закони носять настільки когнітивний характер [8], що вони не можуть бути описані «простими» моделями, як це робиться, наприклад в механіці. Тому фахівці в цій області все частіше застосовують для оцінки таких процесів складні інтегральні параметри, такі як ентропія, тощо [9]. В нашій роботі для опису розвитку процесів РМ використовуються моделі космогонічної теорії.

Обравши таку аналогію, визначимо, що в результаті цілеполагання та планування проектної діяльності до початку останньої з'являється її Протомодель – перша «редакція» динамічної багатовимірної морфологічної моделі. З початком РМ відбувається Великий вибух Протомоделі [10], який призводить до її розширення за кожним параметром окремо (рис. 1).

Головною різницею динаміки розвитку моделі Великого вибуху є те, що її розширення суттєво відрізняється від «звичайного» вибуху тим, що кожний елемент моделі починає рухатися на кожній ітерації від точки на початку цієї ітерації як від нового центру – вторинної Протомоделі.

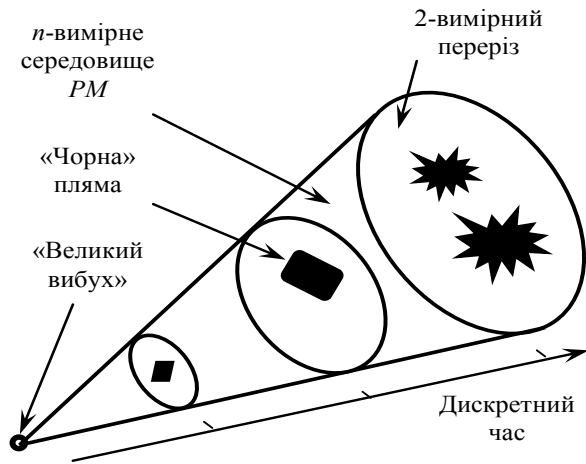


Рис. 1 – Космогонічна динамічна модель розвитку одного з векторів проектного управління після «Великого вибуху»

У результаті, наприклад, сумарний рух за 6 перших ітерацій Вибуху або його фазова траєкторія [11] буде дорівнювати вектору R_{1-6} , який є векторною сумою усіх проміжних векторів (рис. 2):

$$R_{1-6} = a_i + \dots + a_{ijklmn}. \quad (1)$$

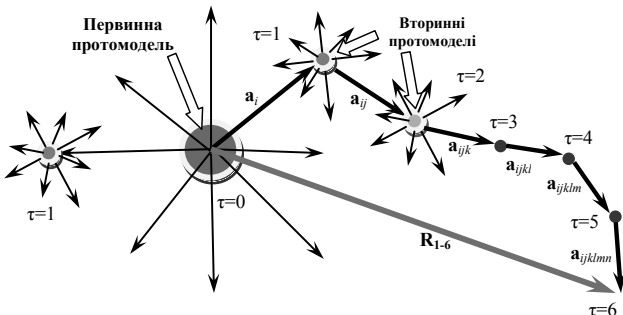


Рис. 2 – Динаміка Великого вибуху – приклад розвитку шести перших ітерацій

Пропонований метод вимірювання передбачає збирання та збереження інформації про хід процесу наприкінці кожної ітерації моделювання. Якщо «чорна пляма» вже давно позаду, інформація про неї зберігається в моделі до повного завершення проекту і тим самим збільшує загальний адаптивний коефіцієнт компактності останнього.

2. Перехід до комплексної моделі PM.

Як згадувалося вище, параметри PM є вкрай різнофакторними (кошти, люди, ресурси, зв'язки, тощо). Тому в роботі було запропоновано розпаралелювати модель розвитку проектного управління після «Великого вибуху», тобто будувати останню як комплексну, яка складається з кількох підмоделей типу наведених на рис. 1.

Далі розглянемо послідовність перетворень інформації в кожному з каналів комплексної моделі окремо.

Визначення «критичних точок» на кожній ітерації моделювання. Після кожної ітерації моделювання визначаються «критичні точки», тобто найбільше та найменше значення кожного параметра, що моделюється: $x_{i \max}, x_{i \min}$.

Апроксимація точок за допомогою багатовимірних інтегралів. Для областей загального вигляду, які характеризуються нерівностями $x_1^0 \leq x_1 \leq X_1, x_2^0(x_1) \leq x_2 \leq X_2(x_1), \dots, x_n^0(x_1, \dots, x_{n-1}) \leq x_n \leq X_n(x_1, \dots, x_{n-1})$, застосовна формула [12]:

$$I_i = \int_{x_1^0}^{X_1} dx_1 \int_{x_2^0(x_1)}^{X_2(x_1)} dx_2 \dots \int_{x_n^0(x_1, \dots, x_{n-1})}^{X_n(x_1, \dots, x_{n-1})} f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_n. \quad (2)$$

Розкладання інтеграла на многочлени. Інтеграл (2) може бути розкладений [13, 14] на кілька степеневих рядів (каналів майбутньої обробки) для параметрів x_1, \dots, x_n , які мають наступний загальний вигляд:

$$\begin{aligned} I_{1i} &\approx a_{11i} x_1^s + a_{12i} x_1^{(s-1)} + \dots + a_{1(s+1)i} x_1 + a_{1(s+2)i}; \\ I_{2i} &\approx a_{21i} x_1^s + a_{22i} x_1^{(s-1)} + \dots + a_{2(s+1)i} x_1 + a_{2(s+2)i}; \\ &\dots \\ I_{ni} &\approx a_{n1i} x_1^s + a_{n2i} x_1^{(s-1)} + \dots + a_{n(s+1)i} x_1 + a_{n(s+2)i}. \end{aligned} \quad (3)$$

Вираз (3) є моделлю розширення проектного менеджменту за всіма параметрами, які враховує вираз (2).

Визначення перерізів. Будь який $(n - m)$ -вимірний переріз n -вимірної моделі проектного менеджменту, де m – розмірність «площини», яка здійснює переріз, $(m < n)$, буде відбивати її статус на поточний момент часу. Оскільки подальша обробка інформації передбачає роботу із перерізами у вигляді двовимірних «зображень», необхідно дотримуватися співвідношення:

$$n - m = 2, \quad (4)$$

Серед змінних, які входять до системи (3) знаходять дві, які входять до кожного співвідношення, наприклад, час та кошти, та видаляють їх з (3):

$$\begin{aligned} Z_{1i} &= b_{11} x_1^{(s-2)} + b_{12i} x_1^{(s-3)} + \dots + b_{1(s-1)i} x_1 + b_{1(s-2)i}; \\ Z_{2i} &= b_{21} x_1^{(s-2)} + b_{22i} x_1^{(s-3)} + \dots + b_{2(s-1)i} x_1 + b_{2(s-2)i}; \end{aligned} \quad (5)$$

$$Z_{ni} = b_{n1} x_1^{(s-2)} + b_{n2i} x_1^{(s-3)} + \dots + b_{n(s-1)i} x_1 + b_{n(s-2)i}.$$

Далі діленням n -вимірних многочленів усіх моделей (3) на m -вимірний многочлен «площини» (5), які перерізають, отримуємо n двовимірних перерізів n -вимірної моделі проектного менеджменту.

Під m -вимірною «площиною» в n -вимірному афінному просторі, таким чином, розуміли m -вимірний афінний простір, тобто «площину» евклідового простору перерізу, який сам є евклідовим

простором, але з меншою кількістю вимірювань [15]. Зазначимо, що множина конкретних параметрів перерізу P_e повністю належить множині конкретних параметрів досліджуваного простору P_r :

$$P_e \in P_r, \quad (6)$$

Аналіз та обробка отриманих перерізів. На дискретній за часом моделі можливо виконати кілька таких перерізів по кожному каналу. Це схоже на томографію – отримання пошарових зображень внутрішньої структури об’єкта. Їхній набір саме й буде проміжною дискретною моделлю життєвого циклу проектного менеджменту.

У такий переріз можуть потрапляти, окрім параметрів основної водоспадної технології, також й паралельні AGILE-технології, а також «чорні плями» які моделюють «відмирання» відпрацьованих поточних та минулих фрагментів PM на шляху до завершення проекту (рис. 3).

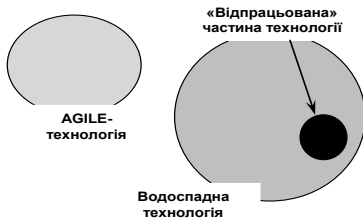


Рис. 3 – Переріз моделі проектного управління

Двовимірний переріз має статус «зображення», до якого застосовні усі види обробки останніх, зокрема, первинна обробка та сегментація, виділення та опис контурів сегментів, аналіз «зображень», заснований, наприклад, на використанні спектральних дескрипторів в різних ортогональних базисах, а також апарату моментних функцій [16]. Певні зображення можна перетворювати в число або в інші згортки, які можна оцінювати та порівнювати між собою за цією оцінкою [17,18].

Повна динамічна морфологічна модель проектного управління складається з усіх елементарних моделей окремих перерізів по усіх вузлах дискретизації об’єкта PM .

У роботі елементарні моделі як зорові образи попікскельно підсумовували (рис. 4), а результат використовували для розрахунку коефіцієнту компактності для кожного p -го каналу за формулою:

$$K = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{S_{xi}}{S_{ni}}, \quad (7)$$

де S_{ni} – загальна площа підсумкового зображення; S_{xi} – загальна площа відпрацьованої частини i -го перерізу.

Гіпотеза: компактність K є мірою ефективності УП, оскільки величина S_{xi} є мірою невідновлених втрат, які при ефективному плануванні та керівництві можна було б запобігти взагалі або, принаймні, суттєво зменшити.

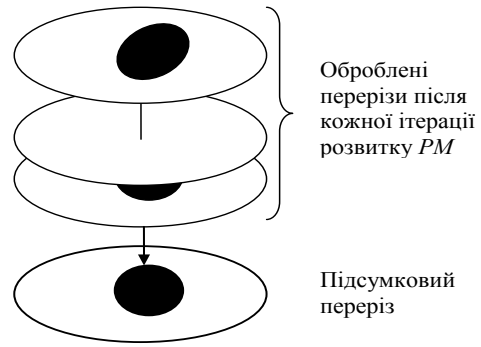


Рис. 4 – Схема одержання підсумкового перерізу

Згідно із (7) коефіцієнт компактності безрозмірний, а отже він може використовуватися в якості критерію ефективності варіантів проектного плану. Його значення завжди знаходиться в діапазоні $0 \leq K \leq 1$. В «нульовому» проекті невинуватих втрат немає, і в цьому сенсі він ідеальний. Значення $K = 1$ відповідає проекту, який зупинився.

3. Підсистема комп’ютерної підтримки прийняття проектних рішень «REPROD» та її практичні випробування

На підставі проведених досліджень розроблено схему підсистеми комп’ютерної підтримки прийняття проектних рішень в плануванні і виконанні проектного управління «REPROD» (*Reconstruction of Production projects*), схема якої наведена на рис. 5.

В її основі – розширена база даних, в яких накопичується вся поітераційна інформація про процес.

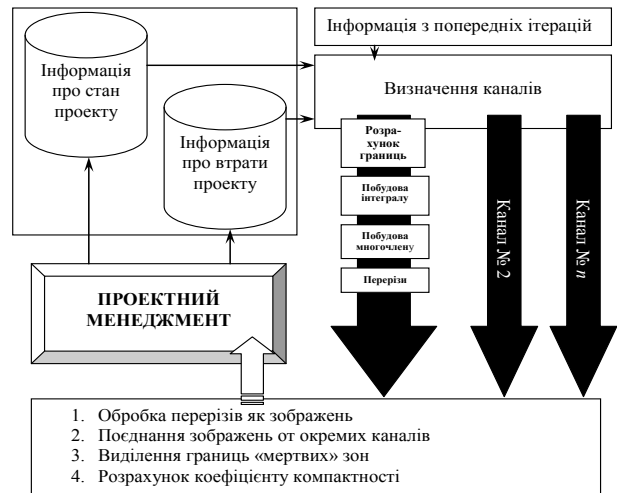


Рис. 5 – Схема підсистеми комп’ютерної підтримки прийняття проектних рішень в плануванні і виконанні проектного управління «REPROD»

За допомогою системи «REPROD» виконано комп’ютерну симуляцію проектної діяльності. Показано, як змога контролювати компактність процесу дозволяє зменшити час та кошторис проекту (рис. 6).



Рис. 6 – Зростання коефіцієнту компактності протягом проектного управління як модель зниження ефективності проекту

Це дає право стверджувати, що коефіцієнт компактності може використовуватися при плануванні проектних робіт для порівняння та вибору варіантів, а також при корегуванні проектного управління під час виконання останнього.

У приватному акціонерному товаристві «Одескабель» були проведені випробування системи підтримки рішень в проактивному управлінні реконструкцією виробництва «REPROD» при плануванні та управлінні проектом розвитку складних систем із позитивним економічним ефектом.

Обговорення результатів

Будь-яке управління безпосередньо пов'язане або із прогнозуванням результату втручання в керований об'єкт або з можливістю постійного контролю таких результатів для організації замкненого контуру.

Проблема в тому, що управління проектами або програмами має настільки складну і малопередбачувану в багатьох областях структуру, що саме низькі ймовірність прогнозування та точність вимірювання стають непереборною перешкодою на шляху прийняття ефективних проектних рішень протягом всього проектного управління.

В роботі запропоновано новий метод вимірювання безпосередньо ефективності проектного менеджменту. Для цього останній розглядається в якості організаційно-технічного об'єкта протягом життєвого циклу якого відбуваються негативні зміни, що залишають так звані «чорні плями» – зони втрат в багатовимірному просторі існування моделі такого об'єкта.

При цьому компактність об'єкта (співвідношення об'єму об'єкта в цілому і сумарного об'єму «чорних плям») в якості безрозмірного функціоналу, може служити критерієм ефективності проектного управління як в цілому, так і по окремих функціональних областях.

Позитивні результати комп'ютерної симуляції

та виробничих випробувань свідчать про ефективність та перспективність нового методу.

Висновки

Процеси проектного менеджменту настільки складні та багатofакторні, що вони не можуть бути описані «простими» моделями, як це робиться, наприклад в механіці. В роботі для опису розвитку процесів *PM* використовуються моделі космогонічної теорії «Великого вибуху».

Побудовано комплексну модель *PM* параметри якої є вкрай різнофакторними (кошти, люди, ресурси, зв'язки, тощо). Тому в роботі було запропоновано розпаралелювати модель розвитку проектного управління після «Великого вибуху» по групах параметрів різних функціональних областей, тобто будувати цю модель як комплексну, яка складається з кількох підмоделей. Моделювання полягає у визначенні «критичних точок» на кожній ітерації моделювання; апроксимації точок за допомогою багатовимірних інтегралів; розкладанні інтегралів на многочлени; визначенні перерізів і, нарешті, аналіз та обробці отриманих перерізів із подальшим перерахунком в коефіцієнт компактності.

Розроблено схему підсистеми комп'ютерної підтримки прийняття проектних рішень в плануванні і виконанні проектного управління «REPROD» (*Reconstruction of Production projects*) За допомогою системи «REPROD» виконано комп'ютерну симуляцію проектної діяльності. Показано, як змога контролювати компактність процесу дозволяє зменшити час та кошторис проекту. Це дає право стверджувати, що коефіцієнт компактності може використовуватися при плануванні проектних робіт для порівняння та вибору варіантів, а також при корегуванні проектного управління під час виконання останнього.

У ПАТ «Одескабель» були проведені випробування системи підтримки рішень в проактивному управлінні реконструкцією виробництва при плануванні та управлінні проектом розвитку складних систем із позитивним економічним ефектом.

Список літератури

1. Бушуев, С. Д. Основы индивидуальных компетенций для Управления Проектами, Программами и Портфелями. Том 1. Управление проектами / С. Д. Бушуев, Д. А. Бушуев. – К.: Саммит-Книга, 2017. – 178 с.
2. Anderson, D. Kanban: Successful Evolutionary Change for your Technology Business. – Blue Hole Press, 2010. – 278p.
3. Колеснікова, К. В. Развитие теории проектного управления: Обоснование закона инициации проектов / К. В. Колеснікова // *Управління розвитком складних систем*. – 2014. – 17. – С. 24-30.
4. Ініціація проекту. URL: <https://helpiks.org/1-117209.html> (дата звернення 02.04.2019).
5. Савельєва, О. С. Управління програмою

супроводження систем аварійного захисту АЕС / **О. С. Савельєва, І. І. Становська, Е. В. Бібик, К. І. Березовська** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Процессы управления.* – Харьков. – 2016. – № 2/3 (80). – С. 49-56. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.65641.

6. **Савельєва, О. С.** Разработка термодинамической критериальной поддержки когнитивных моделей переноса в управлении проектами и программами / **О. С. Савельєва, И. И. Становская, А. В. Торopenko, И. Н. Щедров, Е. И. Березовская** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии.* – Харьков. – 2015. – № 6/3(78). – С. 53-59. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.55714.
7. **Олех, Т. М.** Методы оценки проектов и программ / **Т. М. Олех, А. Г. Оборская, Е. В. Колесникова** // *Труды Одесского политехнического университета.* – 2012. – Вып. 2(39). – С. 213-220.
8. **Гогунский, В. Д.** Основные законы проектного менеджмента / **В. Д. Гогунский, С. В. Руденко** // *IV міжнародна конференція «Управління проектами: стан та перспективи».* – Миколаїв: НУК, 2008. – С. 37-40.
9. **Bushuyev, S. D.** Entropy measurement as a project control tool / **S. D. Bushuyev, S. V Sochnev** // *International journal of project management.* – 1999. – 17. – №. 6. – P. 343-350.
10. **Становська, І. І.** Стратифікація індивідуальних компетенцій з метою побудови динамічних морфологічних моделей проектного управління / **І. І. Становська, К. В. Колеснікова** // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».* – 2019. – № 1 (1326). – С. 30-36. – doi: 10.20998/2413-3000.2019.1326.5.
11. Фазовая траектория. URL: http://femto.com.ua/articles/part_2/4260.html (дата обращения 31.03.2019).
12. **Кветний, Р. Н.** Багатовимірна поліноміальна апроксимація залежностей заданих масивами інтервальних даних за методом найменших квадратів / **Р. Н. Кветний, О. Р. Бойко, Т. О. Степова** // *Вісник Вінницького політехнічного інституту.* – 2011. – № 3. – С. 103-106.
13. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 3. Гл. XVIII. Тройные и многократные интегралы. – С. 388-389. URL: http://edu.alnam.ru/book_f_math3.php?id=131 (дата обращения 31.03.2019).
14. **Шарый, С. П.** Интервальные алгебраические задачи / **С. П. Шарый.** – Новосибирск: XYZ, 2005. – 680 с.
15. **Троицкий, Е. В.** Дифференциальная геометрия и топология / **Е. В. Троицкий.** – М.: МГУ, 2003. – 52 с.
16. **Садыхов, Р. Х.** Обработка изображений и идентификация объектов в системах технического зрения / **Р. Х. Садыхов, А. А. Дудкин** // *Штучний інтелект.* – 2006. – № 3. – С. 694 – 703.
17. **Stanovskyi, An.** Methods of converting multidimensional measuring information to a number by means of differential equations in partial derivatives / **An. Stanovskyi, O. Schmaraev, I. Prokopovich, P. Shvets, V. Bondarenko** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии.* – Харьков. – 2015. – № 4/4(74). – С. 56-62. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.47581.
18. **Nesterenko, S.** Transformation of the structure of complex technical systems with partially unusable elements to the visual image / **S. Nesterenko, An. Stanovskyi, A. Toropenko, P. Shvets** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии.* – Харьков. – 2015. – № 5/3 (77). – С. 30-35. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.51186.

References (transliterated)

1. **Bushuyev, S. D., Bushuyev, D. A.** Osnovy individual'nykh kompetentsiy dlya Upravleniya Proyektami, Programmami i Portfelyami. Upravleniye proyektami. Kiev, Sammit-Kniga, 2017, 1, 178.
2. **Anderson, D.** Kanban: Successful Evolutionary Change for your Technology Business. Blue Hole Press, 2010, 278.
3. **Kolesnikova, K. V.** Rozvitok teoriiy proektnogo upravlinnya: Obgruntuvannya zakonu iniciaciyi proektiv [Development of the theory of project management: Substantiation of the law of initiation of projects] *Upravlinnya rozvitkom skladnih system [Managing the development of complex systems]*, 2014, 17, 24-30.
4. Iniciaciya proektu [Initiation of the project]. Available at: <https://helpiks.org/1-117209.html> (02.04.2019).
5. **Savelyeva, O. S., Stanovska, I. I., Bibik, T. V., Berezovska, K. I.** Upravlinnya prohramoyu suprovodzhennya system avariynoho zakhystu AES [Management of the program of maintenance of emergency protection systems of the NPP]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information technology [East European Journal of Advanced Technology. Management processes]*, 2016, 2/3 (80), 49-56, doi: 10.15587/1729-4061.2016.65641.
6. **Saveleva, O. S., Stanovskaya, I. I., Toropenko, A. V., Shedrov, I. N., Berezovskaya, E. I.** Razrabotka termodinamicheskoy kriterial'noy podderzhki kognitivnykh modeley perenosa v upravlenii proyektami i programmami [Development of thermodynamic criterial support for cognitive transfer models in project and program management]. *Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. Informatsionnyye tekhnologii [East European Journal of Advanced Technology. Information Technology]*, Khar'kov, 2015, 6/3(78), 53-59, doi: 10.15587/1729-4061.2015.55714.
7. **Oleh, T. M., Oborskaya, A. G., Kolesnikova, E. V.** Metodyi otsenki proektov i program [Project and program evaluation methods]. *Trudyi Odesskogo politehnicheskogo universitetata [Proceedings of the Odessa Polytechnic University]*, 2012, 2 (39), 213-220.
8. **Gogunskiy, V. D., Rudenko, S. V.** Osnovnyie zakonyi proektnogo menedzhmenta. *IV mizhnarodna konferenciya «Upravlinnya proektami: stan ta perspektivi».* Mikolayiv: NUK, 2008, 37-40.
9. **Bushuyev, S. D., Sochnev, S. V.** Entropy measurement as a project control tool. *International journal of project management*, 1999, 17, 6, 343-350.
10. **Stanovska, I. I., Kolesnikova, K. V.** Stratification of individual competencies for the purpose of constructing dynamic morphological models of project management. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*, 2019, 1 (1326), 30-36, doi: 10.20998/2413-3000.2019.1326.5.
11. Fazovaya trayektoriya [Phase trajectory]. Available at: http://femto.com.ua/articles/part_2/4260.html.
12. **Kvyetnij, R. N., Bojko, O. R., Stepova, T. O.** Bagatovimirna polinomialna aproksimaciya zalezhnostej zadanih masivami intervalnih danih za metodom najmenshih kvadratov. *Visnik Vinnickogo politehnichnogo institute*, 2011, 3, 103-106.
13. Kurs differencialnogo i integralnogo ischisleniya [Course of differential and integral calculus]. T. 3, gl. XVIII, Trojnye i mnogokratne integraly, 388-389. Available at: http://edu.alnam.ru/book_f_math3.php?id=131.
14. **Sharyj, S. P.** Intervalnye algebraicheskie zadachi [Interval Algebraic Problems]. Novosibirsk: XYZ, 2005, 680.

15. Troickij, E. V. *Differencialnaya geometriya i topologiya* [Differential geometry and topology]. M.: MGU, 2003, 52.
16. Sadyhov, R. H., Dudkin, A. A. *Obrabotka izobrazhenij i identifikaciya obektov v sistemah tehničeskogo zreniya* [Image processing and identification of objects in vision systems]. *Shtuchnij intelekt [Artificial Intelligence]*, 2006, 3, 694-703.
17. Stanovskiy, An., Schmarayev, O., Prokopovich, I., Shvets, P., Bondarenko, V. *Methods of converting multidimensional measuring information to a number by means of differential equations in partial derivatives. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information technology*, 2015, 4/4(74), 56-62. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47581.
18. Nesterenko, S., Stanovskiy, An., Toropenko, A., Shvets, P. *Transformation of the structure of complex technical systems with partially unusable elements to the visual image. Vostochno-yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. Informatsionnyye tekhnologii [East European Journal of Advanced Technology. Information Technology]*. Kharkov, 2015, 5/3 (77), 30-35, doi: 10.15587/1729-4061.2015.51186.

Сведения об авторе (About author)

Становська Іраїда Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем; м. Одеса, Україна; ORCID: 0000-0003-0601-7658; e-mail: stanovskairaida@gmail.com.

Iraida Stanovska – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Odessa national polytechnic university, associate professor of the department of higher mathematics and systems modeling, Odessa, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0601-7658; e-mail: stanovskairaida@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Становська, І. І. Компактність динамічної моделі розвитку проектного управління як міра його ефективності / **І. І. Становська** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 70-76. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.09.

Please cite this article as:

Stanovska, I. I. The compatibility of project management dynamic model as a measure of its efficiency. *Bulletin of NTU "KhPI" Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, "10" (1335), "92–98," doi:10.20998/2413-4295.2019.10.09.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Становская, И. И. Компактность динамической модели развития проектного управления как степень его эффективности / **И. И. Становская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 70-76. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.09.

АННОТАЦИЯ Эффективность производства, в том числе, проектного менеджмента, в большой степени зависит от компактности элементарных выполняемых работ. Эти работы должны начинаться и заканчиваться таким образом, чтобы на протяжении всего проекта не создавалось и не оставалось «черных пятен» – бездействия специализированных групп и отдельных исполнителей, простоя оборудования и единиц транспорта, хранения материальных ресурсов, которые не используются, запасов лишних денег на счетах, которые понадобятся значительно позже, и тому подобное. Целью работы было повышение эффективности проектного и технологического управления за счет разработки и имплементации нового метода оценки последней путем оценки компактности заполнения параметрами элементов проектной деятельности общего объема проекта. Для расчета значения компактности нужна табличная информация о значении всех параметров проекта на границах итераций вдоль направления расширения проектного менеджмента. Далее информация разбивается на отдельные каналы (по количеству параметров проектного менеджмента, учитываемых системой оценки). В каждом канале информация известными методами аппроксимируется в многомерный интеграл, далее – в степенной многочлен. Применяя к многочлену многомерные разрезы на границах итераций, получаем множество сечений, содержащих «черные пятна» в тех местах, где проектная деятельность по некоторым причинам не производится. Рассчитывая соотношение суммы площадей «черных пятен» к сумме площадей сечений, получаем коэффициент компактности работ. Выполнено компьютерную симуляцию проектной деятельности. Показано, как контроль компактности процесса позволяет уменьшить время и стоимость проекта. Коэффициент компактности может использоваться при планировании проектных работ для сравнения и выбора вариантов, а также при корректировке проектного управления. В частном акционерном обществе «Одескабель» были проведены испытания системы поддержки решений в проактивном управлении реконструкцией производства при планировании и управлении проектом развития сложных систем «REPROD» (Reconstruction of Production projects) с положительным экономическим эффектом.

Ключевые слова: компактность динамической модели; расширение проектного управления; интерпретация полиномом; мера эффективности

Надійшла (received) 09.04.2019

УДК 629.5.083.5

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.10

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОРЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ю. К. ЯГЛИЦЬКИЙ

Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, УКРАЇНА
e-mail: yahlytskyiyurii@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуті особливості судноремонтного виробництва, які обумовлюють певні складнощі управління виробничим процесом. Показано, що перехід від функціонального управління до орієнтації на процеси розглядає діяльність судноремонтного підприємства як виконання взаємопов'язаних бізнес-процесів у вигляді узагальненого логістичного потоку робіт, до якого входять матеріальні, інформаційні й фінансові потоки, а оптимальне поєднання функціонального й процесного підходів в управлінні підприємством та організації підготовки виробництва є «золотою серединою». Досліджена функціональна модель управління, яка дає можливість цілеспрямовано перетворювати матеріальні, інформаційні й фінансові потоки судноремонтного підприємства для отримання необхідного результату. Рекомендовано для узгодження інформаційних потоків підприємства ввести в систему управління вузлову функціональну одиницю - планово-диспетчерський відділ. Показано, що для розгляду діяльності судноремонтного підприємства як системи взаємопов'язаних бізнес-процесів, орієнтованих на ремонт судна, можна застосовувати методику управління бізнес-процесами на основі циклу PDCA, що дозволить отримувати інтегровані рішення, які пов'язують технічні й економічні завдання судноремонту у єдиний комплекс. Доведено, що оптимальна організація підготовки виробництва та удосконалення існуючих бізнес-процесів судноремонтного виробництва на новому технологічному рівні потребує застосування сучасних інформаційних технологій для створення моделі взаємопов'язаних бізнес-процесів, орієнтованих на отримання конструкторської та технологічної документації для ремонту судна. Запропоновано для моделювання таких систем застосовувати методології сімейства IDEF, що дозволить виконати аналіз діяльності підприємства та створити регламенти на технології управління та виконання бізнес-процесів для підвищення ефективності роботи персоналу і всього підприємства в цілому.

Ключові слова: судноремонтне виробництво; функціональне управління; бізнес-процес; інформаційні потоки та технології; моделювання

IMPROVEMENT OF MANAGEMENT AND DESIGN AND TECHNOLOGY PREPARATION OF SHIP REPAIR PRODUCTION USING INFORMATION TECHNOLOGIES

Yu. YAHLYTSKYI

Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, UKRAINE

ABSTRACT The study considers special features of ship repair production which complicate management of the production process. Under the transition from functional management to process orientation, we regard activities of a ship repair company as interrelated business processes in the form of a generalized logistics workflow comprising material, information and financial flows. An efficient combination of the functional and process approaches in enterprise management and organization of production preparation appears to be the "golden mean". The functional model of management enables a purposeful transformation of the material, information and financial flows of a ship repair company with the aim of obtaining the desired result. It is recommended to introduce a new functional unit, the planning and dispatch department, into the management system for coordination of information flows of the enterprise. Activities of a ship repair company can be regarded as a system of interrelated ship repair oriented business processes when applying a business process management method based on the PDCA cycle. It will allow obtaining comprehensive solutions to the technical and economic problems of ship repair. It is proved in this study that the optimal organization of production preparation and improvement of existing business processes of ship repair production to the brand new technological level requires application of advanced information technologies in the development of a model of interrelated business processes focused on obtaining the design and technological documentation for ship repair. It is proposed to use the IDEF methodologies to model such systems, as they allow for an analysis of the enterprise's activities and development of regulations for the technology of management and implementation of business processes with the purpose of improving the efficiency of personnel and the enterprise as a whole.

Keywords: ship repair production; functional management; business process; information flows and technologies; modeling

Вступ

До глобальних транспортних систем на Україні можна віднести водний транспорт, розвиток якого обумовлює суднобудування і судноремонт в якості базової галузі при впровадженні сучасної організації виробництва і наукомістких інноваційних технологій.

На жаль, у наш час організаційний та технічний рівень вітчизняних судноремонтних підприємств недостатньо високий. Це пов'язано з тим, що судноремонт відноситься до одиничного й дрібносерійного виробництва з продукцією, що швидко змінюється, і відповідно з технологічними

процесами (ТП), що постійно перебудовуються. Необхідно також враховувати, що об'єкти ремонту – багатонаменклатурні, з низьким рівнем модифікації; ремонтні цеха і заводи віддалені від суден; основні роботи виконуються на судні та на відкритих ділянках, відсутнє оновлення основних фондів і впровадження наукоємних технологій [1].

У сучасних умовах більшість судноремонтних підприємств реально підійшли до впровадження в виробництво інтегрованих рішень, які здатні ув'язати окремі технологічні й економічні завдання в єдиний комплекс. Рішення цих проблем забезпечується переходом до гнучкого інтегрованого виробництва, яке поєднує у собі новітню технологію, сучасний менеджмент конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПВ) й високу мобільність виробництва [2].

КТПВ полягає в забезпеченні суден, що ремонтується, конструкторською й технологічною документацією, оснащенням, інструментом і пристроями та у визначенні витрат трудових і матеріальних ресурсів на виконання встановлених ТП. КТПВ є продовженням робіт з проектування ремонту виробів. На цій стадії встановлюється за допомогою яких технічних методів і засобів, способів організації виробництва необхідно відремонтувати даний об'єкт, остаточно визначається собівартість ремонту та ефективність виробництва. В судноремонті ця технологія розробляється з ціллю підвищення технічного рівня й зниження витрат виробництва, поліпшення умов праці, охорони навколишнього середовища. В процесі КТПВ розробляються засоби механізації й автоматизації виробничих ремонтних процесів, а також вирішуються питання організації виробництва. Істотним резервом КТПВ є інформаційні технології. Забезпеченість інформаційно-комп'ютерними технологіями стала вирішальним фактором конкурентоспроможності й успіху у всіх областях судноремонтного бізнесу. Практично у всіх країнах з розвиненим судноремонтом у наш час впроваджуються програми досліджень і розробок, які спрямовані на забезпечення конкурентоспроможності галузі на довгострокову перспективу. Першочергові завдання при цьому наступні: виявлення резервів КТПВ, зниження собівартості ремонту, скорочення непродуктивних витрат, підвищення якості й зменшення строків ремонту суден. Для розв'язання цих завдань підприємства судноремонтної галузі використовують інноваційні процеси організації й виконання робіт, у тому числі на основі сучасних комп'ютеризованих інтегрованих технологій [3,4].

Для підвищення ефективності діяльності судноремонтних підприємств необхідна дійова система управління, яка враховує особливості цієї галузі, досвід вітчизняних розробок, а також прогресивні нові дослідження.

Удосконалення процесів управління організацією виробництва є першочерговим

завданням сучасного судноремонтного підприємства в умовах ускладнення виробничо-технічних та організаційно-економічних систем, стрімкого зростання впливу інтернет-технологій як на управління ТП, так і на управління всією мережею бізнес-процесів підприємства.

Виділивши наскізні бізнес-процеси підприємства можна зіставити їх з існуючою структурою організації й зрозуміти, де структура руйнує процеси з точки зору зон відповідальності керівників. Тому, щоб змінити традиційну структуру організації, необхідно виправити межі структурних підрозділів так, щоб вони збігалися з процесами, а не руйнували їх. Вирішення даного завдання за своєю суттю є компромісним, оскільки, як функціональний, так і процесно-орієнтований підхід до управління мають право на існування [5-7].

Дослідження процесів управління та підготовки судноремонтного виробництва з використанням процесно-орієнтованої технології дають змогу розробити загальну функціональну модель управління та виявити взаємодії основних потоків підприємства.

З точки зору процесно-орієнтованого підходу до управління діяльність судноремонтного підприємства може розглядатися як виконання взаємопов'язаних бізнес-процесів, орієнтованих на отримання кінцевого результату (ремонт судна та його конструкцій). В основі процесної моделі управління, яка відноситься до організаційного рівня і пов'язана з постійним вдосконаленням конструкції процесів, лежить так званий цикл Шухарта-Демінга (цикл PDCA) [8]. Застосовучи методику управління бізнес-процесами на основі циклу PDCA можна отримати інтегроване рішення, яке здатне пов'язати окремі технічні й економічні завдання судноремонту у єдиний комплекс.

Окремі питання й особливості розвитку і управління організаційними структурами дискретного дрібносерійного й одиничного судноремонтного виробництва викладені в [9].

Тільки аналізуючи резерви, фактори, умови й передумови ефективності підготовки виробничих процесів та причинно-наслідкові зв'язки між технічними підрозділами судноремонтного підприємства, можна здійснити найбільш доцільні заходи для удосконалення малоефективної технології, відсталої організації КТПВ й основного виробництва. Вирішення цих проблем забезпечується переходом до гнучкого виробництва, яке поєднує у собі новітні технології, тимчасовий менеджмент КТПВ та високу мобільність виробництва.

Нагальною необхідністю стає завдання створення моделі діяльності судноремонтного підприємства й управління конструкторсько-технологічними процесами на основі функціонального IDEF-моделювання. Це дозволить відображати функціональний склад конструкторсько-технологічних робіт, напрями потоків даних, зміст

розробляємої документації, призначення програмно-комп'ютерного забезпечення, а також підвищить ефективність роботи всього підприємства.

Основи моделювання виробничого процесу судноремонтного підприємства викладені в [10-12]. Значний упор тут робиться на інформаційні процеси та вирішення окремих управлінських завдань.

Суттєвою проблемою управління конструкторсько-технологічними процесами судноремонтного виробництва є відсутність повної й точної інформації по всіх роботах на момент складання графіків ремонту суден.

Вирішення таких завдань на підприємствах судноремонтного комплексу покладається на технічні й економічні підрозділи, що забезпечують КТПВ ремонту суден. Отже, в першу чергу, треба шукати резерви й способи підвищення економічної ефективності роботи системи КТПВ.

Слід відмітити, що на даний момент багато питань, які пов'язані з організацією КТПВ в судноремонті залишаються невирішеними. Це створює передумови для нових досліджень у даному напрямку.

Ціль роботи

Ціль роботи - дослідження процесів управління та КТПВ у судноремонті з використанням функціонального та процесно-орієнтованого підходів на основі інформаційних технологій.

Для досягнення поставленої цілі необхідне рішення наступних завдань:

- дослідити можливості переходу від функціональної орієнтації до орієнтації на процеси в організації управління судноремонтного підприємства, а також їх поєднання;
- розробити функціональну модель управління судноремонтним підприємством з описом основних потоків та їх взаємодії;
- розробити схему загального бізнес-процесу, що управляється на основі циклу PDCA;
- розглянути підходи до удосконалення процесів КТПВ у судноремонті;
- розробити модель КТПВ у вигляді IDEF0-діаграми.

Викладення основного матеріалу

Дослідження основних принципів функціонального й процесного підходів до управління судноремонтним підприємством

Особливості судноремонтного виробництва обумовлюють певні складнощі управління виробничим процесом, подолати які, незважаючи на численні дослідження й розробки у цій галузі, які проводились, на практиці не вдалось.

До недавнього часу в судноремонті застосовувався переважно функціональний підхід до управління, згідно якому підприємство – це якийсь механізм, який володіє набором функцій. Ці функції розподіляються серед підрозділів, де їх виконують співробітники підприємства в залежності від своєї спеціалізації. У більшості випадків розподіл функцій

не обмежується рамками одного відділу або служби, так як вони взаємодіють між собою й передають роботу один одному по етапам. Часто на взаємодію йде більш часу, чим на виконання власне роботи, тому що представники різних відділень підприємства ніяк не зацікавлені у ефективному співробітництві. Внаслідок цього виникають різного роду розбіжності, в яких забуваються загальні інтереси підприємства. Таким чином, управління організаціями, які побудовані за функціональним принципом, стикається з серйозними проблемами, які пов'язані з виникненням вертикальних і горизонтальних бар'єрів (функціональних, організаційних, кадрових, інформаційних). Для того, щоб відмовитися від функціонального підходу, необхідно відмовитися від поняття «функція» і, відповідно, від поняття «функціональний принцип створення організаційної структури». Але при цьому можливо вибудувати тільки процесну структуру, яка орієнтована на процеси, що відбуваються на підприємстві, - вони проходять через усі підрозділи, служби, відділи й орієнтовані на кінцевий результат. В підсумку управління підприємством стає управління процесами, причому кожний процес має свою ціль, яка є критерієм його ефективності. Цілі усіх процесів є цілями нижньої ланки, через реалізацію яких досягаються цілі верхньої ланки, а в кінцевому підсумку – цілі усього підприємства.

Перехід від функціональної орієнтації до орієнтації на процеси передбачає дії в двох основних напрямках: інтеграцію відповідальності по вертикалі і функцій по горизонталі. Відповідальність і функції при такому підході інтегруються в рамках процесів управління і технологічних процесів. На зміну функціонально-орієнтованої концепції організації, в якій керівники протиставлені працівникам, а структура - операціям, приходять цілісна процесна стратегія з орієнтацією на споживачів, співробітників і процеси (рис. 1).

Співробітник судноремонтного виробництва при процесно-орієнтованому підході ставиться в центр процесу. Для всіх процесів визначаються цільові показники і критерії оцінки результату діяльності судноремонтного підприємства (рис. 2).

Процесно-орієнтований підхід передбачає розгляд діяльності судноремонтного підприємства як виконання взаємопов'язаних бізнес-процесів, тобто узагальненого логістичного потоку робіт, що включає в себе матеріальні, інформаційні й фінансові потоки, виконує збір даних, їх обробку і систематизацію по всьому технологічному циклу для отримання кінцевого результату (ремонт судна).

Незважаючи на те, що в деяких публікаціях процесний підхід протиставляється функціональному підходу [13], насправді саме організація детальної проробки функцій для кожного бізнес-процесу, а також організація взаємодії між собою цих бізнес-процесів складає суть процесно-орієнтованої технології підготовки виробництва.

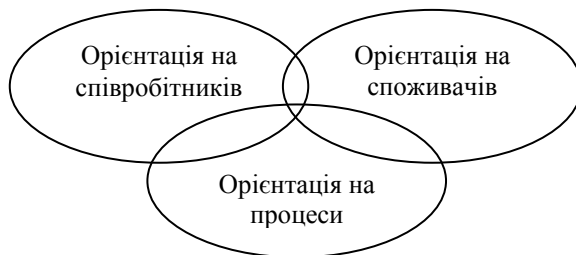


Рис. 1- Компоненти цілісної стратегії

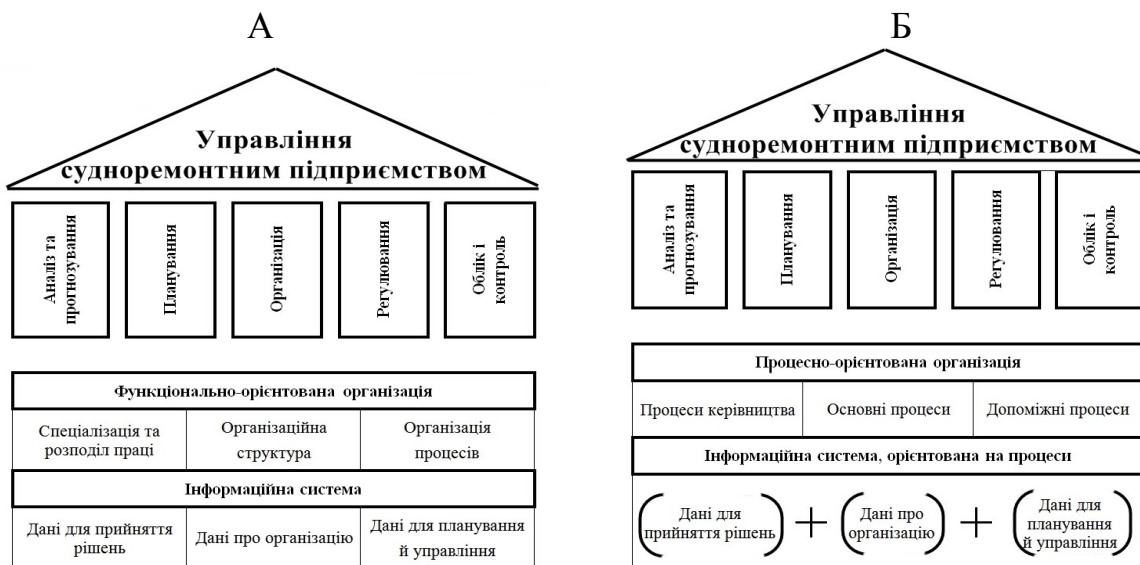


Рис. 2 – Узагальнені схеми управління функціонально-орієнтованої (А) та процесно-орієнтованої організації (Б)

Саме поєднання функціонального й процесного підходів до управління підприємством, як правило, є «золотою серединою». Функціональна структура підприємства визначає «що робити», а процесна – «як робити». Це дві нерозривні сторони управління. Функціональний й процесний підходи тісно взаємопов'язані, так як конкретні дії у рамках процесів виконують співробітники, які знаходяться у різних функціональних підрозділах.

Цілком зрозуміло, що впровадження процесного управління супроводжується зміною внутрішніх взаємин, традицій і сформованих навичок роботи. Незважаючи на те, що ці зміни пов'язані з певними ризиками, перехід до процесного управління необхідний для ефективного функціонування і підвищення конкурентоспроможності судноремонтних підприємств.

Модель виробничого підприємства як система функцій, механізмів та інструментарію для перетворення основних потоків

Робота будь-якого судноремонтного підприємства полягає в організації виконання якихось процесів, які призводять до бажаного і прогнозованого результату. У судноремонтному виробництві таким результатом є матеріальні вироби,

що випускаються підприємством (відремонтовані судна). Іншими словами, на підприємстві шляхом реалізації певних технологічних процедур (процесів) перетворюється вихідна сировина і матеріали в інші матеріальні об'єкти (форми). У нашому випадку, на відміну від системи ARIS (*Architecture of Integrated Information Systems*) [13], можна розглядати наступні види потоків:

- *матеріальні потоки* – до них відносяться ті, які оперують з об'єктами, процесами і явищами матеріального середовища;
- *інформаційними потоками* вважаються ті, до яких відносяться закони і принципи існування, перетворення і руху, як матерії, так і інформації;
- *фінансові потоки* з одного боку найімовірніше віднести до інформаційних, а з другого боку їх можна розглядати як деякі матеріальні міри активів і виділити в окрему категорію.

У більшості випадків реалізація функцій перетворення потоків відбувається за участю або під контролем людей, тобто, використовуючи необхідні функції, можна сформувані найбільш ефективну функціональну схему перетворення потоків для максимально стійкого отримання необхідного результату. Але треба враховувати, що функціональна

схема являє собою структурований перелік функціональних правил перетворення тих чи інших потоків, для перетворення яких потрібні «механізми», що дозволяють реалізувати поставлені схемою функції [11]. Під терміном «механізм» розуміється організаційний механізм, який призначений організувати співробітників судноремонтного підприємства на виконання заданих функцій.

У наш час для перетворення елементів матеріального середовища використовується сукупність матеріальних (оснащення, інструменти, комп'ютерна апаратура) та інформаційних (програмне та інформаційне забезпечення) об'єктів (*інструментів*), що дозволяють здійснювати безпосередній вплив на потоки.

Таким чином для побудови ефективної *функціональної моделі управління судноремонтним підприємством* необхідно сформулювати систему взаємопов'язаних несуперечливих функцій, механізмів та інструментарію, яка дає можливість цілеспрямовано перетворювати матеріальні, інформаційні й фінансові потоки для отримання необхідного результату (рис. 3).

Матеріальний потік включає матеріали, комплектуючі, стандартні вироби, а також відремонтовану продукцію і виконувані роботи. Основними функціями перетворення матеріального потоку у фінансовий потік є функції: «Матеріально-технічна підготовка виробництва» (*блок 3*), «Виробництво» (*блок 5*) і «Реалізація» (*блок 6*). Ці функції на судноремонтних підприємствах традиційно належать підрозділам з явно окресленими функціями. Практично в кожній основній функції є наявність елемента (внутрішнього механізму) передбачення (планування) й контролю результатів. Планування й контроль здійснюються під контролем планово-диспетчерського підрозділу. Аналогічним чином формуються локальні плани в інших функціональних блоках.

З метою узгодження *інформаційних потоків* й виключення нестижових в роботі можна запропонувати ввести в систему управління судноремонтним підприємством вузлову функцію (інтегрований елемент синхронізації), яка перетворює інформаційні потоки, - планово-диспетчерський відділ (*блок 4*).

У цьому блоці перетинаються і взаємодіють практично всі основні інформаційні потоки підприємства. З інформаційної та алгоритмічної точки зору функція планування й диспетчеризації є досить складною. З функціональних позицій цей блок є *центральною інформаційною і синхронізуючою ланкою* всієї системи управління підприємством, оскільки саме тут формується інформаційне забезпечення (завдання і технології) для роботи всіх основних підрозділів підприємства, а також виконується процес централізованого оперативного контролю управління з оперативною передачею інформації між об'єктами диспетчеризації та пунктом

управління.

Вхідні інформаційні потоки для функцій планування й диспетчеризації утворюються зі змінних потоків (див. рис. 3), до яких відносяться пропозиції замовника у вигляді вимог до виробів, умови щодо термінів, вартості й якості виконання робіт та інше (*блок 1*).

Також інформаційну підтримку функціям планування й диспетчеризації складають умовно-постійні вхідні потоки, до складу яких входять:

- інформація про вироби, що ремонтуються;
- інформація про судноремонтне виробництво;
- виробничі регламенти.

Інформація про вироби, що ремонтуються, включає конструкторську інформацію про склад виробу й специфікації, технологічну інформацію, яка містить технологічні бізнес-процеси виготовлення виробів, перелік необхідних матеріалів, інструментів, оснащення. Відомості про наявне обладнання, його працездатність, графік завантаження та схема розташування робочих місць становлять інформацію про виробництво. Виробничі регламенти містять сукупність даних про виробничі календарі, режими роботи і відпочинку співробітників, режими роботи обладнання.

На підставі інформації, що надійшла в блок планування й диспетчеризації, формується модель виконання замовлення. За результатами моделювання визначаються умови та терміни виконання замовлення. Ця інформація у вигляді зворотного зв'язку надходить в *блок 1*, де проводиться узгодження умов із замовником. Після узгодження з Замовником модель плану затверджується і на підставі затвердженого плану формуються відомості, що містять планово-виробничу інформацію та інформацію для плану закупівель.

В процесі виконання планових дій спільно з диспетчеризацією в блоках *Виробництво, Реалізація, Фінансовий відділ, Матеріально-технічна підготовка* можливі відхилення. Для обліку, контролю і регулювання дій при відхиленнях формуються інформаційні потоки зворотного зв'язку, що містять відомості про хід виконання планових робіт, а також про виникаючі проблеми і збої.

Процесний підхід при формуванні системи управління судноремонтного підприємства

З точки зору процесно-орієнтованого підходу до управління підприємством діяльність підприємства розглядається як виконання взаємопов'язаних бізнес-процесів, орієнтованих на отримання кінцевого результату (випуск продукції).

Ключовими етапами впровадження процесного підходу до управління є:

1) визначення й опис існуючих бізнес-процесів та порядку їх взаємодії у загальній мережі процесів організації;

2) чітке розподілення відповідальності керівників за кожний сегмент усієї мережі бізнес-процесів організації;

- 3) визначення показників ефективності й методик їх виміру (наприклад, статистичних);
- 4) розробка й затвердження регламентів, що формалізують роботу системи;

- 5) управління ресурсами й регламентами при виявленні відхилень, невідповідностей в процесі або продукті, або змін у зовнішньому середовищі (у тому числі зміна вимог Замовника).

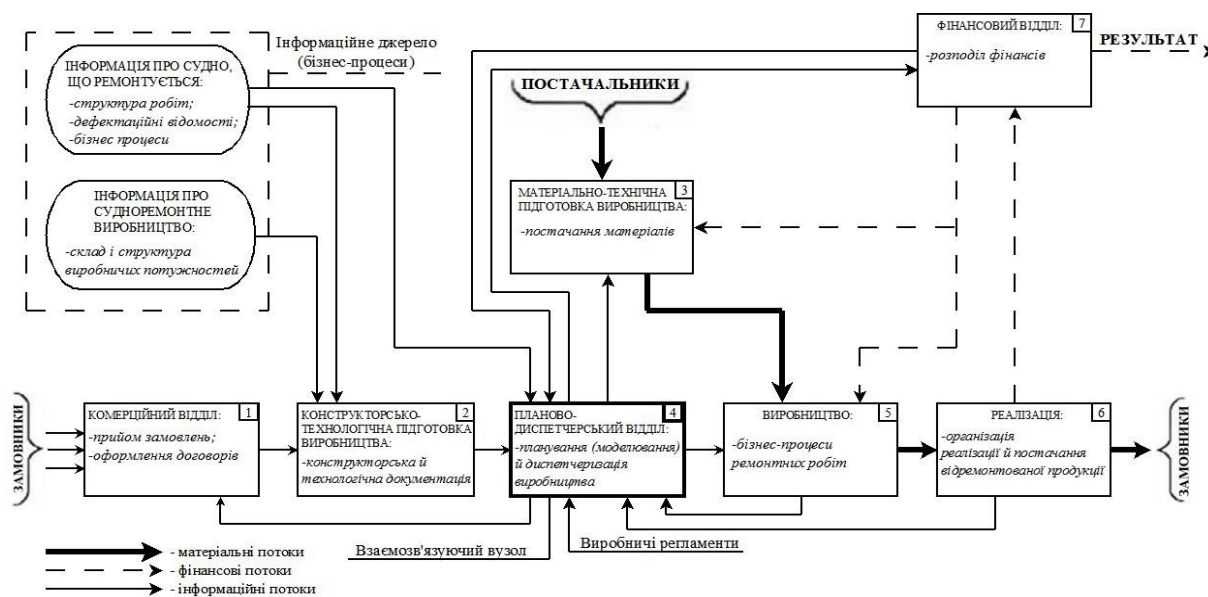


Рис. 3 – Схема інформаційних, матеріальних й фінансових потоків та основних функцій судноремонтного підприємства при ремонті судна

При впровадженні процесного підходу до управління підприємством використовуються наступні методики:

- створення мережі бізнес-процесів;
- визначення власників бізнес-процесів;
- моделювання (опису) бізнес-процесів;
- регламентації бізнес-процесів;
- управління бізнес-процесами на основі циклу PDCA (Plan-Do-Chek-Act);
- аудиту бізнес-процесів.

У нашому випадку, для вироблення інтегрованого рішення, яке здатне пов'язати окремі технічні й економічні завдання судноремонту у єдиний комплекс, будемо застосовувати методику управління бізнес-процесами на основі циклу PDCA.

В основі процесної моделі управління, яка відноситься до організаційного рівня і пов'язана з постійним вдосконаленням конструкції процесів, лежить так званий цикл Шухарта-Демінга [8]. Інтерпретація PDCA трактується як:

**PLAN – DO – CHEK – ACT
ПЛАНУЙ - ДІЙ (СПРОБУЙ) - ПЕРЕВІРЯЙ
(ВИВЧАЙ) – ВПРОВАДЖУЙ**

З одного боку, ми маємо досить просту й інтуїтивно зрозумілу схему дій, однак і в цьому випадку, важко сформулювати однозначні вимоги до виконання завдань, так як при кожному поверненні до будь-якої дії, що відбувалась раніше, відбувається непрогнозоване нашарування інформації й цілком може відбутися втрата вихідного стану.

Приклад бізнес-процесу, що управляється на основі циклу PDCA (стандарт опису IDEF0, BPWin), наведений нижче (рис. 4).

Бізнес-процес, наведений на рис. 4, відповідає циклу PDCA і базовим вимогам процесного підходу, що сформульовані в MS ISO 9001:2000. Це дозволяє використовувати його у будь-якій сфері діяльності при управлінні організацією. Основні вимоги стандарту до опису процесів наступні:

1. Система управління складається, як мінімум, з двох рівнів. Управлінські рішення приймають:
 - а) вище керівництво («перша особа»);
 - б) власник процесу – керівник, який відповідає за ефективність процесу;
2. Система управління заснована на обов'язкових регламентованих зворотних зв'язках, які описані у циклі PDCA.
3. Всі етапи циклу PDCA виконуються за регламентами.
4. При проведенні аналізу використовуються чотири основних потоки інформації:
 - а) показники процесу;
 - б) показники продукту;
 - в) показники задоволеності споживачів;
 - г) результати аудитів процесів.
5. Стандарт потребує встановити показники, методики збору і обробки інформації, межі показників для нормального ходу процесу й критерії для прийняття коригувальних дій. Управлінське рішення про зміну регламентів або ресурсів повинно прийматися на підставі строгих фактів.

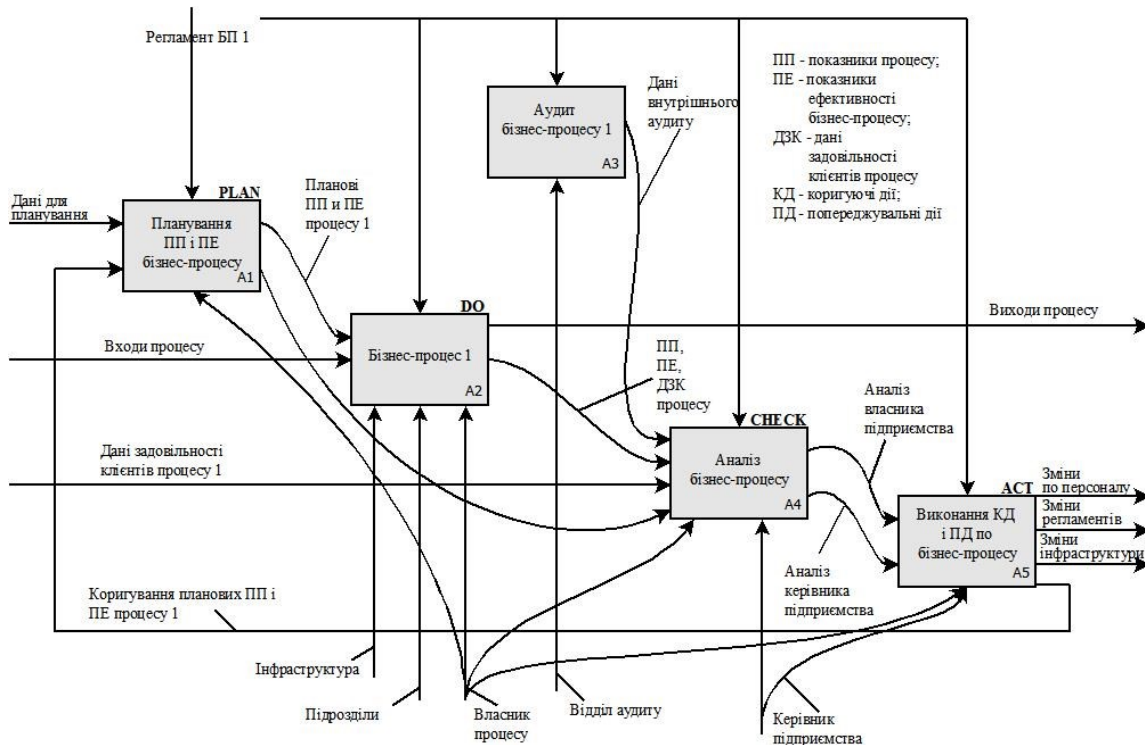


Рис. 4 - Бізнес-процес, що управляється на основі циклу PDCA (стандарт опису IDEF0, BPWin)

6. Необхідно призначити відповідальних – власників процесів, які керують процесами, відповідають за їх результативність і володіють необхідними ресурсами та повноваженнями. Їх взаємодія повинна бути визначена та формалізована.

7. Принцип PDCA тиражується на нижні рівні управління (прийняття рішень), якщо це доцільно.

Процес, що представлений на рис. 4, відповідає всім перерахованим вимогам.

Процесний підхід при формуванні системи конструкторсько-технологічної підготовки судноремонтного виробництва

Підготовка виробництва являє собою комплекс робіт спрямованих на забезпечення і організацію виробництва. До підготовки судноремонтного виробництва прийнято відносити конструкторську, технологічну та організаційну підготовки, матеріальне й інформаційне забезпечення. Мета підготовки виробництва полягає у створенні технічних, організаційних та економічних умов для ремонту продукції (суден) [14].

З точки зору процесно-орієнтованого підходу до управління підприємством функціонування КТПВ розглядається як виконання взаємопов'язаних бізнес-процесів, орієнтованих на отримання конструкторської та технологічної документації для ремонту судна. Саме організація, детальне опрацювання функцій по кожному бізнес-процесу, а також організація взаємодії між собою цих бізнес-процесів становить сутність процесно-орієнтованої технології конструкторсько-технологічної підготовки судноремонтного виробництва.

Цілком очевидно, що конструкторська і технологічна документація містять ТП ремонту судна. Фактично це бізнес-процес, який містить перелік операцій виготовлення виробу. Дійсно, конструкторська документація включає відомості про об'єкт, що ремонтується, такі як структура, склад виробу, специфікації, перелік покупних комплектуючих, креслення, схеми, програми випробувань; технологічна інформація містить ТП виготовлення кожної деталі-складальної одиниці конструкції виробу, що ремонтується, переліки необхідних матеріалів, обладнання, оснащення. Вся ця інформація необхідна для організації процесу виробництва. Таким чином, саме КТПВ формує бізнес-процеси, як підготовки виробництва, так і ремонту суден. Від того наскільки якісно будуть сформовані бізнес-процеси конструкторами і технологами залежить робота всього підприємства і ефективність організації виробництва. Адже на підставі цих бізнес-процесів проводиться і матеріально-технічна підготовка виробництва, і планування, і сам процес виробництва.

Удосконалення процесів підготовки судноремонтного виробництва на новому технологічному рівні [15-17] викликає необхідність застосування сучасних інформаційних технологій і суттєвих змін як технологічних, так і традиційних бізнес-процесів. Тому для аналізу діяльності підприємства та оптимальної організації підготовки виробництва необхідно створювати модель взаємопов'язаних бізнес-процесів, орієнтованих на отримання конструкторської та технологічної

документації для ремонту судна.

Для вирішення подібних завдань моделювання складних систем існують добре освоєні методології та стандарти. До таких стандартів відносяться методології сімейства IDEF [18,19]. За їх допомогою можна ефективно відображати і аналізувати моделі діяльності будь-яких складних систем. Основу методології IDEF0 [19] становить графічна мова

опису бізнес-процесів. Модель в нотації IDEF0 являє собою сукупність ієрархічно впорядкованих і взаємопов'язаних діаграм. В якості прикладу на рис. 5 наведено фрагмент моделі конструкторсько-технологічної підготовки суднобудівного виробництва, який створений на основі текстового опису цього процесу у вигляді контекстної IDEF0-діаграми.

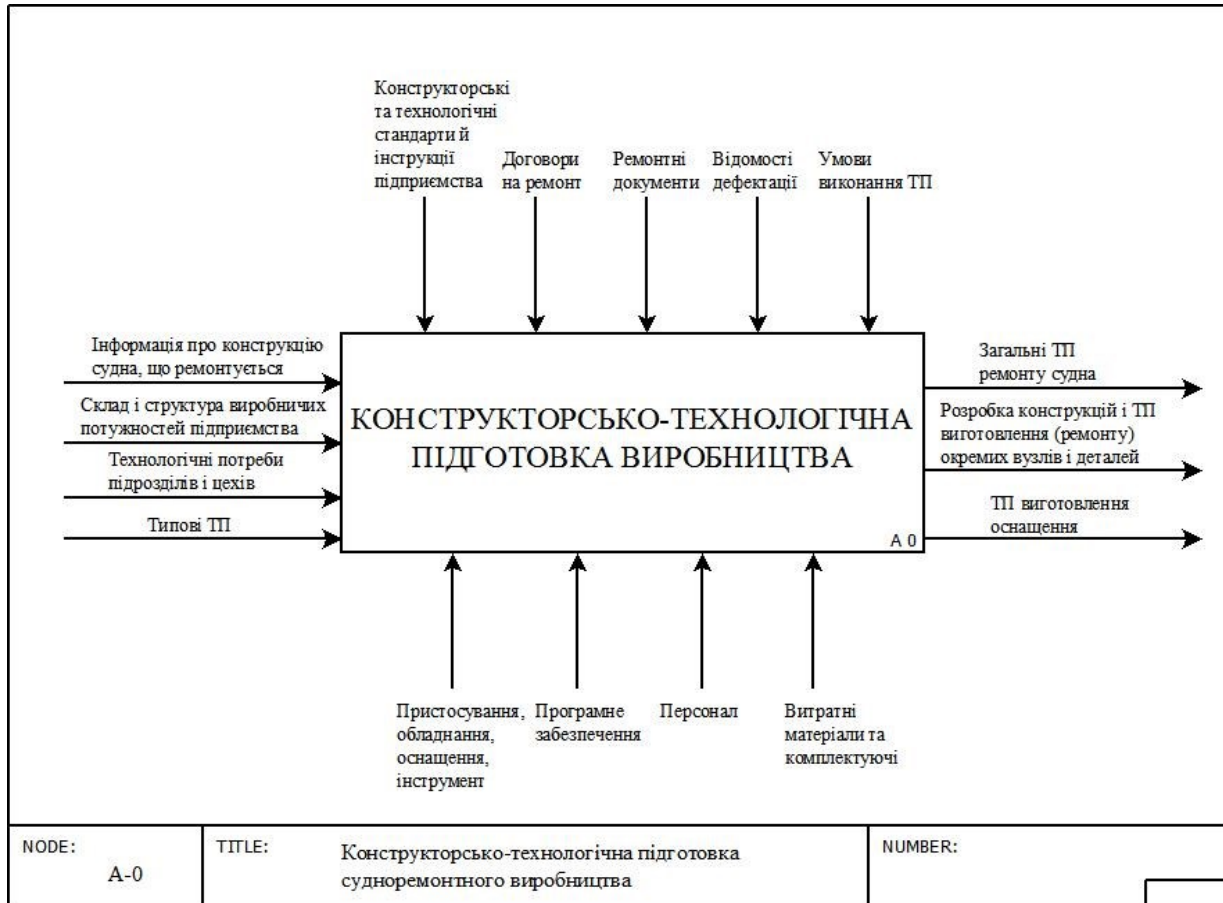


Рис. 5 - Контекстна IDEF-діаграма функціональної моделі процесу

Подібні моделі діяльності підприємства і управління ТП на основі функціонального IDEF-моделювання бізнес-процесів, дозволяють створити регламенти на технології управління та виконання бізнес-процесів, а також підвищити ефективність роботи персоналу і всього підприємства в цілому.

Обговорення результатів

Удосконалення процесів управління організацією виробництва є першочерговим завданням сучасного судноремонтного підприємства в умовах ускладнення виробничо-технічних і організаційно-економічних систем, а також росту впливу інтернет-технологій, як на управління конструкторсько-технологічними процесами, так і на управління всією мережею виробничих процесів підприємства.

Управління організаціями, які побудовані тільки за функціональним принципом, у наш час стикається з серйозними проблемами, які пов'язані з виникненням вертикальних і горизонтальних бар'єрів (функціональних, організаційних, кадрових, інформаційних). Необхідність подолання цих бар'єрів пропонує другий тип організації, яка орієнтована не на функцію, а на процес. Перехід від функціональної орієнтації до орієнтації на процеси передбачає дії в двох основних напрямках: інтеграцію відповідальності по вертикалі й функцій по горизонталі. Відповідальність і функції при такому підході інтегруються в рамках процесів управління і ТП.

Існує пропозиція виділяти наскізне процеси і з'являти їх з існуючою структурою організації для розуміння, де структура порушує цілісність процесів з точки зору зон відповідальності керівників. Виходячи з цього, можна залишити традиційну організаційну

систему (функціональну), тільки змінюючи межі структурних підрозділів так, щоб вони збігалися з процесами, а не порушували цілісність процесів. Зміну меж структурних підрозділів необхідно проводити виходячи з цілей процесів – досягнення найкращого результату.

При формуванні такої системи управління доцільним є створення вузлової інформаційної ланки (планово-диспетчерського підрозділу), яка буде здійснювати планування й формування коректних планів виробництва для підрозділів підприємства з врахуванням ресурсних можливостей й ступеню завантаженості, а також безпосередній контроль за ходом виконання виробничих процесів.

У наш час існує новий погляд на організацію управління підприємством, основу якого становлять крос-функціональні, тобто перетинаючі межі функціональних підрозділів, бізнес-процеси, кінцевими цілями виконання яких, є створення продуктів або послуг, які представляють цінність для зовнішніх та внутрішніх споживачів.

Процесна модель управління припускає, що для проектування процесів діяльності підприємства необхідно визначати їх входи, виходи, управляючий вплив і механізми (відповідно циклу PDCA). Проектування бізнес-процесів відповідно даному підходу має переваги у порівнянні з іншими:

- дозволяє оперативно супроводжувати описані раціональні технології робіт, безболісно для користувачів модернізувати інформаційну систему підприємства;

- дозволяє формалізувати технології виконання робіт з реорганізації діяльності підприємств і проектування інформаційних систем підтримки раціональних бізнес-процесів.

Для підприємств судноремонту важливішу роль грає підготовка виробництва, яка покликана забезпечити матеріально, інформаційно та організаційно процес виробництва. На підставі отриманої інформації конструкторсько-технологічною службою проводиться підготовка виробництва, що включає розробку конструкцій об'єктів, що ремонтуються, та технологій їх виготовлення. На базі цих даних розробляються виробничі плани.

Організація ефективної наскрізної КТПВ потребує створення моделі управління виробничими процесами, наприклад, на основі функціонального IDEF-моделювання бізнес-процесів, що дозволить створити регламенти на технології управління й виконання бізнес-процесів, а також підвищити ефективність роботи підприємства.

Висновки

Дослідження специфічних особливостей функціональної й процесно-орієнтованої технологій управління судноремонтного підприємства дає можливість зробити висновок про те, що можна

залишити традиційну (функціональну) систему, змінюючи при цьому межі структурних підрозділів так, щоб вони збігалися, а не руйнували процеси, враховуючи що зміна меж буде проводитися виходячи з цілей процесів – досягнення найкращого результату. Розроблена технологія функціонально-поточної підготовки виробництва судноремонтного підприємства з організаційним механізмом, який взаємопов'язує необхідні інформаційні фактори і параметри для отримання сбалансованих планів та ефективного управління виробництвом. Розроблена загальна схема бізнес-процесу, що управляється на основі циклу PDCA (стандарт опису IDEF0, BPWin). Доведено, що організація ефективної наскрізної КТПВ потребує створення моделі управління виробничими процесами, наприклад, на основі функціонального IDEF-моделювання бізнес-процесів. Використання такого підходу дозволяє значно скоротити час КТПВ.

Список літератури

1. **Леонов, А. А.** Современные проблемы функционирования и развития судоремонтных предприятий в Украине / **А. А. Леонов** // *Матеріали третьої науково-практичної конференції «Соціально-економічні реформи у контексті європейського вибору України»: Збірник наукових праць.* – Дніпропетровськ: НАЦ „Ера”. – 2006. – Том 1. – С. 39-41.
2. **Леонов, А. А.** Перспективы развития судоремонта в Украине / **А. А. Леонов** // *Развиток методів управління та господарювання на транспорті. Зб. наук. праць.* – 2000. – Вип. 6. – С. 50-55.
3. **Davenport, T. H.** Business Innovation. Reengineering Work through Information Technology / **T. H. Davenport** // *Boston: Harvard Business School Press, 1993.* – 79 p.
4. **Рогулин, А. Г.** Использование компьютерных технологий в управлении и организации производства в судоремонте / **А. Г. Рогулин, А. Г. Токликишвили** // *Международный научный журнал «Инновационная наука».* – 2015. – №7/2015. – С. 58-61.
5. **Тягненко, В. В.** Управление предприятием с помощью бизнес-процессов в сочетании с функциональным подходом / **В. В. Тягненко** // *Вестник АГТУ.* – 2008. – №4 (45). – С. 89-90.
6. **Martinsons, Aelita G. B.** In search of structural excellence / **Aelita G. B. Martinsons, Maris G. Martinsons** // *Leadership & Organization Development Journal.* – 1994. – 15, 2. – P. 24-28. – doi: 10.1108/01437739410055344.
7. **Махнова, Г. Ю.** Совершенствование организационной структуры управления предприятием / **Г. Ю. Махнова, С. А. Шевченко** // *Интеллект. Инновации. Инвестиции.* – 2013. – №1. – С. 77 – 80.
8. **Deming, E. W.** Quality, productivity and competitive position / **E. W. Deming** // *Cambridge, MA.: Massachusetts Institute of Technological Center for Advanced Engineering Study, 1982.* – 373 p.
9. **Колесникова, О. В.** Принципиальная схема организации системы подготовки производства на машиностроительном предприятии / **О. В. Колесникова, В. Е. Лелюхин** // *Международная научно-практическая конференция.* – Владивосток: ДВЦИТ, 2016. – С. 44-53.

10. **Хаймович, И. Н.** Разработка принципов построения бизнес-процессов конструкторско-технологической подготовки производства на основе информационно-технологических моделей / **И. Н. Хаймович** // *Фундаментальные исследования. Технические науки.* – 2014. – № 9. – С. 1709-1714.
11. **Лелюхин, В. Е.** Интегрированная система подготовки производства судоремонтного предприятия / **В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова** // *Судостроение.* – 2015. – №1. – С. 52-54.
12. **Анцев, В. Ю.** Управление производственным процессом на основе построения структурно-функциональных моделей / **В. Ю. Анцев, Н. А. Витчук** // *Известия ТулГУ. Технические науки.* – 2016. – Вып. 8. Ч. 2. – С. 139-146.
13. **Ивлев, В. А.** Реорганизация деятельности предприятий: от структурной к процессной организации / **В. А. Ивлев, Т. В. Попова** // Москва: Научтехлитиздат, 2000. – 281 с.
14. **Гречников, Ф. В.** Управление технологической подготовкой производства на основе интегрирования автоматизированного проектирования и инженерного анализа / **Ф. В. Гречников, В. Ю. Ненашев, И. Н. Хаймович** // *Кузнечно – штамповочное производство. Обработка материалов давлением.* – 2008. – №6. – С. 42–46.
15. **Aliev, B.** Innovative processes in the shipbuilding and shiprepair industry in Latvia / **B. Aliev, Y. Kochetkov, K. Nedelev** // *Journal of Management.* – 2017. – Vol. 30, No. 1. – P. 111–116.
16. **Molly Inhofe Rapert.** Reconsidering organizational structure. A dual perspective of frameworks and Processes / **Rapert Molly Inhofe, Wren Brent M.** // *Journal of Managerial Issues.* – 1998. – 10, 3. – P. 287-301.
17. **Ghosh, S.** Net centricity and technological interoperability in organizations: perspectives and strategies / **S. Ghosh** // New York: Idea Group Inc., 2009. – 288 p. – doi: 10.4018/978-1-60566-854-3.
18. **Mayer, R. J.** Information Integration For Concurrent Engineering (IICE) / **R. J. Mayer, C. P. Menzel, M. K. Painter, P. S. deWitte, et al.** // IDEF3 Process Description Capture Method Report. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Air Force Materiel Command, 1995. – 224 p.
19. National Institute of Standards and Technology. – Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). – Washington: Draft Federal Information, 1993. – 80 p.
4. **Rogulin, A. G., Toklikishvili, A. G.** Ispolzovanie kompyuternykh tekhnologiy v upravlenii i organizatsii proizvodstva v sudoremonte [The use of computer technology in the management and organization of production in ship repair]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Innovatsionnaya nauka»*, 2015, 7, 58-61.
5. **Tyagnenko, V. V.** Upravlenie predpriyatiem s pomoshchyu biznes-protsessov v sochetanii s funktsionalnyim podhodom [Enterprise management with the help of business processes combined with the functional approach]. *Vestnik AGTU*, 2008, 4 (45), 89-90.
6. **Martinsons, Aelita G. B., Martinsons, Maris G.** In search of structural excellence. *Leadership & Organization Development Journal*, 1994, 15, 2, 24-29, doi: 10.1108/01437739410055344.
7. **Mahnova, G. Yu., Shevchenko, S. A.** Sovershenstvovanie organizatsionnoy struktury upravleniya predpriyatiem [improving the organizational structure of enterprise management]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2013, 1, 77-80.
8. **Deming, E. W.** Quality, productivity and competitive position. Cambridge, MA.: *Massachusetts Institute of Technological Center for Advanced Engineering Study.* 1982, 373.
9. **Kolesnikova, O. V., Lelyuhin, V. E.** Printsipialnaya shema organizatsii sistemy podgotovki proizvodstva na mashinostroitelnom predpriyatii [Schematic diagram of the system of preparation of production at a machine-building enterprise]. *Mezhdunarodnaya nauchno - prakticheskaya konferentsiya.* Vladivostok: DVTsIT, 2016, 44-53.
10. **Haymovich, I. N.** Razrabotka printsipov postroeniya biznes-protsessov konstruktorsko-tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva na osnove informatsionno-tehnologicheskikh modeley [Development of the principles for establishing business processes of the design and technological preparation of production based on information technology models]. *Fundamentalnyye issledovaniya. Tehnicheskie nauki*, 2014, 9, 1709-1714.
11. **Lelyuhin, V. E., Kolesnikova, O. V.** Integrirovannaya sistema podgotovki proizvodstva sudoremontnogo predpriyatiya [Integrated system of pre-production for a ship repair enterprise]. *Sudostroenie*, 2015, 1, 52-54.
12. **Antsev, V. Yu., Vitchuk, N. A.** Upravlenie proizvodstvennyim protsessom na osnove postroeniya strukturno-funktsionalnykh modeley [Management of the production process based on the construction of structural and functional models]. *Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki*, 2016, 8, ch. 2, 139-146.
13. **Ivlev, V. A., Popova, T. V.** Reorganizatsiya deyatel'nosti predpriyatiy: ot strukturnoy k protsessnoy organizatsii [Reorganization of enterprises: from structure to procedures]. Moskva: Nauchtehlitizdat. 2000, 281.
14. **Grechnikov, F. V., Nenashev, V. Yu., Haymovich, I. N.** Upravlenie tehnologicheskoy podgotovkoy proizvodstva na osnove integrirovaniya avtomatizirovannogo proektirovaniya i inzhenernogo analiza [Management of the technological preparation of production based on the integration of computer-aided design and engineering analysis]. *Kuznechno – shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2008, 6, 42–46.
15. **Aliev, B., Kochetkov, Y., Nedelev, K.** Innovative processes in the shipbuilding and shiprepair industry in Latvia. *Journal of Management*, 2017, 30, 1, 111–116.
16. **Molly Inhofe Rapert, Brent M. Wren.** Reconsidering organizational structure: A dual perspective of frameworks

References (transliterated)

1. **Leonov, A. A.** Sovremennyye problemy funktsionirovaniya i razvitiya sudoremontnykh predpriyatiy v Ukraine [Current problems of functioning and development of ship repair enterprises in Ukraine]. *Materialy` tret`oyi naukovoprakty`chnoyi konferentsiyi «Social`no-ekonomichni reformy` u konteksti yevropejs`kogo vy`boru Ukrainy»:* Zbirny`k naukovy`x prac`. – Dnipropetrovs`k: NACz „Era”, 2006, 1, 39-41.
2. **Leonov, A. A.** Perspektivy razvitiya sudoremonta v Ukraine [Prospects for the development of ship repair in Ukraine]. *Rozvy`tok metodiv upravlinnya ta gospodaryuvannya na transporti. Zb. nauk. prac`*, 2000, 6, 50-55.
3. **Davenport, T. H.** Business Innovation. Reengineering Work trough Information Technology. Boston: Harvard Business School Press. 1993, 79.

- and Processes. *Journal of Managerial Issues*, 1998, **10**, 3, 287-301.
17. **Ghosh, S.** Net centrality and technological interoperability in organizations: perspectives and strategies. New York: Idea Group Inc. 2009, 288, doi:10.4018/978-1-60566-854-3.
18. **Mayer, R. J., Menzel, C. P., Painter, M. K., deWitte, P. S., et al.** Information Integration For Concurrent Engineering (IICE). IDEF3 Process Description Capture Method Report. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Air Force Materiel Command. 1995, 224 p.
19. National Institute of Standards and Technology. Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). Washington: Draft Federal Information. 1993, 80 p.

Відомості про авторів (About authors)

Яглицький Юрій Костянтинович - к.т.н., доцент кафедри Суднобудування та ремонту суден, Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4865-0411>; e-mail: Y.Yahlysyi@gmail.com.

Yurii Yahlytskyi - candidate of engineering sciences, associate professor of the Department of Shipbuilding and Ship Repair, Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4865-0411>; e-mail: Y.Yahlysyi@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Яглицький, Ю. К. Удосконалення організації управління та конструкторсько-технологічної підготовки судноремонтного виробництва з використанням інформаційних технологій / **Ю. К. Яглицький** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 77-87. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.10.

Please cite this article as:

Yahlytskyi, Y. Improvement of management and design and technology preparation of ship repair production using information technologies. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 77–87, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.10.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Яглицкий, Ю. К. Совершенствование организации управления и конструкторско-технологической подготовки судноремонтного производства с использованием информационных технологий / **Ю. К. Яглицкий** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 77-87. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.10.

АННОТАЦІЯ *Рассмотрены особенности судноремонтного производства, которые обуславливают определенные трудности управления производственным процессом. Показано, что переход от функционального управления к ориентации на процессы рассматривает деятельность судноремонтного предприятия как выполнение взаимосвязанных бизнес-процессов в виде обобщенного логистического потока работ, который включает в себя материальные, информационные и финансовые потоки, а оптимальное сочетание функционального и процессного подходов в управлении предприятием и организации подготовки производством является «золотой серединой». Исследована функциональная модель управления, дающая возможность целенаправленно преобразовывать материальные, информационные и финансовые потоки судноремонтного предприятия для получения необходимого результата. Рекомендовано для согласования информационных потоков предприятия ввести в систему управления узловую функциональную единицу – планово-диспетчерский отдел. Показано, что для рассмотрения деятельности судноремонтного предприятия как системы взаимосвязанных бизнес-процессов, ориентированных на ремонт судна, можно использовать методiku управления бизнес-процессами на основе цикла PDCA, что позволит получать интегрированные решения, связывающие технические и экономические задачи судноремонта в единый комплекс. Доказано, что оптимальная организация подготовки производства и усовершенствование существующих бизнес-процессов судноремонтного производства на новом технологическом уровне требует использования современных информационных технологий для создания модели взаимосвязанных бизнес-процессов, ориентированных на получение конструкторской и технологической документации для ремонта судна. Предложено для моделирования таких систем использовать методологию семейства IDEF, что позволит выполнить анализ деятельности предприятия и создать регламенты на технологии управления и выполнения бизнес-процессов для повышения эффективности работы персонала и всего предприятия в целом.*

Ключевые слова: судноремонтное производство; функциональное управление; бизнес-процесс; информационные потоки и технологии; моделирование.

Поступила (received) 28.04.2019

УДК 664.3

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.11

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ХЛОРОГЕНОВОЇ КИСЛОТИ У ШРОТІ З НАСІННЯ СОНЯШНИКУ

М. А. ЛАБЕЙКО^{1*}, О. А. ЛИТВИНЕНКО², Ф. Ф. ГЛАДКИЙ², З. П. ФЕДЯКІНА¹

¹ відділ досліджень технології переробки олій та жирів, УкрНДІОЖ НААН, Харків, УКРАЇНА

² кафедра технології жирів та продуктів бродіння, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*e-mail: labejkomarina@gmail.com

АНОТАЦІЯ У статті розглянуто корисні властивості сполук – антиоксидантів стосовно жирювих продуктів харчування, та організму людини вцілому. Зазначено, які бувають антиоксиданти за природою та описано механізми їх дії. Крім того, обґрунтовано вибір соняшникового шроту, як сировини для виробництва антиоксидантів і вказано, які саме антиоксиданти містяться у шроті. До них належать поліфенольні сполуки і, зокрема хлорогенова кислота, кількість якої складає 43-73 % усіх поліфенольних сполук, виділених з ядра соняшника та 1-4 % стосовно соняшкового шроту. Розглянуто методи кількісного аналізу поліфенольних сполук – антиоксидантів та, враховуючи переваги і недоліки, обрано один з них для подальших досліджень – метод перманганатного титрування, який базується на окисненні фенольних сполук перманганатом калію за участю індигокарміну як індикатору. Кінець реакції визначається за зникненням зеленого відтінку і появою чистого жовтого кольору. Обраний метод був удосконалений з метою усунення труднощів під час визначення кінця реакції. Для економії часу та кількості розчинника, підготовку зразка шроту для вилучення поліфенольних сполук і, зокрема хлорогенової кислоти, також вдосконалено за допомогою центрального композиційного ортогонального планування другого порядку з наступним математичним моделюванням в пакеті програмного забезпечення MathCad. Серію дослідів щодо екстрагування хлорогенової кислоти із соняшкового шроту проводили в одну ступінь у колбі зі зворотним холодильником на киплячій водній бані. Визначено оптимальні умови процесу екстрагування: концентрація водного розчину етилового спирту становить 60%, гідромодуль шрот: розчинник 1:90, тривалість екстракції - 30 хвилин. За отриманих умов масова частка хлорогенової кислоти складає 7,99 %. (Враховуючи, що масова частка хлорогенової кислоти у соняшково шроті за традиційних умов екстрагування – складає 6,80 %). Визначення оптимальних параметрів процесу екстрагування фенольних сполук дозволило істотно скоротити тривалість процесу підготовки проби, зменшити вартість екстрагента - етанольного розчину і збільшити вихід кінцевого продукту у порівнянні з відомим традиційним методом.

Ключові слова: антиоксидант; соняшковий шрот; процес екстракції; фенольні сполуки; хлорогенова кислота; оптимальні умови; математичне моделювання

IMPROVEMENT OF THE TECHNIQUE OF QUANTITATIVE DETERMINATION OF CHLOROGENIC ACID IN SHROT FROM SUNFLOWER SEEDS

M. LABEIKO¹, E. LITVINENKO², F. GLADKII², Z. FEDYAKINA¹

¹ Department of research technology processing oils and fats, Ukrainian Scientific-Research Institute of oils and fats National Academy of Agrarian Sciences, Kharkov, UKRAINE

² Department of technology of fats and fermentation products, NTU "KhPI", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In the article the useful properties of compounds – antioxidants in relation to fatty foods and the human body in general reviewed. It is noted that there are antioxidants by nature and the mechanisms of their action described. In addition, the choice of sunflower meal as a raw material for the production of antioxidants and the exact antioxidants contained in the meal are substantiated. These include polyphenolic compounds, and in particular chlorogenic acid, which amounts to 43-73% of all polyphenolic compounds isolated from sunflower kernels and 1-4% of sunflower meal. The methods of quantitative analysis of polyphenolic compounds - antioxidants are considered, and, taking into account the advantages and disadvantages, one of them was chosen for further research – the method of permanganate titration, which is based on oxidation of phenolic compounds with potassium permanganate with indigoquinoline as an indicator. The end of the reaction is determined by the disappearance of the green tint and the appearance of pure yellow color. The chosen method has been improved in order to eliminate the difficulties in determining the end of the reaction. To save time and amount of solvent, preparation of a sample of copper for the removal of polyphenolic compounds and, in particular, chlorogenic acid has also been improved with the help of central composite orthogonal planning of the second order, followed by mathematical modeling in the MathCad software package. Series of experiments on extraction of chlorogenic acid from sunflower oil was carried out in a single stage in a flask with a back fridge in a boiling water bath. The optimal conditions of the extraction process were determined: the concentration of the aqueous solution of ethyl alcohol is 60%, the hydrostructure of the meal: the solvent 1:90, the duration of extraction – 30 minutes. Under these conditions, the mass fraction of chlorogenic acid is 7.99%. (Considering that the mass fraction of chlorogenic acid in sunflower meal under traditional extraction conditions is 6.80 %.) Determination of optimal parameters of the extraction process of phenolic compounds allowed to significantly reduce the length of the preparation process, reduce the cost of extractant-ethanol solution and increase the yield of the final product in comparable to the known traditional method.

Keywords: antioxidant; sunflower meal; extraction process; phenolic compounds; chlorogenic acid; optimal conditions; mathematical modeling

Вступ

Про здатність антиоксидантів уповільнювати шкідливі процеси пероксидного окиснення ліпідів

(ПОЛ) [1], як в організмі людини, так і у харчових продуктах, відомо досить багато. Поділяють сполуки-антиоксиданти на природні (вітамін С, β- каротин,

вітамін Е, поліфенольні сполуки та інші) і штучно синтезовані (трибутилгідроксінон, бутилгідроксітолуол, бутилгідроксіанізол, пропілгалат та інші). Стосовно синтетичних антиоксидантів слід зазначити, що ці сполуки повинні бути використані чітко за призначенням і під суворим контролем у зв'язку з їх потенційною токсикологічною небезпекою для здоров'я людини [1].

Антиоксиданти можуть діяти за двома механізмами: взаємодіяти з проміжними пероксидними сполуками, сповільнюючи таким чином вироджене розгалуження (карбамати, тіокарбамати, фосфати, сульфідиди, та тіофосфати металів), чи з вільними радикалами, обриваючи ланцюги. Наприклад, бутильований гідроксіанізол діє як прибирач вільних радикалів, додається до харчових продуктів для запобігання згірнення жиру, розкладу вітамінів [2].

Якщо звернути увагу на джерела антиоксидантів, то тут викликає великий інтерес соняшниковий шрот [3,4]. Ця вторинна дешева сировина, якої в Україні щороку виробляється велика кількість, виявляється містить природні антиоксиданти – поліфенольні сполуки, такі як хлорогенова [5,6] та кавова кислоти [7]. Результати багатьох досліджень свідчать про корисні властивості вказаних антиоксидантів [8, 9].

Серед фенольних сполук, що містяться у насінні та шроті соняшнику, переважає хлорогенова кислота. Її кількість складає 43-73 % усіх фенольних сполук, виділених з ядра соняшника [10] та 1-4 % стосовно соняшникового шроту [11].

Відносно методів визначення фенольних сполук та, зокрема хлорогенової кислоти, слід зазначити, що основними з них є хроматографічний [12-14], спектрофотометричний [15], колориметричний [16] та метод перманганатного титрування [17]. Основною перевагою останнього можна назвати відсутність необхідності у дорогому обладнанні. Однак громіздка пробопідготовка, яку передбачають усі зазначені методи, змушує шукати можливості щодо спрощення та зменшення витрат часу на дану технологічну операцію.

Мета роботи

Метою роботи є спрощення методики екстракції поліфенольних сполук і, зокрема, хлорогенової кислоти; досягнення скорочення тривалості процесу екстракції та зменшення кількості розчинника для дослідження за рахунок удосконалення стадії підготовки дослідного матеріалу до аналізу. Крім того необхідна модифікація обраного для подальших досліджень методу перманганатного титрування з метою усунення труднощів визначення кінця реакції.

Викладення основного матеріалу

За відомою методикою [17], соняшниковий шрот подрібнюють до проходу крізь сито 0,25 мм та

беруть наважку близько 2 г. Підготовка матеріалу передбачає екстракцію хлорогенової кислоти водним розчином етилового спирту з концентрацією 80 % при співвідношенні шрот: розчинник 1:10, тривалість екстракції – 20–30 хвилин при безперервному перемішуванні на механічному струшувачі з повторністю вісім – дев'ять разів. Екстракт відокремлюють центрифугуванням. Потім об'єднані екстракти упарюють під вакуумом на водяній бані при температурі не більше 50 °С до об'єму 30–40 мл. Упарений екстракт кількісно переносять у мірну колбу ємністю 50 мл, об'єм розчину доводять до мітки водним розчином етилового спирту з концентрацією 80 % і проводять подальші дослідження.

Саме через дев'яноступінчасту екстракцію, яка займає близько 5 годин, цей метод є кропітким, довготривалим та не раціональним.

Для встановлення раціональних умов екстрагування хлорогенової кислоти, скорочення часу, необхідного для отримання екстракту, та зменшення витрат розчинника для визначення вмісту хлорогенової кислоти проведено наступні дослідження.

Пошук раціональних умов екстрагування хлорогенової кислоти відбувся з використанням методу математичного планування експерименту. Використовували центральне композиційне ортогональне планування другого порядку (ЦКОП) з наступним математичним моделюванням в програмному пакеті *MathCad*.

Серію дослідів щодо екстрагування хлорогенової кислоти із соняшникового шроту проводили в одну ступінь у колбі зі зворотним холодильником на киплячій водяній бані.

Під час дослідження впливу умов екстрагування хлорогенової кислоти із соняшникового шроту отримано залежність масової частки хлорогенової кислоти (Y) від концентрації водного розчину етилового спирту (X_1), гідромодуля шрот: розчинник (X_2) та тривалості екстракції (X_3), а також розраховано раціональні параметри процесу. Умови проведення досліджень представлено у табл. 1.

На підставі відповідних розрахунків знайдено значення функції відгуку та одержано криві регресій. Залежність масової частки хлорогенової кислоти (Y , %) від основних параметрів екстрагування у кодових змінних має вигляд:

$$Y = 5,1538 + 0,171 \cdot X_1 + 2,0888 \cdot X_2 - 0,196 \cdot X_3 - 0,194 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,239 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,36125 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,21625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (1)$$

Після виключення незначимого коефіцієнту при X_1 (визначеного за критерієм Стюдента $t_{1-t_{cr}}$) крива регресії має наступний вигляд:

$$Y = 5,1538 + 2,0888 \cdot X_2 - 0,196 \cdot X_3 - 0,194 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,239 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,36125 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,21625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

Таблиця 1 – Умови проведення досліджень

№	Фактори	Концентрація водного розчину етилового спирту, %	Гідромодуль шрот : розчинник	Тривалість екстракції, хв
1	Код	X_1	X_2	X_3
2	Основний рівень, X_{10}	70	1:50	45
3	Інтервал варіювання, ΔX_i	10	1:40	15
4	Верхній рівень, + 1	80	1:90	60
5	Нижній рівень, - 1	60	1:10	30

Обговорення результатів

Аналіз отриманої моделі показує, що домінуючим фактором є гідромодуль шрот:розчинник, а такий фактор як концентрація водного розчину етилового спирту в межах 60–80 % не впливає на масову частку хлорогенової кислоти і коефіцієнт при X_1 є незначимим.

Для екстрагування хлорогенової кислоти раціональні умови процесу підготовки соняшникового шроту наступні: концентрація водного розчину етилового спирту – 60 %, гідромодуль шрот:розчинник 1:90, тривалість екстракції – 30 хвилин, при яких масова частка хлорогенової кислоти складає 7,99 %. (Враховуючи, що масова частка хлорогенової кислоти у соняшниковому шроті за традиційних умов екстрагування – складає 6,80 %).

Результати експерименту щодо масової частки хлорогенової кислоти у соняшниковому шроті отримано методом перманганатного титрування, який базується на окисленні фенольних сполук перманганатом калію за участю індигокарміну як індикатору. Кінець реакції визначається за зникненням зеленого відтінку і появою чистого жовтого кольору.

Однак під час здійснення титрування за умов, що зазначено в літературних джерелах, виникають труднощі при визначенні кінця реакції, оскільки жовтого золотавого відтінку не спостерігається, насправді при титруванні перманганатом калію сине забарвлення розчину поступово переходить через сине-зелене, темно-зелене в зелене з коричневим відтінком. Тому зазначений метод нами модифіковано. Відмінність методу складається у значному розведенні зразка екстракту перед титруванням, що обумовлено насиченістю розчину індигокарміну, та способом приготування самого індикатору індигокарміну.

Висновки

У результаті проведених досліджень зроблені наступні висновки:

– визначено раціональні умови процесу підготовки соняшникового шроту до екстракції поліфенольних сполук і, зокрема, хлорогенової кислоти: концентрація водного розчину етилового спирту – 60 %, гідромодуль шрот:розчинник 1:90,

тривалість екстракції – 30 хвилин, при яких масова частка хлорогенової кислоти складає 7,99 %. Це дало змогу зменшити тривалість процесу екстракції та витрат розчинника, а також підвищити вихід кінцевого продукту;

– удосконалено метод перманганатного титрування з метою усунення труднощів під час визначення кінця реакції.

Список літератури

1. Шаповалова, И. Е. Возможность использования подсолнечного шрота как источника природного антиоксиданта – хлорогеновой кислоты / И. Е. Шаповалова, З. П. Федакина // *Олейно-жировый комплекс*. – 2013. – №2 (41). – С. 49-50.
2. Гунина, Л. Механизмы влияния антиоксидантов при физических нагрузках / Л. Гунина // *Наука в олимпийском спорте*. – 2016. – № 1. – С. 25-32.
3. Литвиненко, О. А. Виробництво харчових форм білків із насіння олійних культур / О. А. Литвиненко, Ф. Ф. Гладкий, З. П. Федакіна. – К.: Аграр. Наука, 2016. – 52 с.
4. Schmidt, S. Potential application of oilseeds as source of antioxidants for food lipids – a review / S. Schmidt, J. Pokorny // *Czech. J. Food Sci.* – 2005. – Vol. 23. – P. 93-102. – doi: 10.17221/3377-CJFS.
5. Лекарь, А. В. Экстракция хлорогеновой кислоты из сабельника болотного COMARUS PALUSTRE L. В среде субкритической воды / А. В. Лекарь, О. В. Филонова, С. Н. Борисенко [и др.] // *Химия растительного сырья*. – 2014. – № 3. – С. 201-207. – doi: 10.14258/jepm.1403201.
6. Yang, D. Development of a new chlorogenic acid certified reference material for food and drug analysis / D. Yang; L. Jiao, Tai Ling [et al.] // *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. – 2017. – Vol. 140. – P. 169-173. – doi:10.1016/j.jpba.2017.03.026.
7. Чуклин, Р. Е. Влияние кофейной кислоты на сердечно-сосудистую систему в эксперименте : дис. ... канд. мед. наук : 14.03.06 / Роман Евгеньевич Чуклин. – Курск, 2012. – 130 с.
8. Левицкий, А. П. Хлорогеновая кислота: биохимия и физиология / А. П. Левицкий, Е. К. Вертикова, И. А. Селиванская // *Микробиология і біотехнологія*. – 2010. – №2. – С. 6-20.
9. Karamac, M. Antioxidant activity of phenolic compounds identified in sunflower seeds / M. Karamac, A. Kosinska, I. Estrella [et al.] // *Eur Food Res Technol.* – 2012. – Vol. 235. – P. 221-230. – doi: 10.1007/s00217-012-1751-6.
10. Pedrosa, M. M. Determination of caffeic and chlorogenic acids and their derivatives in different sunflower seeds / M.

- M. Pedrosa, M. Muzquiz, C. Garcia-Vallejo [et al.] // J. Sci. Food Agric.** – 2000. – Vol. 80. – P. 459-464.
- Weisz, G.M.** Identification and quantification of phenolic compounds from sunflower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC-DAD/ESI-MSn / **G. M. Weisz, D. R. Kammerer, R. Carle // Food Chem.** – 2009. – Vol. 115. – P. 758–765.
 - Овчинникова, С. Я.** Определение хлорогеновой кислоты методом планарной хроматографии / **С. Я. Овчинникова, Т. Д. Мезенова, Т. В. Орловская // Журнал Научное обозрение. Фармацевтические науки.** – 2014. – № 1. – С. 41-42.
 - Song, S.H.** Quantitative Analysis, Extraction Optimization, and Biological Evaluation of *Cudrania tricuspidata* Leaf and Fruit Extracts / **S. H. Song, H. K. Sung, D. H. Park [et al.] // Molecules.** – 2017. – Vol. 22. – 1489. – doi:10.3390/molecules22091489.
 - Faqueti, L. G.** Simultaneous identification and quantification of polymethoxyflavones, coumarin and phenolic acids in *Ageratum conyzoides* by UPLC-ESI-QToF-MS and UPLC-PDA/ **L. G. Faqueti, L. P. Sandjo, M. W. Biavatti // Journal of pharmaceutical and biomedical analysis.** – 2017. – Vol. 145. – P. 621-628. – doi:10.1016/j.jpba.2017.07.034.
 - Бельтюкова, С. В.** Люминесцентное определение хлорогеновой кислоты в зернах кофе / **С.В. Бельтюкова, А. А. Бычкова // Харчова наука і технологія.** – 2010. – № 1(10). – С. 100-104.
 - Храмов, В. А.** Способ определения хлорогеновой кислоты в растительных объектах / **В. А. Храмов, В. И. Комарова // Гигиена и санитария.** – 1999. – № 6. – С.71.
 - Добрунов Д. Є.** Технологія комплексної переробки соняшникової макухи з безлушпинного ядра : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.06 / **Дмитро Євгенійович Добрунов.** – Харків, 2016. – 181 с.
 - Khymyia rastytelnoho syria [Chemistry of plant materials],** 2014, **3**, 201-207, doi: 10.14258/jepm.1403201.
 - Yang, D., Jiao, L., Ling, Tai [et al.].** Development of a new chlorogenic acid certified reference material for food and drug analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 2017, **140**, 169-173, doi: 10.1016/j.jpba.2017.03.026
 - Chuklyn, R. E.** Vlyianyie kofeinoi kysloty na serdechno-sosudystuiiu systemu v eksperymente [Effect of caffeic acid on the cardiovascular system in the experiment]: *dys. ... kand. med. nauk* : 14.03.06., Kursk, 2012, 130.
 - Levytskyi, A. P., Vertykova, E. K., Selyvanskaia, Y. A.** Khlороhenovaia kyslota: byokhymyia y fyziolohyia [Chlorogenic acid: biochemistry and physiology]. *Mikrobiolohiia i biotekhnolohiia [Microbiology and Biotechnology]*, 2010, **2**, 6-20.
 - Karamac, M., Kosinska, A., Estrella, I. [et al.]** Antioxidant activity of phenolic compounds identified in sunflower seeds. *Eur Food Res Technol*, 2012, **235**, 221-230, doi: 10.1007/s00217-012-1751-6.
 - Pedrosa, M. M., Muzquiz, M., Garcia-Vallejo, C. [et al.]** Determination of caffeic and chlorogenic acids and their derivatives in different sunflower seeds. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, **80**, 459-464.
 - Weisz, G. M., Kammerer, D. R., Carle, R.** Identification and quantification of phenolic compounds from sunflower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC-DAD/ESI-MSn. *Food Chem*, 2009, **115**, 758-765.
 - Ovchynnykova, S. Ia., Mezenova, T. D., Orlovskaja, T. V.** Opredelenye khlороhenovoi kysloty metodom planarnoi khromatohrafyy [Determination of chlorogenic acid by planar chromatography]. *Sovremennye problemy nauky y obrazovanyia [Journal Scientific Review. Pharmaceutical Sciences]*, 2014, **1**, 41-42.
 - Song, S. H., Sung, H. K., Park, D. H. [et al.]** Quantitative Analysis, Extraction Optimization, and Biological Evaluation of *Cudrania tricuspidata* Leaf and Fruit Extracts *Molecules*, 2017, **22**, 1489, doi: 10.3390/molecules22091489.
 - Faqueti, L. G., Sandjo, L. P., Biavatti, M. W.** Simultaneous identification and quantification of polymethoxyflavones, coumarin and phenolic acids in *Ageratum conyzoides* by UPLC-ESI-QToF-MS and UPLC-PDA. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 2017, **145**, 621-628, doi: 10.1016/j.jpba.2017.07.034.
 - Beltukova, S. V., Bychkova, A. A.** Liiumynestentnoe opredelenye khlороhenovoi kysloty v zernakh kofe [Luminescent determination of chlorogenic acid in coffee beans]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia [Food Science and Technology]*, 2010, **1(10)**, 100-104.
 - Khramov, V. A., Komarova, V. Y.** Sposob opredelenyia khlороhenovoi kysloty v rastytelnykh ob'ektakh [Method for determination of chlorogenic acid in plant objects] *Hyhyena y sanytaryia [Hygiene and Sanitation]*, 1999, **6**, 71.
 - Dobrunov, Dmytro Yevheniiiovych.** Tekhnolohiia kompleksnoi pererobky soniashnykovoi makukhy z bezlushpynnoho yadra : *dys. ... kand. tekhn. nauk* : 05.18.06. Kharkiv, 2016, 181.

References (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Лабейко Марина Анатоліївна – молодший науковий співробітник відділу досліджень технології переробки олій та жирів, Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-6306-6272; e-mail: labejkomarina@gmail.com.

Marina Labeiko – junior researcher of oil and fat technology processing research department, Ukrainian Research Institute of oils and fats of the National academy of agricultural sciences of Ukraine, Kharkov, Ukraine; ORCID: 0000-0002-6306-6272; e-mail: labejkomarina@gmail.com.

Литвиненко Олена Анатоліївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна. ORCID: 0000-0003-0493-1585; e-mail: elena.litvinenko14@gmail.com.

Olena Litvinenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher, Docent, Department of technology of fats and fermentation products, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0493-1585; e-mail: elena.litvinenko14@gmail.com.

Гладкий Федір Федорович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна. ORCID: 0000-0002-7995-0863; e-mail: gladky2009@gmail.com.

Fedir Gladkiy – Doctor of Technical Science, Professor, Professor, Department of technology of fats and fermentation products, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-7995-0863; e-mail: gladky2009@gmail.com.

Федякіна Зоя Павлівна – завідувач відділом досліджень технології переробки олій та жирів, Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-6733-8204; e-mail: pererobka.fatoil@gmail.com.

Zoya Fedyakina – Head of oil and fat technology processing research department, Ukrainian Research Institute of oils and fats of the National academy of agricultural sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-6733-8204; e-mail: pererobka.fatoil@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лабейко, М. А. Удосконалення методики кількісного визначення хлорогенової кислоти у шроті з насіння соняшнику / **М. А. Лабейко, О. А. Литвиненко, Ф. Ф. Гладкий, З. П. Федякіна** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 88-92. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.11.

Please cite this article as:

Labeiko, M., Litvinenko, E., Gladkii, F., Fedyakina, Z. Improvement of the technique of quantitative determination of chlorogenic acid in shrot from sunflower seeds. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 10 (1335), 88-92, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.11.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Лабейко, М. А. Усовершенствование методики количественного определения хлорогеновой кислоты в шроте из семян подсолнечника / **М. А. Лабейко, О. А. Литвиненко, Ф. Ф. Гладкий, З. П. Федякіна** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 88-92. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.11.

АННОТАЦІЯ В статті розглянуті корисні властивості сполучень – антиоксидантів касательно жирових продуктів харчування та організму людини в цілому. Показано, які бувають антиоксиданти по природі, та описані механізми їх дії. Крім того, обґрунтовано вибір підсолонечного шроту як сировини для отримання антиоксидантів та вказано, які саме антиоксиданти містяться в шроті. К ним належать поліфенольні сполучення, а в частині хлорогенової кислоти, кількість якої становить 43-73% всіх поліфенольних сполучень, виділених з ядра підсолонечника, та 1-4% касательно підсолонечного шроту. Розглянуті методи кількісного аналізу поліфенольних сполучень – антиоксидантів, враховуючи переваги та недоліки, обрано один з них для подальших досліджень – метод перманганатного титрування, який базується на окисненні фенольних сполучень перманганатом калію при участі індигокарміна в ролі індикатора. Кінець реакції визначається по зникненню зеленого відтінку та появленню чистого жовтого кольору. Обраний метод був удосконалений з метою усунування труднощів в час визначення кінця реакції. Для економії часу та кількості розчинника, підготовку зразка шроту при вилученні поліфенольних сполучень, а в частині хлорогенової кислоти, також удосконалили при використанні центрального композитного ортогонального планування другого порядку з наступним математичним моделюванням в пакеті програмного забезпечення MathCad. Серію експериментів касательно екстракції хлорогенової кислоти з підсолонечного шроту проводили в одну стадію в колбі з обертовим холодильником на киплячій водяній бані. Визначено оптимальні умови процесу екстракції: концентрація водного розчину етилового спирту – 60%, гідромодуль шрот:розчинник 1:90, тривалість екстракції – 30 хвилин. При отриманих умовах масова частка хлорогенової кислоти становить 7,99% (враховуючи, що масова частка хлорогенової кислоти в підсолонечному шроті при традиційних умовах екстрагування – становить 6,80%). Визначення оптимальних параметрів процесу екстракції фенольних сполучень дозволило суттєво скоротити тривалість процесу підготовки проби, знизити вартість екстрагенту – етанольного розчину та збільшити вихід кінцевого продукту в порівнянні з відомим традиційним методом.

Ключові слова: антиоксидант; підсолонечний шрот; процес екстракції, фенольне сполучення; хлорогенова кислота; оптимальні умови; математичне моделювання

Поступила (received) 06.05.2019

УДК 621.07.044.4:664.1

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ОТРИМАННЯ ФРУКТОЗО-ОЛІГОСАХАРИДНИХ СУМІШЕЙ

А. І. МАРИНІН, С. В. ПОЗНЯКОВСЬКИЙ, Н. М. БРЕУС, Р. С. СВЯТНЕНКО*

Національний університет харчових технологій, Київ, УКРАЇНА

*e-mail: Svyatnenko@i.ua

АНОТАЦІЯ Створення продуктів оздоровчого призначення на основі сировини, яка містить у своєму складі значну кількість інуліну, розширення асортименту за рахунок біологічно активних добавок – важливий напрямок розвитку харчової промисловості. Але ця продукція часто має іноземне походження та високу вартість. Тому на сьогодні нагальною необхідністю є розроблення вітчизняних продуктів харчування профілактичного призначення на основі рослинної сировини, зокрема інуліноносіїв. На сьогоднішній день в харчовій і переробній промисловості все більше знаходять застосування електрофізичні методи обробки харчових продуктів і напівпродуктів, одним з яких є електрогідралічна обробка. Основними перевагами цієї технології, є збереження харчових властивостей продуктів, універсальність, яка дозволяє застосовувати їх в різних технологічних процесах, економічність завдяки використанню цілого комплексу високо інтенсивних фізичних факторів, екологічність за рахунок виключення використання тепла. У Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій були проведені експериментальні дослідження з метою вивчення дії впливу електрогідралічної обробки на гідроліз інуліну. Дослідження проводилися з використанням експериментальної установки, розробленої фахівцями НУХТ. Дослідження проводили наступним чином: інулін розводили у воді при кімнатній температурі до вмісту сухих речовин у розчині або суспензії від 2 до 30 %. Для набухання зерен полісахариду порошки замочували у воді на 72 години, після чого зразки піддавали електрогідралічному обробленню на експериментальній установці при напрузі 30, 35 та 40 кВ. Під час дослідження було з'ясовано, що незалежно від концентрації суспензії порошку цикорію та інуліну, найбільш раціональним є режим електрогідралічного оброблення з напругою 35 кВ та кількістю розрядів 20...30, що сприяє найбільшому переходу редукувальних речовин. Експериментально встановлено вплив режимів електрогідралічного оброблення на подрібнення порошку цикорію, наслідком чого є збільшення дисперсності, що покращує процес гідролізу. Доведено, що зростання кількості розрядів призводить до активації в цих умовах рекомбінаційних процесів.

Ключові слова: електрогідралічне оброблення; цикорій; гідроліз інуліну; редукувальні речовини; двох факторна модель

STUDY OF THE EFFECT OF ELECTRO-HYDRAULIC TREATMENT ON RECEIVING OF FRUCTOSE - OLIGOSACCHARIDE MIXTURES

A. MARYNIN, S. POZNYAKOVSKY, N. BREEUS, R. SVYATNENKO

National University of Food Technologies, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The creation of health products based on raw materials, which contains a significant amount of inulin, expands the range of products due to dietary supplements, which is an important direction in the development of the food industry. But this product often has a foreign origin and is expensive. Therefore, today it is a necessity to develop domestic prophylactic food products based on vegetable raw materials, in particular, inulin. Today, in the food and processing industry, electro physical methods for the processing of food products and semi-products are increasingly being used, one of which is electrohydraulic treatment. Experimental studies were conducted at the Problem Research Laboratory of the National University of Food Technologies to study the effect of electrohydraulic treatment on inulin hydrolysis. The studies were carried out using an experimental installation developed by NUFT specialists. The studies were carried out as follows: inulin was diluted in water at room temperature to a dry solids content of 2 to 30% in a solution or suspension. Powders were soaked in water for a period of 72 hours to swell polysaccharide grains, after which the samples were subjected to electrohydraulic treatment at an experimental installation at a voltage of 30, 35 and 40 kV. During the study, it was found that regardless of the concentration of suspension of chicory and inulin, the most rational is the regime of electrohydraulic treatment with a voltage of 35 kV and the number of discharges of 20 ... 30, which contributes to the greatest transition of reducing agents. It was established, that regardless of the concentration of chicory powder and inulin suspension, the most rational is the mode of electro-hydraulic treatment with a voltage of 35 kV and the number of discharges 20 ... 30, which contributes to the greatest transition of reducing substances. The influence of regimes of electrohydraulic treatment on crushing chicory powder has been experimentally determined, resulting in an increase in dispersion, which improves the process of hydrolysis. It is proved that an increase in the number of discharges leads to activation of recombination processes under these conditions.

Keywords: electro-hydraulic treatment; chicory; inulin hydrolysis; reducing agents; two factor model

Вступ

Основною проблемою традиційних способів оброблення рослинної сировини, яка є одним з основних об'єктів перероблення у харчовій,

фармацевтичній, мікробіологічній, хімічній та інших галузях народного господарства, є недостатньо висока ефективність та глибина перероблення.

Нині, перспективним напрямом у розробленні нових процесів харчових виробництв є застосування електрофізичних методів оброблення.

Рядом дослідників [1-11], доведено перспективність електрофізичної обробки, як напрямку для харчової промисловості з метою інтенсифікації технологічних процесів і покращення якості продуктів і напівфабрикатів, зокрема для виробництва цукру, крохмалю, інуліну, фруктози тощо.

Електрогідрравлічне оброблення (ЕГО) засноване на механічній дії каналу розряду, що розширюється, та короткочасного імпульсного розряду.

Як відомо [12], при ЕГО в рідині теплова дія на об'єкт практично відсутня, а механічний вплив відбувається внаслідок безпосереднього електричного контакту, через рідинну фазу. В той же час основним джерелом впливу на внутрішні дифузійні процеси при екстрагуванні є акустичні пружні хвилі, що виникають під час розряду [13].

При дії пружних хвиль кінцевої амплітуди на рослину сировину в клітинах останньої виникають складні структурні напруження [14].

Мета роботи

Метою роботи є вивчення впливу режимів імпульсного ЕГО на суспензії цикорію та розчину інуліну.

Виклад основного матеріалу

Найбільш поширеним способом отримання фруктозо-олігосахаридних сумішей є гідроліз інуліну.

Процес гідролізу – це деструкція полісахариду під впливом молекул води, при цьому в молекулі полісахариду розриваються глікозидні зв'язки і по місцю розриву приєднуються елементи молекули води (H, OH). В результаті утворюються молекули моносахаридів. При неповному гідролізі з полісахариду утворюються олігосахариди.

Серед способів гідролізу інуліну найбільш розповсюдженим є оброблення його розчинів або суспензій мінеральними чи органічними кислотами за умов нагрівання [15-17]. При цьому продукти гідролізу – фруктоза і олігосахариди нижчого ступеню полімеризації, ніж інулін (так звані фруктани), забруднюються продуктами дегідратації та розкладу.

Відомо [18,19], що серед розповсюджених способів одержання фруктозо-олігосахаридних або ж інулоолігосахаридних сиропів з інуліну є гідроліз інуліну за допомогою ензимів, згідно з яким розчин інуліну піддається ензиматичному гідролізу з подальшим відокремленням ферментативного препарату, нейтралізацією, концентруванням і знебарвленням отриманого сиропу. Крім того, для

повного і часткового гідролізу інуліну застосовуються іонообмінні смоли.

До недоліків гідролізу за допомогою кислот слід віднести значну кількість продуктів розкладу та барвникових речовин. Ензиматичний гідроліз та використання іонообмінників вимагають застосування методів хроматографії та технічно складного і високовартісного обладнання, використання якого вимагає додаткових витрат.

Гідроліз за допомогою імпульсної ЕГО здійснювали таким чином: Інулін розводили у воді при кімнатній температурі до вмісту сухих речовин у розчині або суспензії від 2 до 30 %. У разі приготування суспензії її добре перемішували. Порошки для приготування суспензій попередньо замочували у воді на 72 години для набухання зерен полісахариду, що в подальшому сприяло найповнішому гідролізу зразків. Приготовлений розчин або суспензію піддавали ЕГО на експериментальній установці при напрузі 30, 35 та 40 кВ.

Обговорення результатів.

На рис. 1-2 показано залежність вмісту редуковувальних речовин в гідролізаті водних суспензій інуліну від режимів оброблення: кількості високовольних розрядів та напруги розряду.

Величина достовірності апроксимації складала 98,1 % ... 99,5 %.

При 20–ти розрядах в одержаному розчині вміст фруктози становив 3,05 %, загальний ступінь гідролізу – 55,4 % від вихідної кількості інуліну.

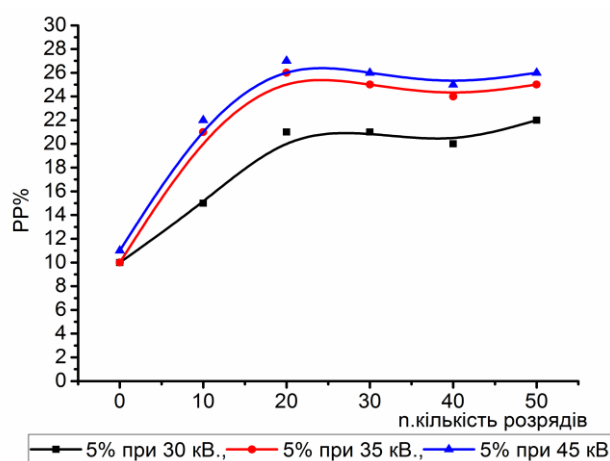


Рис. 1. – Залежність вмісту редуковувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (5 %)

Для порівняння оцінки впливу ЕГО на інуліновмісні продукти готували суспензії цикорію 5 % та 30 % з попереднім витриманням у воді за кімнатної температури, оскільки початкова стадія будь-якого екстрагування висушеної рослинної сировини супроводжується набуханням, тобто

проникненням екстрагенту в сировину і відповідно зміною початкового об'єму, що збільшує шлях дифузії сполук до поверхні частинки. Результати експериментальних досліджень наведено на рис. 3. та на рис. 4.

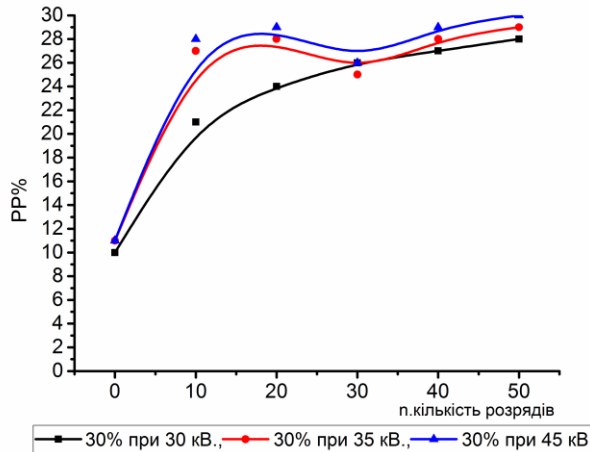


Рис. 2 – Залежність вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (30%)

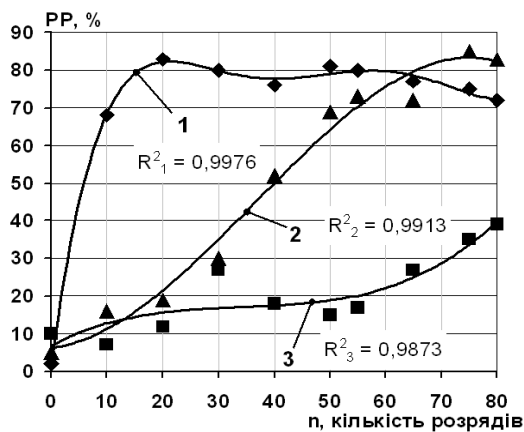


Рис. 3 – Вплив ЕГО з напругою 35 кВ водної суспензії не обсмаженого порошку цикорію 5 %, на вміст редукувальних речовин:

◆ – свіжесмішаної суспензії; ■ - попередньо витримана 24 годин; ▲ - попередньо витримана 24 години та 72 години після оброблення

Аналіз представлених результатів свідчить, що найбільш раціональним режимом вилучення редукувальних речовин є ЕГО суспензії цикорію в режимі з напругою 35 кВ та кількості розрядів від 20...30, в залежності від концентрації суспензії.

Інулін є малостійкою сполукою до механічних впливів, тому його молекули руйнуються (фрагментуються) при незначному прикладанні механічних зусиль.

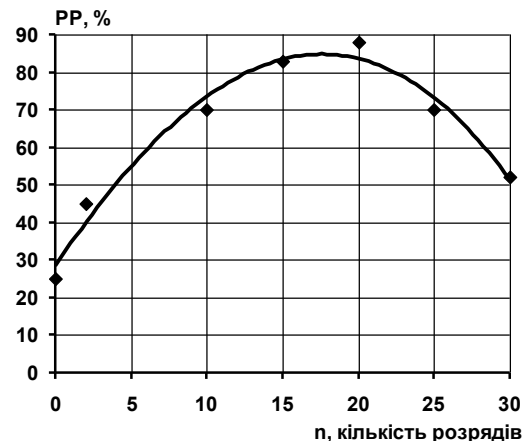


Рис. 4 – Вплив ЕГО з напругою 35 кВ водної суспензії не обсмаженого порошку цикорію 30 %, попередньо витриманої 24 годин, на вміст редукувальних речовин

Цикорій являється більш перспективним для практичного застосування в харчовій промисловості порівняно з чистим інуліном, тому що крім інуліну, в ньому міститься багато інших біологічно активних речовин, введення яких в харчові продукти у складі цикорію є бажаним [20-24].

Внаслідок комплексу фізичних явищ, що виникають під час високовольтного розряду у рідині, відбувається механічний розрив молекул інуліну по місцю глікозидних зв'язків між фруктозними структурними одиницями з приєднанням молекул води, тобто відбувається частковий гідроліз інуліну. При цьому деяка частина молекул інуліну перетворюється в кінцевий продукт повного гідролізу – фруктозу.

Використання ЕГО для здійснення процесу гідролізу інуліну забезпечує нейтральну реакцію вихідного середовища, відсутність добавок інших хімічних агентів, тобто досягається збільшення чистоти утворених фруктозо-олігосахаридних сумішей порівняно з традиційними способами гідролізу.

Для обробки експериментальних даних вмісту редукувальних речовин, моделювання виконано за допомогою двох факторної нелінійної (степеневі) регресійної моделі Кобба-Дугласа, яка в загальному має вигляд:

$$Y = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} + \varepsilon \quad (1)$$

b_0 - вільний член, який визначає значення Y , в разі, коли всі незалежні змінні X_i рівні 0.

b_1, b_2 - показують наскільки зміниться результативна ознака, при зміні на одиницю вимірювання кожного незалежного фактора x_1 та x_2 .

b_0 - вільний член, який визначає значення Y , в разі, коли всі незалежні змінні X_i рівні 0.

b_1, b_2 – показують наскільки зміниться результативна ознака, при зміні на одиницю вимірювання кожного незалежного фактора x_1 та x_2 .

При визначенні вмісту редукувальних речовин, %: x_1 – напруга, кВ;

x_2 – кількість розрядів;

Y – вмісту редукувальних речовин, %;

ε – випадкова змінна, що характеризує відхилення факторів x_1, x_2 від лінії регресії (залишкова змінна).

В нашому дослідженні - математичне сподівання випадкового відхилення ε_i дорівнює 0 для всіх спостережень ($M(\varepsilon_i) = 0$).

Для оцінки невідомих параметрів b_0, b_1, b_2 застосовано метод найменших квадратів (МНК). Згідно з методом невідомі параметри функції вибираються таким чином, щоб сума квадратів відхилень експериментальних (емпіричних) значень Y_i від їх розрахункових (теоретичних) Y_{ip} значень була мінімальною, тобто:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{ip})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \varphi(X_i, b_0, b_1, \dots, b_k))^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Моделювання та обробка експериментальних даних виконувались за допомогою математичного пакету MathCad15.

Отримані рівняння математичних моделей мають вигляд:

Рівняння, що описує кількісний вміст редукувальних речовин розчин інуліну 5%:

$$Y_{5\%} = 1.105 \cdot x_1^{0.781} \cdot x_2^{0.079} \quad (3)$$

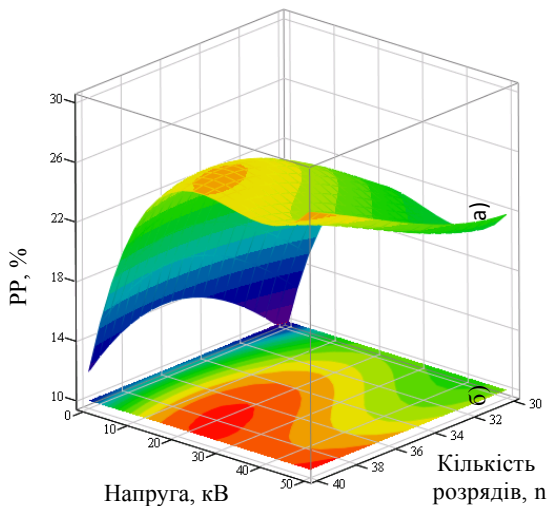


Рис. 5 – 3D графік (а) та графік постійних значень (б) залежності вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (5 %) від режимів оброблення

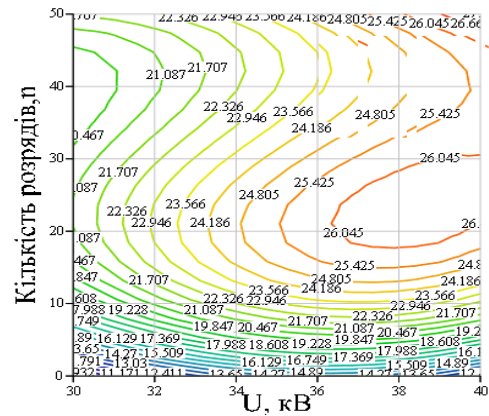


Рис. 6 – Контури постійних значень вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (5 %) від режимів оброблення

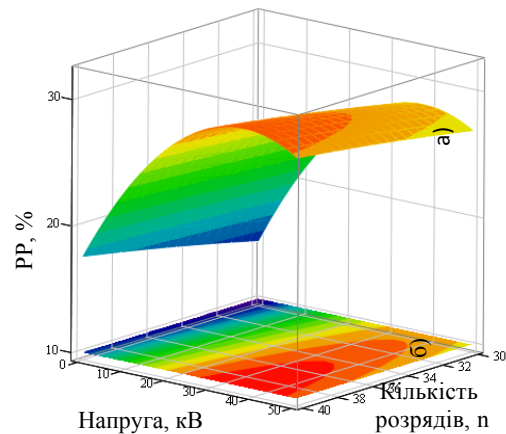


Рис. 7 – 3D графік (а) та графік постійних значень (б) залежності вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (30 %) від режимів оброблення

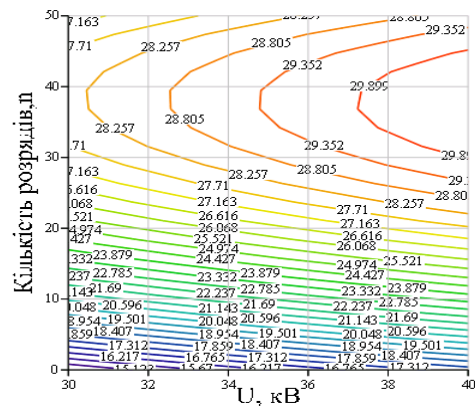


Рис. 8 – Контури постійних значень вмісту редукувальних речовин у гідролізатах водних модельного розчину інуліну (30%) від режимів оброблення

Рівняння, що описує кількісний вміст редукованих речовин розчин інуліну 30%:

$$Y_{30\%} = 4.501 \cdot x_1^{0.423} \cdot x_2^{0.092} \quad (4)$$

Адекватність моделей перевірена за коефіцієнтами детермінації $R^2Y5\%=96\%$, $R^2Y30\%=98\%$, що свідчить про високу якісну характеристику зв'язку коефіцієнтів системи, а також зроблено перевірку за допомогою F-тесту (F-критерій Фішера) та t-розподілу Ст'юдента для оцінки надійності коефіцієнтів кореляції, що підтверджено графічно.

Висновки

Встановлено, що незалежно від концентрації суспензії порошку цикорію та інуліну, найбільш раціональним є режим електрогідралічного оброблення з напругою 35 кВ та кількістю розрядів 20...30, що сприяє найбільшому переходу редукованих речовин. Експериментально встановлено вплив режимів електрогідралічного оброблення на подрібнення порошку цикорію, наслідком чого є збільшення дисперсності, що покращує процес гідролізу. Доведено, що зростання кількості розрядів призводить до активації в цих умовах рекомбінаційних процесів.

Отримані результати свідчать про доцільність продовження роботи в цьому напрямку.

Список літератури

1. Дашковський, Ю. А. Влияние электроискровых разрядов на свойства и качественные показатели сокоотрующей смеси / Ю. А. Дашковський, А. И. Маринин, Ж. И. Прохоренко, А. И. Украинец // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 44 (1214). – С. 55-60. – doi: 10.20998/2413-4295.2018.26.32
2. Святненко, Р. С. Вивчення впливу електрофізичних методів обробки на мікробіологічні показники харчових продуктів / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2017. – Вип. 1 (96). – С. 125-130. – doi: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/25649>.
3. Святненко, Р. С. Дослідження впливу імпульсних електромагнітних полів на органолептичні показники незбираного молока / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко, М. І. Бойко // *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій*. Серія: Харчові технології. – 2017. – 19 (75). – С. 157-160.
4. Святненко, Р. С. Вплив імпульсного електромагнітного поля на життєздатність *Escherichia coli* в модельному розчині молочної сироватки / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-

- Литвиненко, В. Захаревич // *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій*. Серія: Харчові технології. – 2016. – Вип. 18 (2). – С. 92-94. – doi: 10.15421/nvlvet6818.
5. Святненко, Р. С. Вплив імпульсного електромагнітного поля на життєздатність *Escherichia coli* в модельному розчині води / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, А. І. Українець, О. В. Кочубей-Литвиненко // *Науковий вісник НУБіП України*. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2016. – Вип. 252. – С. 185-191. – doi: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/25598>.
6. Meneses, N. Modelling of polyphenoloxidase inactivation by pulsed electric fields considering coupled effects of temperature and electric field / N. Meneses, G. Saldana, H. Jaeger, J. Raso, I. Alvarez, G. Cebrian // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* – 2013. – № 20. – P. 126-132. – doi: 10.1016/j.ifset.2012.12.009.
7. Святненко, Р. С. Вплив імпульсних електричних полів на амінокислотний склад незбираного молока / Р. С. Святненко, А. І. Українець, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко, М. І. Бойко // *Наукові праці НУХТ*. – 2018. – № 1. – С. 119-126. – doi: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26850>.
8. Fojt, L. Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans* / L. Fojt, L. Strásák, V. Vetterl // *Bioelectrochemistry*. – 2007. – №70(1). – P. 91-95. – doi: 10.1016/j.bioelechem.2006.03.
9. Wouters, P. Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing / P. Wouters, I. Alvarez, I. Raso // *Trends Food Sci. Technol.* – 2001. – № 12. – P. 112-121.
10. Svyatnenko, R. Influence of pulsed electric fields on microbiological indices and content of vitamin C in whole milk / R. Svyatnenko, A. Marynin, A. Makogon, O. Fursik // *Scientific Bulletin of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 2017. – Вип. 19 (80). – 29-32. – doi: 10.15421/nvlvet8006.
11. Святненко, Р. С. Дослідження обробки незбираного молока імпульсними електричними полями / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко, О. П. Фурсік // *Науковий журнал «Техніка та енергетика»*, 2018. – Вип. 268. – С.118-124. – doi: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26849>.
12. Слива, Ю. В. Вплив електрогідралічного ефекту на мікрофлору дифузійного соку / Ю. В. Слива, Л. М. Хомічак, В. М. Логвін, А. І. Маринін // *Цукор України*. – 2005. – № 4. – С. 20-22. – doi: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1431>.
13. Маринін, А. І. Розроблення та застосування імпульсного електрогідралічного способу оброблення сировини рослинного походження / Маринін Андрій Іванович. Дис... канд. наук: 05.18.12 – 2007.
14. Олишевский В. В. Влияние электрогидравлической обработки на сокоотрующую смесь сахарной свеклы / Олишевский В. В., Маринин А. И. // *Электронная обработка материалов*. – 2013. – 49 (5). – С. 109-113.

15. **Борисюк, В. О.** Деякі біологічні особливості цикорію коренеплідного / **В. О. Борисюк, К. М. Маковецький** // *Зб. наук. праць ЦДБ*. – 2000. – Вип. 2. – С. 144-151.
16. **Бобровник, Л. Д.** Кинетика гидролиза инулина / **Л. Д. Бобровник, Н. Ю. Зинченко, А. А. Герасименко** // *Сax. Пром-ть*. – 1984. – № 9. – С. 26-27.
17. **Yurta, A. K.** Potential medical and nutritional use of chicory roots and inuline / **A. K. Yurta, N. Kanz, M. Kanz, R. Singh**. – Amsterdam-London-New York-Tokyo: Elsevier, 1993. – P. 359-365.
18. **Гринкевич, Н. И.** Лекарственные растение: Справочное пособие / **Н. И. Гринкевич, И. А. Баландина, В. А. Ермакова** и др. – М.: Высшая школа. 1991. – 397 с.
19. Лікарські рослини. Енциклопедичний довідник / За ред. Акад. АНУРСР А.М. Гродзінського. – Київ: Головна редакція УРЕ ім. М.П. Бажана, 1989. – 544 с.
20. **Попова, И. В.** Фруктозо-инулолигосахаридные сиропы из цикория / **И. В. Попова, Ю. В. Слива** // *Сахар*. – 2012. – № 6. – С. 58-61.
21. **Бочарова, О. В.** Сучасні аспекти формування якості харчових продуктів / **О. В. Бочарова** // *Харчова наука і технологія*. – 2010. – № 4. – С. 22-25.
22. **Вагабов, М. В.** Оптимизация ферментативного процесса гидролиза инулина из топинамбура / **М. В. Вагабов, З. М. Мангуева, П. Д. Мурзаева** // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. – 2007. – № 12. – С. 113-115.
23. **Ricca, E.** Optimization of inulin hydrolysis by inulinase accounting for enzyme time- and temperature-dependent deactivation / **E. Ricca** // *Biochemical engineering journal*. – 2009. – Vol. 48. – № 1. – P. 81-86. – doi: 10.1016/j.bej.2009.08.009.
24. **Saber, W. I.** Optimization of fermentation conditions for the biosynthesis of inulinase by the new source; Aspergillus tamarii and hydrolysis of some inulin containing agro-wastes / **W. I. Saber** // *Biotechnology*. – 2009. – Vol. 8. – № 4. – P. 425-433. – doi: 10.3923/biotech.2009.425.433.
- О., Boyko, M.** Doslidzhennya vplyvu impulsnykh elektromagnitnykh poliv na organoleptychni pokaznyky` nezbyranogo moloka [Investigation of the influence of pulsed electromagnetic fields on the organoleptic parameters of whole milk]. *NV LNU veterynarnoyi medycyny` ta biotekhnologij. Seriya: Xarchovi tekhnologiyi*, 2017, **19**(75), 157-160.
4. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Zakharevych, V. B.** Vlyanye ympulsnoho elektromahnytnoho polia na zhyznesposobnost Escherichia coli v modelnom rastvore molochnoi syvorotky [Influence of pulsed electromagnetic field on viability of escherichia coli in model solution of milk serum]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni SZ Gzhytskoho*, 2016, **18**, 2-3 (68), 92.
5. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Ukrainets, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V.** Vplyv impulsnoho elektromahnytnoho polia na zhyttiezdatnist Escherichia Coli v modelnomu rozchyni vody [Impact of pulsed electromagnetic field on the viability of Escherichia coli in model water solution]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK*, 2016, **252**, 185-191.
6. **Meneses, N., Saldana, G., Jaeger, H. Raso, J., Alvarez, I., Cebrian, G.** Modelling of polyphenoloxidase inactivation by pulsed electric fields considering coupled effects of temperature and electric field. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2013, **20**, 126-132.
7. **Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Cullen, P.J.** Effect of nonthermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science and Technology*, 2009, **20**, 137-145.
8. **Fojt, L., Strasák, L., Vetterl, V.** Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of Paracoccus denitrificans. *Bioelectrochemistry*, 2007, **70**(1), 91-95.
9. **Wouters, P., Alvarez, I., Raso, I.** Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. *Trends Food Sci. Technol.*, 2001, **12**, 112-121.
10. **Svyatnenko, R. et al.** Influence of pulsed electric fields on microbiological indices and content of vitamin C in whole milk. *Scientific Bulletin of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 2017, **19**, 80, 29-32, doi: 10.15421/nvlvet8006.
11. **Svyatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Fursik, O. P.** Doslidzhennya obrobky nezbyranogo moloka impulsnymy elektrychnymy polygamy [Investigation of the processing of whole milk by pulsed electric fields] *Naukovyj zhurnal «Texnika ta enerhetyka»*, 2018, **268**, 118-124, doi: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26849>.
12. **Slyva, Yu. V., Xomichak, L. M., Logvin, V. M., Marynin, A. I.** Vplyv elektrogidravlichnoho efektu na mikrofluoru dyfuzijnogo soku [Influence of electrohydraulic effect on microflora of diffusion juice]. *Tsukor Ukrainy*, 2005, **4**, 20-22.
13. **Marynin, A. I.** Rozroblennia ta zastosuvannia impulsnoho elektrogidravlichnoho sposobu obroblennia syrovyny roslynnoho pokhodzhennia [Development and application of pulsed electrohydraulic method of

References (transliterated)

1. **Dashkovskiy, Yu. A., Marinin, A. I., Prohorenko, Zh. I., Ukrainets, A. I.** Vliyanie elektroiskrovnykh razryadov na svoystva i kachestvennyye pokazateli sokostruzhkovoi smesi [Influence of electric-spark discharges on the properties and quality indicators of a juice-sparging mixture]. *Vestnik NTU «HPI», Seriya: Novyye resheniya v sovremennykh tekhnologiyah*. – Harkov: NTU «HPI», 2018, **44** (1214), 55-60, doi: 10.20998/2413-4295.2018.26.32.
2. **Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V.** Vyvchennia vplyvu elektrofizychnykh metodiv obrobky na mikrobiolohichni pokaznyky kharchovykh produktiv [Study of the influence of electrophysical methods of processing on the microbiological parameters of food products.]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 2017, **1**(96), 125-130.
3. **Svyatnenko, R., Marynin, A., Kochubei-Litvinenko,**

- processing raw materials of vegetable origin] *Doctoral dissertation, stupenia kand. tekhn. nauk: 05.18.12* "Protsezy ta obladnannia kharchovykh, mikrobiolohichnykh ta farmatsevtichnykh vyrobnystv", 2007.
14. **Olishevskiy, V. V., Marinin, A. I.** Vliyanie elektrogidravlicheskoj obrabotki na sokostruzhechnuyu smes saharnoy sveklyi [Influence of electrohydraulic processing on the sugar beet juice mixture]. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 2013, **49** (5), 109-113.
 15. **Borysyuk, V. O., Makoveczkyj, K. M.** Deyaki biologichni osoblyvosti cykoryu koreneplidnogo [Some biological features of chicory root]. *3b. nauk. pracz ICzB*, 2000, **2**, 144-151.
 16. **Bobrovnyk, L. D., Zinchenko, N. Yu., Gerasymenko, A. A.** Kynetyka gydrolyza ynulyna [Inulin hydrolysis kinetics]. *Sax. Prom-t.* 1984, **9**, 26-27.
 17. **Yupta, A. K., Kanz, N., Kanz, M., Singh, R.** Potential medical and nutritional use of chicory roots and inuline. *Amsterdam-London-New York-Tokyo*: Elsevier, 1993, 359-365.
 18. **Grinkevich, N. I., Balandina, I. A., Ermakova, V. A.** Lekarstvennyie rastenije: Spravochnoe posobie [Medicinal plant: Reference Guide]. *M.: Vysshaya shkola*, 1991, 397.
 19. Likarski roslyny. Encyklopedychnyj dovidnyk [Medicinal plant: Reference Guide]. Za red. Akad. ANURSR A.M. Grodzinskogo. *Kyiv: Golovna redakciya URE im. M.P. Bazhana*, 1989, 544.
 20. **Popova, I. V., Sliva, Yu. V.** Fruktozo-inulooligosaharidnyie siropy iz tsikoriya [Fructose inulooligosaccharide syrups from chicory]. *Sahar [Sugar]*, 2012, **6**, 58-61.
 21. **Bocharova, O. V.** Suchasni aspekty formuvannya yakosti xarchovykh produktiv [Modern aspects of the formation of food quality] *Xarchova nauka i tehnologiya [Food Science and Technology]*, 2010, **4**, 22-25.
 22. **Vagabov, M. V., Mangueva, Z. M., Murzaeva, P. D.** Optimizatsiya fermentativnogo protsessu gidroliza inulina iz topinambura [Optimization of the enzymatic process of hydrolysis of inulin from Jerusalem artichoke]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Tehničeskie nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science]*, 2006, **12**, 113-115.
 23. **Ricca, E.** et al. Optimization of inulin hydrolysis by inulinase accounting for enzyme time- and temperature-dependent deactivation. *Biochemical engineering journal*. – 2009, **48**, 1, 81-86.
 24. **Saber, W. I. A.** et al. Optimization of fermentation conditions for the biosynthesis of inulinase by the new source; *Aspergillus tamarii* and hydrolysis of some inulin containing agro-wastes. *Biotechnology*, 2009, **8**, 4, 425-433, doi: 10.3923/biotech.2009.425.433.

Відомості про авторів (About authors)

Маринін Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; ORCID: 0000-0001-6692-7472; e-mail: andrii_marynin@ukr.net.

Andrii Marynin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6692-7472; e-mail: andrii_marynin@ukr.net.

Позняковський Сергій Володимирович – технік першої категорії Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; e-mail: poznsergej7@ukr.net.

Sergey Poznyakovsky – first class technician, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; poznsergej7@ukr.net

Бреус Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; e-mail: ORCID: 0000-0002-0213-9159; e-mail: breusnm@ukr.net.

Natalia Breus – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0213-9159; e-mail: breusnm@ukr.net.

Святненко Роман Сергійович – науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії, Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна; ORCID: 0000-0003-0895-6982; e-mail: svyatnenko@i.ua.

Roman Svyatnenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0895-6982; e-mail: svyatnenko@i.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Маринін, А. І. Дослідження впливу електрогідрравлічного оброблення на отримання фруктозо-олігосахаридних сумішей / **А. І. Маринін, С. В. Позняковський., Н. М. Бреус, Р. С. Святненко** // *Вісник НТУ «ХП»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2019. – № 10 (1335). – С. 93-100. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12.

Please cite this article as:

Marynin, A., Poznyakovsky, S., Breus, N., Svyatnenko, R. Study of the effect of electro-hydraulic treatment on receiving of fructose-oligosaccharide mixtures. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 93-100, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Маринин, А. И. Исследование влияния электрогидравлической обработки на получение фруктозо-олигосахаридных смесей / **А. И. Маринин, С. В. Позняковский, Н. М. Бреус, Р. С. Святненко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2 019. – № 10 (1335). – С. 93-100. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12.

АННОТАЦИЯ Создание продуктов оздоровительного назначения на основе сырья, которое содержит в своем составе значительное количество инулина, расширение ассортимента за счет биологически активных добавок - важное направление развития пищевой промышленности. Но эта продукция часто имеет иностранное происхождение и высокую стоимость. Поэтому сегодня насущной необходимостью является разработка отечественных продуктов питания профилактического назначения на основе растительного сырья, в частности инулиноносителей. На сегодняшний день в пищевой и перерабатывающей промышленности все больше находят применение электрофизические методы обработки пищевых продуктов и полупродуктов, одним из которых является электрогидравлическая обработка. Основными преимуществами этой технологии, является сохранение пищевых свойств продуктов, универсальность, которая позволяет применять их в различных технологических процессах, экономичность благодаря использованию целого комплекса высоко интенсивных физических факторов, экологичность за счет исключения использования тепла. В Проблемной научно-исследовательской лаборатории Национального университета пищевых технологий были проведены экспериментальные исследования с целью изучения действия влияния электрогидравлической обработки на гидролиз инулина. Исследования проводились с использованием экспериментальной установки, разработанной специалистами НУХТ. Исследования проводили следующим образом: инулин разводили в воде при комнатной температуре до содержания сухих веществ в растворе или суспензии от 2 до 30%. Для набухания зерен полисахарида порошки замачивали в воде на 72 часа, после чего образцы подвергали электрогидравлической обработке на экспериментальной установке при напряжении 30, 35 и 40 кВ. Во время исследования было выяснено, что независимо от концентрации суспензии порошка цикория и инулина, наиболее рациональным является режим электрогидравлического обработки с напряжением 35 кВ и количеством разрядов 20 ... 30, что способствует наибольшему переходу редуцирующих веществ. Установлено, что независимо от концентрации суспензии порошка цикория и инулина, наиболее рациональным является режим электрогидравлической обработки с напряжением 35 кВ и количеством разрядов 20 ... 30, что способствует наибольшему переходу редуцирующих веществ. Экспериментально установлено влияние режимов электрогидравлического обработки на измельчение порошка цикория, следствием чего является увеличение дисперсности, что улучшает процесс гидролиза. Доказано, что рост количества разрядов приводит к активации в этих условиях рекомбинационных процессов.

Ключевые слова: электрогидравлическая обработка; цикорий; гидролиз инулина; редуцирующие вещества; двух факторная модель

Поступила (received) 08.04.2019

УДК 628.345.4

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД УБОЙНОГО ЦЕХА ПТИЦЕФАБРИКИ КОАГУЛЯЦИЕЙ

К. А. МАХЛАЙ*, М. А. ЦЕЙТЛИН, В. Ф. РАЙКО

кафедра Химической Техники и Промышленной Экологии (ХТПЭ), НТУ «ХПИ», Харьков, УКРАИНА

*e-mail: cancermakh@gmail.com

АННОТАЦИЯ Для очистки сточных вод пищевых предприятий, в частности мясообрабатывающих, широкое распространение получила напорная флотация. Данный метод очистки весьма надежен и эффективен особенно в сочетании с предварительной коагуляцией. Залогом высокой эффективности работы физико-химической очистки являются как наладка гидравлического режима работы флотатора, так и подбор наиболее подходящих реагентов, их доз и условий среды для их применения. Однако данная задача усложняется ввиду высокой непохожести стоков разных предприятий между собой, и, зачастую, технологические параметры работы этого узла не могут быть спрогнозированы. В статье изучены закономерности протекания коагуляции сточных вод мясоперерабатывающего предприятия с применением трех типов коагулянтов: хлорное железо, сернокислое железо, полиоксихлорид алюминия. В качестве объекта исследования был взят сточные воды действующего предприятия по переработке мяса индейки. Предприятие специализируется на выпуске мяса индейки и мясных полуфабрикатов. Поступающие стоки образуются от убоя, мойки и потрошения птицы, а также мойки оборудования и уборки помещений и содержат большое количество загрязнений таких как: кровь, перо, каньга. Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе экспериментально были определены закономерности протекания коагуляции в широком диапазоне pH среды и получены графики, отображающие зависимость эффективности очистки по взвешенным веществам и цветности от pH среды. Затем, на втором этапе исследования, были исследованы зависимости эффективности очистки от дозы коагулянта. В результате проведенных исследований определены наиболее благоприятные условия для проведения коагуляции и рациональные дозы коагулянтов. При применении сульфата железа наиболее благоприятным является pH = 5÷6, а доза 30 мг/л, хлорного железа pH = 5÷6, доза 40 мг/л, а для полиоксихлорида алюминия pH составил 5,5 ÷ 7, а доза коагулянта 60 мг/л. Важной составляющей эффективной очистки стоков на флотаторе является правильный подбор типа коагулянта, его дозы и pH среды для проведения коагуляции.

Ключевые слова: коагулянт; порог коагуляции; хлорное железо; сернокислое железо; сточные воды птицефабрики; локальная очистка; технологический режим; доза коагулянта

WASTEWATER TREATMENT BY COAGULATION OF POULTRY ABATTOIR WASTEWATER

К. МАХЛАЙ*, М. ZEITLIN, V. RAIKO

Department of chemical technique and industrial ecology, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT There is dissolved air flotation has become widespread for treatment of food industry sewage, especially for meat plants. This type of purification is enough reliable and effective, especially in combination with preliminary coagulation. There are two main parameters of high physical and chemical cleaning efficiency: adjustment hydraulic mode of the dissolved air flotation unit and the selection of the most suitable reagents, their doses and environment condition for their usage. However, this task is complicated due to the high dissimilarity of the waste of different enterprises among themselves, and, often, the technological parameters of the work of this site can't be predicted. This article is studies the patterns of coagulation of wastewater from a meat processing plant using three types of coagulants: ferric chloride, ferrous sulphate, aluminum polyoxychloride. The wastewater of existing factory which produce turkey meat was chosen as object of the study. The factory is specializes in the production of turkey meat and meat semi-finished products. Inlet wastewater are coming from slaughter, washing and gutting birds, also from washing equipment and compartments and contain a large amount of contaminants such as blood, feather, canyga. The study was conducted in two stages. At the first stage, relations of coagulation of pH of wastewater were determined experimentally in a wide range and graphics were obtained showing the dependence of the cleaning efficiency from suspended solids and color relation of the pH of wastewater. Relation of cleaning efficiency from coagulant dose was investigated at the second stage. The most kindly conditions of wastewater for coagulation and rational doses of coagulants were determined in results of this research. The most coverable conditions for coagulation with iron sulfate usage are dose is 30 mg/l and pH 5 ÷ 6, for ferric chloride – dose 40 mg/l, pH 5 ÷ 6, and dose 60 mg/l, pH 5,5 ÷ 7 for aluminum polyoxychloride. An important component of effective wastewater treatment at the flotation cell is the correct selection of the type of coagulant, its dose and the pH of the wastewater for coagulation.

Keywords: coagulant; coagulation threshold; ferric chloride; ferrous sulphate; wastewater of abattoir; local treatment; technological regime; coagulant dose

Введение

Многие предприятия пищевой промышленности сталкиваются с проблемами

недостаточно эффективной локальной очисткой производственных стоков. Данная проблема влечет за собой ухудшение работы последующих очистных сооружений биологической очистки, а также

наложение штрафов на предприятия, вплоть до полного закрытия производства.

Часто, проблема заключается в не отлаженном технологическом режиме работы локальных очистных сооружений, которые в большинстве случаев представлены физико-химической очисткой. Одним из основных аспектов наладки технологического режима является корректно подобранные реагенты и условия их применения.

Литературный обзор

Сточные воды убойного цеха птицефабрики представляют собой сложную систему содержащую большое количество высококонцентрированных загрязнений, как органических так не органических [1,2]. В основном загрязнения представлены: пером, пухом, кровь, шкура, песок, каньга, моющие средства и т.п [3,4]. Сточные воды образуются на всех этапах производства и, зачастую, поступают на очистку в виде смеси сточных вод разных цехов предприятия. Для локальной очистки на предприятиях пищевой промышленности наиболее широкое распространения получила реагентная напорная флотация [5]. Этот метод очистки сточных вод может быть достаточно эффективен при хорошо отлаженном технологическом режиме [6]. Отладка же технологического режима включает в себя множество этапов, при этом одним из фундаментальных является подбор коагулянта, его дозы и условий среды для проведения коагуляции.

Проводимы исследования в данной области показывают, что определение оптимальных условий применения коагулянтов и их доз на основании уже имеющихся результатов достаточно проблематично из-за значительного разброса получаемых данных и отсутствия их систематизации [7]. К примеру, в работе [8] для сточных вод скотобойни был определен рабочий диапазон рН ≈ 6 , и доза коагулянта хлорного железа 600 мг/л. В работе [9] удалось добиться наиболее интенсивной коагуляции при рН = 10 и дозе сульфата железа 350 мг/л. Для сточных вод предприятия по переработки мяса индейки были подобраны: рН = 5,1÷5,7 и доза 110 мг/л сульфата железа, рН = 6,2÷6,7 и доза 80 мг/л хлорида железа и рН = 5,9÷6,4, а доза 140 мг/л полиоксихлорида алюминия [10].

Такой широкий разброс связан данных со многими факторами: применяемые на производстве реагентов, культура производства, качество используемой на предприятии воды и многое другое [11,12].

Всё это значительно усложняет и затягивает во времени процесс технологической наладки локальной очистки на предприятиях.

Цели и задачи исследования

Цель проводимых исследований заключатся в поиске наиболее оптимальных условия для

коагуляции сточных вод убойного цеха птицефабрики. В частности, путем экспериментального обоснования рациональных доз коагулянтов и рН среды для их применения.

Для достижения поставленных целей, была установлена степень влияния рН среды и дозы коагулянта на эффективность очистки от взвешенных веществ и цветности. Определены наиболее благоприятные рН среды для каждого из исследуемых коагулянтов, а также определены рациональные дозы реагентов.

Материалы и методы проведения исследования

В качестве объекта исследования были выбраны сточные воды убойного цеха предприятия по переработке мяса индейки. Сточные воды поступают от убоя и потрошения птицы, мойки и дезинфекции оборудования и помещений.

Исследуемый сток содержит: жиры, белки, частицы органики, а также механические загрязнения и песок. Для усреднения состава и расхода сточных вод на предприятии предусмотрен усреднитель с механическим перемешиванием. Характеристики поступающих на очистку сточных вод приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Состав производственных сточных вод, поступающих на очистку

Наименование параметра	Ед. изм.	Величина показателя
Взвешенные вещества	мг/л	1000
ХПК	мгО ₂ /л	3950
БПК ₅	мгО ₂ /л	2200
Жиры	мг/л	600
рН	-	6÷8
Максимальная температура воды	°С	35
Минимальная температура воды	°С	24

При проведении исследования применялись следующие реагенты:

1. Коагулянты: полиоксихлорид алюминия АКВА-АУРАТ-18 ТУ 2163-069-00205067-2007; (Al₂O₃ = 17 ± 0.5 %) коагулянт железосодержащий FER-AQUA-17 (Fe₂(SO₄)₃ ТУ У 20.1-03327724-006:2013, массовая доля Fe³⁺ не менее 13,7 %); коагулянт хлорное железо FeCl₃ ТУ 2152-081-56856807-08, массовая доля хлорного железа не менее 40 %.

2. Реагенты для корректировки рН: гидроксид натрия NaOH по ГОСТ Р 55064-2012; раствор лимонной кислоты (H₆C₈O₇ 8 – 9 %).

Для определения рационального рН, отобранная из усреднителя сточную вода набиралась мерные стаканы объемом 0,5 л. Затем добавляли коагулянт, корректор рН (кислоту или щелочь) и

производили перемешивание в два этапа: сначала быстрое, а после медленное. Образовавшуюся суспензию отстаивали в течение 30 минут с последующим отбором пробы осветленной воды и измерением показателей ее качества.

Аналогичным образом производился подбор дозы коагулянта.

Измерения проводились при помощи стандартных измерительных приборов: портативного влагозащищенного рН Meter Hanna HI 9124 и колориметра HACH DR/890. Содержание взвешенных веществ измерялось в миллиграммах в литре и цветность исследуемых образцов в градусах цветности по Pt-Co шкале определялась фотометрическим методом.

Эффективность очистки от взвешенных веществ в процентах определялась как отношение содержания взвешенных веществ в очищенной пробе к содержанию взвешенных веществ в исходном стоке. Эффективность снижения цветности в процентах определялась как отношение оптической плотности очищенного образца к оптической плотности исходного стока.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались с помощью электронных таблиц на программном обеспечении MS Office Excel.

Исследования влияния рН среды на коагуляцию сточных вод

Сернокислое железо

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от рН среды с применением сернокислого железа приведено на рис. 1. На приведенном графике видно, как с увеличением рН от 1,9 до 4 происходит стремительное возрастание эффективности с 32 до 85 %. При увеличении рН до 4,5 – 5,5 кривая эффективности достигает своего максимума – эффективности 85-89 %. Последующее подкисление среды приводит к постепенному ухудшению качества очистки: так при рН = 7,2 эффективность очистки составила 81 %, при рН = 8,5 – 73%, а при рН = 10,9 – снизилась до 57%.

Аналогичные зависимости прослеживаются и на кривой изменения цветности очищенной пробы (рис. 2). Наименьшая цветность очищенной пробы достигается при 4,5 – 6 и ухудшается при смещении рН как в кислую так и щелочную среду.

Полиоксихлорид алюминия

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от рН среды с применением полиоксихлорида алюминия приведено на рис. 3. Как видно из графика, увеличение рН с 2 до 4 практически не изменяют эффективность очистки – 55 %. При этом повышение рН среды с 4 до 5 приводит к стремительному возрастанию эффективности с 55 до 80 %. Последующее увеличение рН постепенно улучшает

качество очистки и достигается максимального значение 91 % при рН = 6. Дальнейшее подщелачивание среды до 8 постепенно снижает эффективность очистки до 86 ÷ 88 %. Последующее увеличение рН приводит к резкому снижению эффективности - так при рН = 9 эффективность составила 80%, при 10 - 70 %, а при рН = 12 – 40 %.

Результаты изменения цветности очищенной пробы при разных рН среды с применением коагулянта ПОХА приведены на рис. 4.

На графике видно, что наименьшая цветность пробы получается при рН среды от 4 до 8, смещение кислотно-щелочного баланса как к кислотной, так и к щелочной среде приводит повышению цветности очищенной воды. Так при рН 4÷8 значение цветности находилось в диапазоне 180 ÷ 240 град (Pt-Co), при смещении баланса в кислую среду цветность возросла до 300 – 550 град (Pt-Co). Аналогичное ухудшение наблюдается и при подщелачивании среды.

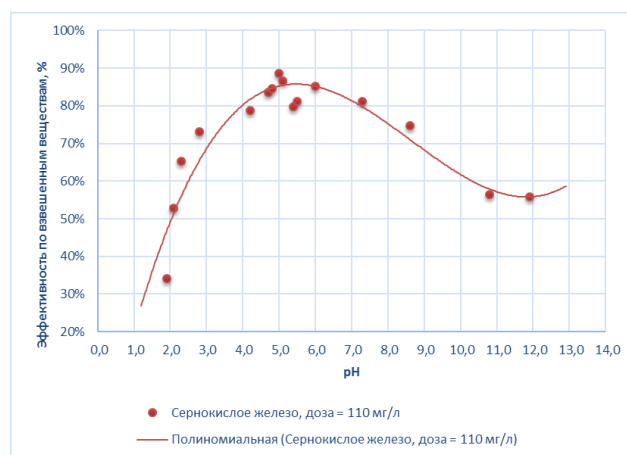


Рис. 1 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта сернокислое железо с различными дозами реагента и рН среды

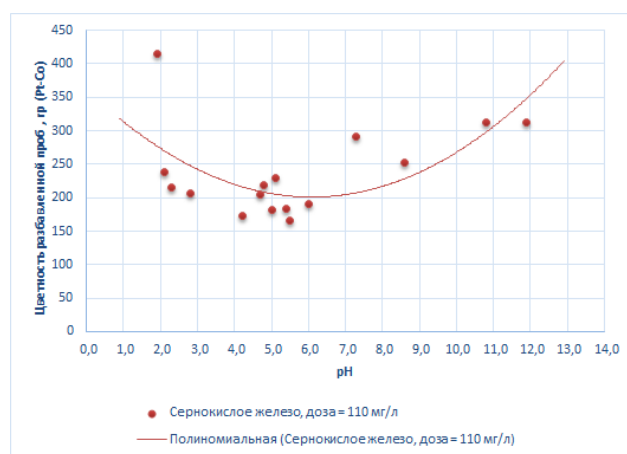


Рис. 2 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта сернокислое железо при разных значениях рН среды

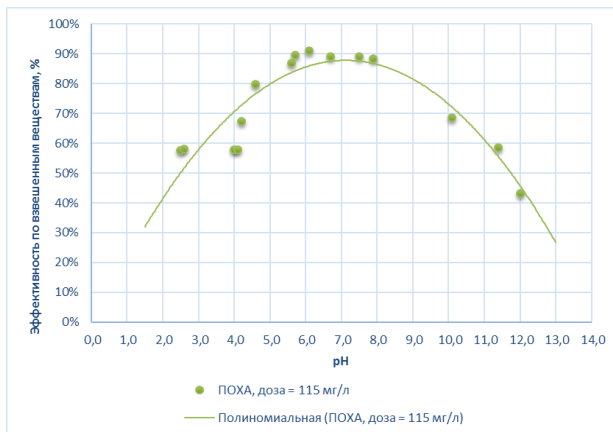


Рис. 3 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия с различными дозами реагента и pH среды

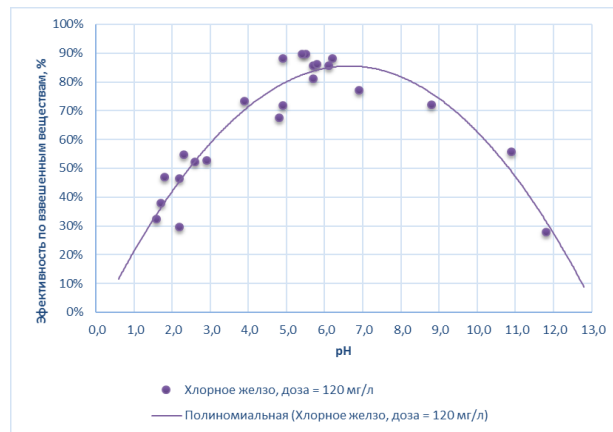


Рис. 5 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта хлорное железо с различными дозами реагента и pH среды

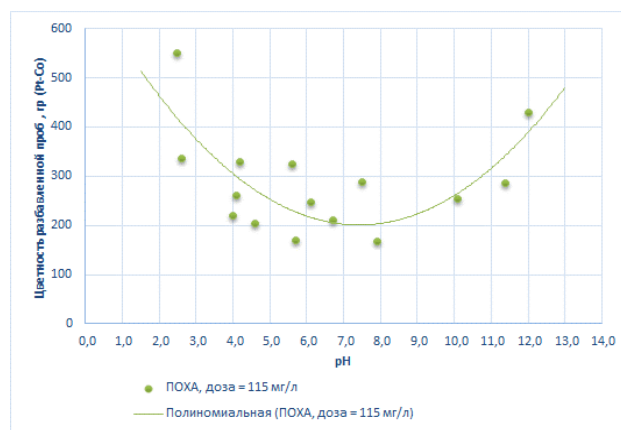


Рис. 4 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия при разных значениях pH среды

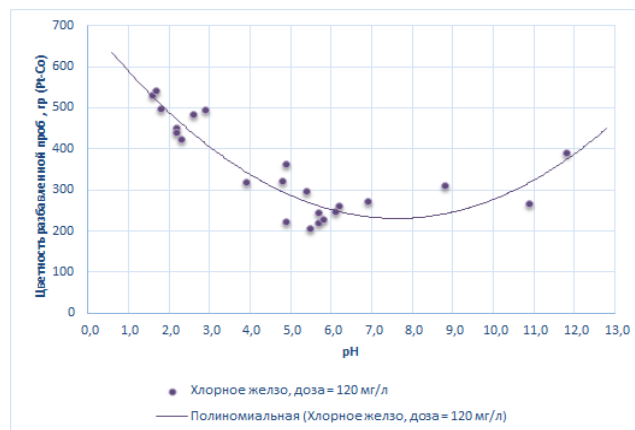


Рис. 6 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта хлорное железо при разных значениях pH среды

Хлорное железо

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от pH среды с применением хлорного железа приведено на рис. 3. Повышение pH среды с 1,5 до 4 приводит к стремительному повышению эффективности извлечения взвесей. При pH 1,5 эффективность очистки, приблизительно равна 30-35%, а при pH = 2 уже 45-50 %. Последующее увеличение pH до 5 постепенно повышает эффективность до 75-80 % и достигает своего максимума в диапазоне от 5 до 6. При этом эффективность достигает значений 90 %. Последующее подщелачивание среды снижает эффективность и при pH = 11 она составляет 50 %.

График изменения цветности очищенной пробы с применением хлорного железа при разных pH приведен на рис.6.

Так же как и графика эффективности по взвешенным веществам, экстремум находится в диапазоне pH = 5 ÷ 6. При этом снижение pH значительно быстрее повышает цветность пробы, в то время как увеличение pH, вплоть до 12 не дает такого стремительного ухудшения качества очистки.

На основании изложенного выше материала можно сделать заключение, что для коагулянта сернокислое железо наиболее оптимальным pH для данного типа стоков является диапазон pH от 5 до 6. Для коагулянта ПОХА оптимальный диапазон pH = 5,5 ÷ 7, для хлорного железа pH = 5 ÷ 6. В этих диапазонах были достигнуты наиболее высокие показатели качества очистки стока, отклонение от них приводит к снижению качества очистки.

Влияние дозы коагулянта на эффективность очистки сточных вод

График изменения эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ в зависимости от дозы сульфата железа приведены на рис. 7.

При низкой дозе коагулянта (15 мг/л) эффективность очистки составила 86%, последующее увеличение дозы реагента резко повышает эффективность очистки. Повышение эффективности достигает своего максимального значения при дозе 93 ÷ 95% при дозе 30 ÷ 40 мг/л. Последующее увеличение дозы несколько снижает эффективность

очистки, при дозе 50 мг/л эффективность снижается до 90 % и остается практически не измененной с последующим увеличением дозы коагулянта.

Результаты исследования влияния дозы сернокислого железа на эффективность очистки по взвешенным веществам приведены на рис. 8.

При дозе коагулянта 20 мг/л эффективность составила 80 %, последующее увеличение дозы коагулянта повышает эффективность очистки. При дозе 30 мг/л, она составила 83%, а при 40 мг/л уже 92 %. При этом последующее увеличение дозы, вплоть до 370 мг/л, не улучшает качество очистки.

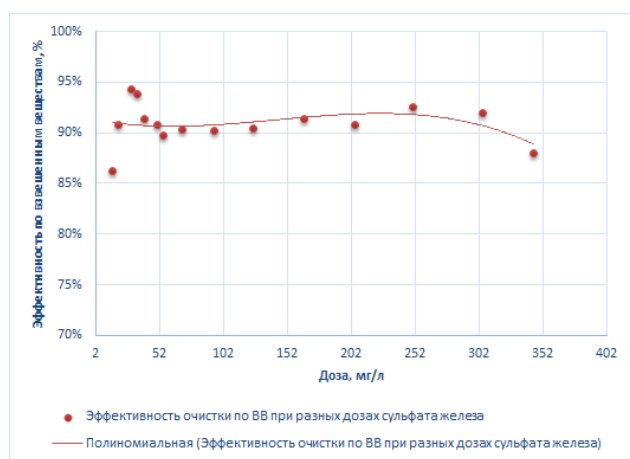


Рис. 7 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта сернокислого железа с различными дозами реагента при pH (5÷6)

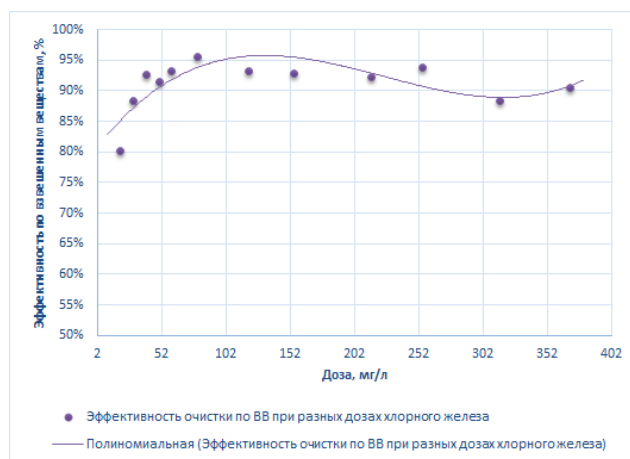


Рис. 8 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта хлорное железо с различными дозами реагента при pH (5÷6)

Изменение эффективности очистки сточных вод от взвешенных веществ с применением ПОХА приведены на рис. 9.

При дозе коагулянта 25 мг/л эффективность очистки составила 83%, при последующем увеличении дозы до 70 мг/л эффективность постоянно увеличивалась и достигла значения 95 %. При

последующем повышении дозы эффективность несколько снизилась – до 90 % при дозе 185 мг/л. При последующем увеличении дозы коагулянта эффективность постепенно начала повышаться до значений 94-95 %.

Изменение цветности очищенной пробы с применением сульфата железа показано на рис. 10. Увеличение дозы коагулянта с 15 мг/л до 30 мг/л снижает цветность очищенной пробы со 180 град до 100 град. Последующее повышение дозы до 54 мг/л не влечет за собой увеличение цветности. При последующем повышении дозы реагента цветность постепенно возрастает.

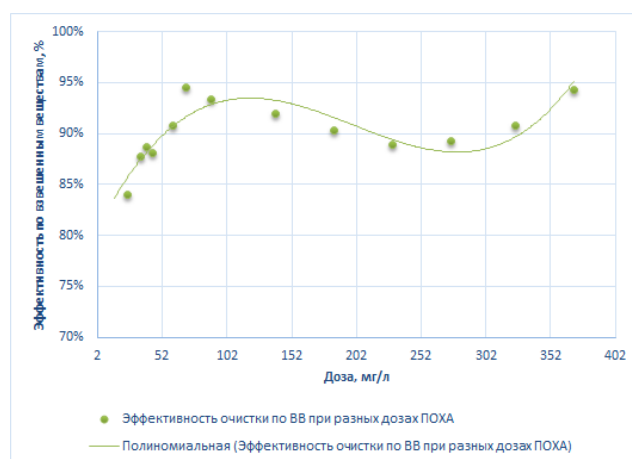


Рис. 9 - Эффективность удаления взвешенных веществ с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия с различными дозами реагента при pH (5,5÷7)

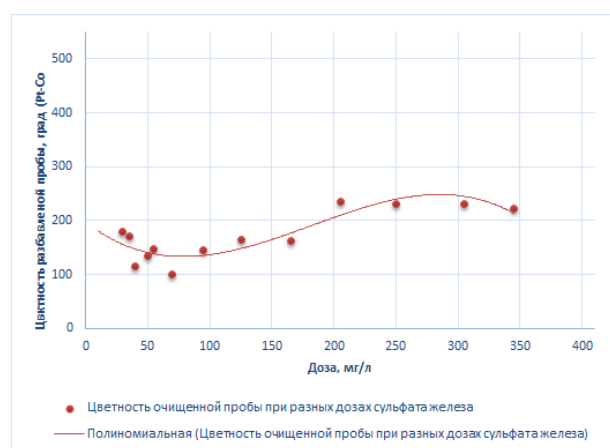


Рис. 10 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта сернокислого железа при различных дозах реагента при pH (5÷6)

Кривая изменения цветности очищенной пробы от дозы хлорного железа приведена на рис. 11.

Как видно из приведенного графика, наименьшая цветность очищенной пробы была зафиксирована при дозе коагулянта 40 мг/л и

составили 130 град. Уменьшение дозы реагента до 20 мг/л приводит к увеличению цветности до 270 град. При этом увеличение дозы вплоть до 370 мг/л не приводит к значительному изменению цветности – она остается в пределах 150 ÷ 190 град.

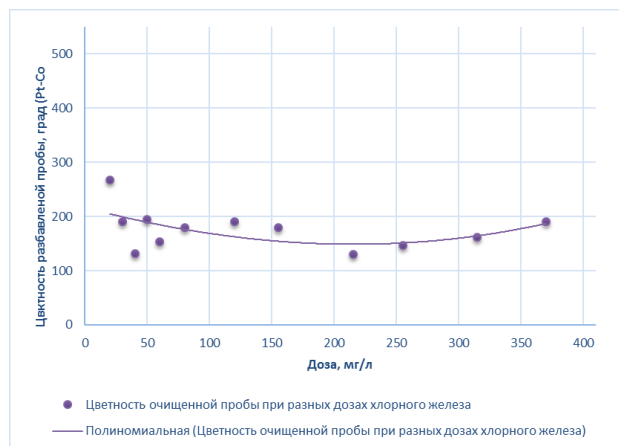


Рис. 11 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта хлорное железо при разных дозах реагента при pH (5÷6)

На рис. 12 приведена кривая изменения цветности в зависимости от дозы полиоксихлорида алюминия. Из данных, приведенных на графике видно, что цветность очищенной пробы в широком диапазоне дозы коагулянта 35 ÷ 370 мг/л, цветность остается практически неизменной и нлжит в диапазоне от 110 до 165 град. И лишь при малых дозах коагулянта (менее 35 мг/л) снижается и достигает значения 225 град при дозе 15 мг/л.

порог коагуляции у сульфата железа ниже. А формы кривых эффективности очистки от взвешенных веществ значительно разнятся: у сульфата железа при достижении порога коагуляции (30 мг/л) наблюдается максимальная эффективность ≈ 95 %, при последующем увеличении дозы эффективность снижается до ≈ 90%. При применении же хлорного железа максимальная эффективность (95 %) достигается при дозе 40 мг/л и с последующим увеличением дозы реагента остается практически не изменой. Данный факт немаловажен при выборе типа реагента – как изменится эффективность очистки при отклонении от технологически оптимальных параметров, что в условия реального стоке бывает весьма часто.

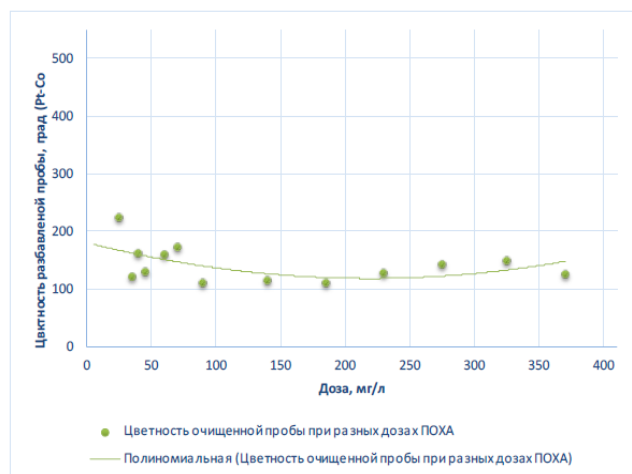


Рис. 12 - Цветность очищенной пробы (1:20) с применением коагулянта полиоксихлорид алюминия при разных дозах реагента при pH (5,5÷7)

Обсуждение результатов исследования влияния pH среды и дозы реагентов на процесс коагуляции сточных вод

Полученные результаты по определению рациональных доз коагулянтов и pH стоков приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Оптимальные значения pH стоков и дозы коагулянтов

Коагулянт	Оптимальный pH	Доза коагулянта мг/л
Сульфат железа	5÷6	30
Хлорное железо	5÷6	40
Полиоксихлорид алюминия	5,5÷7	60

Как видно из приведенной выше таблицы для всех исследованных типов коагулянтов наиболее высокая эффективность очистки достигается в слабокислых условиях среды с pH в интервале 5 ÷ 7. Стоит отметить, что у обоих коагулянтов на основе солей железе рабочий диапазон pH одинаков, однако

При применении полиоксихлорида алюминия диапазон значений pH более широкий, чем при применении железосодержащих коагулянтов, однако остается заметный желто-розовый окрас очищенной пробы. Кривая эффективности очистки от взвешенных веществ аналогична полученной с применением сернокислого железа: с экстремумом на пороге коагуляции и последующим снижением эффективности. Отличием является то, что при применении ПОХА эффективность очистки с повышением дозы коагулянта эффективность очистки вновь возрастает, в отличии от сернокислого железа. Так максимальная эффективность очистки (95 %) достигается при дозе коагулянта в 70 мг/л и затем 370 мг/л. Аналогичные колебания происходят и с цветностью очищенной пробы.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых локальных очистных сооружений предприятий пищевой промышленности со схожей выпускаемой продукцией. Так же, материалы, изложенные в данной работе, могут быть применены при модернизации и технологической наладке существующих очистных, состав стоков которых

близок к исследованному в данной работе. Важным направлением продолжения исследований является выявление факторов, значимо влияющих на технологический режим физико-химической очистки сбросных жидкостей, и количественная оценка этого влияния.

Выводы

Рациональными диапазонами рН среды для протекания процесса коагуляции являются: 5÷6 для сульфата железа и хлорида железа; 5,5÷7,0 – полиоксихлорида алюминия;

Порогом коагуляции является доза коагулянта: 30 мг/л для сульфата железа; 40 мг/л – для хлорида железа; 60 мг/л – полиоксихлорид алюминия;

Наиболее предпочтительно применение хлорного железа поскольку: его эффективность максимально высока и достигается в наиболее широких диапазонах доз и рН.

Список литературы

1. **Меньшутин, Ю. А.** Модернизация технологии очистки жиросодержащих сточных вод / **Ю. А. Меньшутин, В. А. Потанина, А. С. Керин, И. А. Богатеев, Е. В. Фомичева, А. П. Сахно, К. А. Керин** // *Птицеводство*. – 2010. – № 9. – С. 41-44.
2. **Nacheva, P. M.** Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor. P. M. Nacheva et al. Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor / **P. M. Nacheva, M. R. Pantoja, E. A. Serrano** // *Water science and Technology*. – 2011. – Т. 63. – № 5. – P. 877-884. – doi: 10.2166/wst.2011.265.
3. **Bustillo-Lecompte, C. F.** Combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater / **C. F. Bustillo-Lecompte, M. Mehrvar, E. Quiñones-Bolaños** // *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. – 2013. – 48. – 9. – P. 1122-1135.
4. **Sugito, D. K.** The effect of BOD remove influent to remove pollutant load in waste water of chicken slaughterhouse / **D. K. Sugito** // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2016. – №11. – P. 3519 – 3524. – doi: 10.1080/10934529.2013.774662.
5. **Dabhi, Y. M.** Physicochemical Treatment of Dairy Plant Wastewater Using Ferrous Sulfate and Ferric Chloride Coagulants / **Y. M. Dabhi** // *International Journal of Basic and Applied Chemical*. – 2013. – P. 9-14.
6. **Гарзанов, А. Л.** Эффективные технологии очистки сточных вод при убое скота и птицы / **А. Л. Гарзанов, А. Б. Лисицын, Н. А. Горбунова, О. И. Ситникова, Т. М. Гиро** // *Журнал Мясная продукция*. – 2016. – №11. – С. 28 – 30.
7. **Dassey, A. J.** Evaluating coagulation pretreatment on poultry processing wastewater for dissolved air flotation / **A. J. Dassey, S. Chandra** // *Journal of environmental science and health*. – 2012. – doi: 10.1080/10934529.2012.695946.
8. **Boughou, N.** Effect of pH and time on the treatment by coagulation from slaughterhouse of the city of Rabat / **N. Boughou, I. Majdy, E. Cherkaoui, M. Khamar, A. Nounah** // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2018. – 149. – P. 02091. – doi: 10.1051/mateconf/201814902091.

9. **Loloei, M.** Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries / **M. Loloei, H. Alidadi1, G. Nekonam, Y. Kor** // *International Journal of Environmental Health Engineering*. – 2014. – 3. – 1. – P. 12. – doi: 10.4103/2277-9183.132684.
10. **Makhlay, K.** A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enterprise / **K. Makhlay, M. Tseitlin, V. Raiko** // *Eastern-European journal of enterprise technologies - PC "TECHNOLOGY CENTER"*. – 2018. – 3/10 (93). – P. 15-20. – doi: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
11. **Спиридонова, Л. Г.** Отработка режимов очистки сточных вод птицефабрики по переработке мяса индеек / **Л. Г. Спиридонова** // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. – 2013. – S4. – С. 70-74.
12. **Mahtab, A.** Coagulation/adsorption combined treatment of slaughterhouse wastewater / **M. Ahmad, M. Tariq, T. Shafiq, A. Nasir** // *Desalination and Water Treatment*. – 2009. – 12. – 1-3. – P. 270-275. – doi: 10.5004/dwt.2009.952.

References (transliterated)

1. **Menshutina, U. A., Potanina, V. A., Kerin, A. S., Bogateev, I.A., Fomicheva, U. V., Sakhno, A. P., Kerin, K. A.** Modernizatsiya tekhnologii ochistki zhirusoderzhashchikh stochnykh vod [Wastewater treatment technology modernization of fat-containing wastewater]. *Pticevodchstvo [Poultry farming]*, 2010, 2, 41-44.
2. **Nacheva, P., Pantoja, M., Serrano, E.** Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Water Science & Technology*, 2011, 63(5), 878 – 885, doi: 10.2166/wst.2011.265.
3. **Bustillo-Lecompte, C., Mehrvar, M., Quiñones-Bolaños, E.** Combined Anaerobic – Aerobic and UV/H₂O₂ Processes for the Treatment of Synthetic Slaughterhouse Wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*, 2013, 48, 1122 – 1135.
4. **Sugito, D. K.** The effect of BOD remove influent to remove pollutant load in waste water of chicken slaughterhouse. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016, 11, 3519 – 3524, doi: 10.1080/10934529.2013.774662.
5. **Dabhi, M.** Physicochemical treatment of dairy plant wastewater using ferrous sulfate and ferric chloride coagulants. *International Journal of Basic and Applied Chemical Sciences*, 2013, 4(3), 9 – 14.
6. **Harzanov, A. L., Lysytsin, A. B., Horbunova, N. A., Sytnykova, O. Y., Hyro, T. M.** Effektivnye tekhnologii ochistki stochnykh vod pri uboe skota i ptitsy [Effective wastewater treatment technologies for treatment wastewater from cattle and poultry slaughterhouse]. *Zhurnal Myasnaya produktsiya [Journal Meat Industry]*, 2016, 11, 28 – 30.
7. **Dassey, A. J., Chandra, S.** Evaluating coagulation pretreatment on poultry processing wastewater for dissolved air flotation. *Journal of environmental science and health*, 2012, doi:10.1080/10934529.2012.695946.
8. **Boughou, N., Majdy, I., Cherkaoui, E., Khamar, M., Nounah, A.** (2018). Effect of pH and time on the treatment by coagulation from slaughterhouse of the city of Rabat. *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2018, 149, 020091, doi: 10.1051/mateconf/201814902091.
9. **Loloei, M., Alidadi1, H., Nekonam, G., Kor, Y.** Study of the coagulation process in wastewater treatment of dairy industries. *International Journal of Environmental Health*

- Engineering*, 2014, **3**, 1, 12, doi: 10.4103/2277-9183.132684.
10. **Makhlay, K., Tseitlin, M., Raiko, V.** A study of wastewater treatment conditions for the poultry meat processing enterprise. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2018, **3/10** (93), 15-20, doi: 10.15587/1729-4061.2018.131122.
11. **Spiridonova, L. G.** Otrabotka rezhimov ochistki stochnykh vod ptitse-fabriki po pererabotke myasa indek [Debugging technological regime of wastewater treatment for turkey meat processing plant]. *Vestnik SGASU Gradostroitelstvo i arkhitektura, [Messenger of SSUACE (Samara State University of Architecture and Civil Engineering) town planning and architecture]*. 2013, **4**, 70 – 74.
12. **Ahmad, M., Tariq, M., Shafiq, T., Nasir, A.** Coagulation/adsorption combined treatment of slaughterhouse wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 2009, **12**, 270 – 275, doi: 10.5004/dwt.2009.952.

Сведения об авторах (About the Authors)

Махлай Константин Александрович – аспирант, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Химической техники и промышленной экологии»; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8279-9685>; e-mail: cancermakh@gmail.com.

Konstantyn Makhlay – graduate student, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Department of chemical technique and industrial ecology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8279-9685>; e-mail: cancermakh@gmail.com.

Цейтлин Мусейл Абрамович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Химической техники и промышленной экологии»; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2452-7814>; e-mail: michelzeitlin@gmail.com.

Musii Tseitlin – Doctor of Technical Science, Professor, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Department of chemical technique and industrial ecology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2452-7814>; e-mail: michelzeitlin@gmail.com.

Райко Валентина Федоровна – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Химической техники и промышленной экологии»; г. Харьков, Украина; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5527-1874>; e-mail: raiko.hpi@gmail.com.

Valentina Raiko – Candidate of Technical Sciences, Professor, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Department of chemical technique and industrial ecology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5527-1874>; e-mail: raiko.hpi@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Махлай, К. А. Очистка сточных вод убойного цеха птицефабрики / **К. А. Махлай, М. А. Цейтлин, В. Ф. Райко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 101-108. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13.

Please cite this article as:

Makhlay, K., Tseitlin, M., Raiko, V. Wastewater treatment by coagulation of poultry abattoir wastewater. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **10** (1335), 101-108, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Махлай, К. О. Очищення стічних вод забійного цеху птахофабрики коагуляцією / **К. О. Махлай, М. А. Цейтлін, В. Ф. Райко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 101-108. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.13.

АНОТАЦІЯ Для очищення стічних вод харчових підприємств, зокрема м'ясопереробних, широке поширення набула напірна флоатація. Даний метод очищення досить надійний і ефективний особливо в поєднанні з попередньою коагуляцією. Запорукою високої ефективності роботи фізико-хімічної очистки є як налагодження гідравлічного режиму роботи флотатора, так і підбір найбільш підходящих реагентів, їх доз і умов середовища для їх застосування. Однак ця задача ускладнюється через високу несхожості стоків різних підприємств між собою, і, найчастіше, технологічні параметри роботи цього вузла не можуть бути спрогнозовані. У статті вивчені закономірності перебігу коагуляції стічних вод м'ясопереробного підприємства з застосуванням трьох типів коагулянтів: хлорне залізо, сірчаноокисле залізо, поліоксихлорид алюмінію. В якості дослідження були прийняті стічні води діючого підприємства з переробки м'яса індички. Підприємство спеціалізується на виготовленні м'яса індички й м'ясних напівфабрикатів. Поступаючі стоки утворюються при забої, мийці і патранні птиці, а також мийці обладнання й прибиранні приміщень і містять велику кількість забруднень таких як: кров, перо, канига. Дослідження проводилися в два етапи. На першому етапі експериментально були визначені закономірності перебігу коагуляції в широкому діапазоні рН середовища і отримані графіки, що відображають залежність ефективності очищення за завислими речовинами і кольоровості від рН середовища. Потім, на другому етапі впробовували, були досліджені залежності ефективності очищення від дози коагулянту. В результаті проведених досліджень визначені найбільш сприятливі умови для проведення коагуляції і раціональні дози коагулянтів. При застосуванні сірчаноокислого заліза найбільш сприятливим є рН = 5 ÷ 6, а доза 30 мг/л, хлорного заліза рН = 5 ÷ 6, доза 40 мг/л, а для поліоксихлориду алюмінію рН склав 5,5 ÷ 7, а доза коагулянту 60 мг/л. Важливою складовою ефективного очищення стоків на флотаторі є правильний підбір типу коагулянту, його дози і рН середовища для проведення коагуляції.

Ключові слова: коагулянт; поріг коагуляції; хлорне залізо; сірчаноокисле залізо; стічні води птахофабрики; локальна очистка; технологічний режим; доза коагулянту.

Поступила (received) 01.05.2019

УДК 664.858

doi:10.20998/2413-4295.2019.10.14

DEVELOPMENT OF MOLDED JELLY MARMELAD TECHNOLOGY WITH THE INTRODUCTION OF FOOD ADDITIVE "MAGNETOFOOD"

I. TSYKHANOVSKA*

Department of Food and Chemical Technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, UKRAINE

*e-mail: cikhanovskaja@gmail.com

ABSTRACT Lack of domestic raw materials, a significant portion of imported high-cost ingredients and increasing competitiveness make manufacturers look for new technological solutions in order to improve the consumer properties of marmalade products. A promising trend in the field of jelly and marmalade products is the creation of products with high quality and long shelf life. For this purpose various food additives, i.e. improvers, are used in jelly marmalade technology. As an improver of shaped jelly marmalade, we have developed and proposed "Magnetofood" food additive, which is nanopowder with a particle size of (70–80) nm. "Magnetofood" is a food additive with high functional and technological potential. "Magnetofood" additive can independently generate structural and mechanical properties of jelly masses, and also it can influence the gelling agent by entering into chemical and electrostatic interactions with it. Therefore the "Magnetofood" food additive can simultaneously affect several technological properties in the food jelly system: to be a stabilizer, a thickener and a gelling agent. Due to Fe (II), nanosize, developed active surface, bacteriostatic character, high thermal stability, "Magnetofood" has reducing, antioxidant, antimicrobial, sorbing, complexable, emulsifying, moisture-retaining, fat-retaining, water-binding, stabilizing, and structuring properties. It makes possible to recommend "Magnetofood" as an additive of complex action to improve the quality and extend the shelf life of shaped jelly marmalade. The influence of "Magnetofood" food additive on organoleptic, physical and chemical, microbiological parameters of test samples of agar- and pectin-based shaped jelly marmalade has been studied.

Keywords: technology; "Magnetofood" food additive; shaped jelly marmalade; quality indicators.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМОВОГО ЖЕЛЕЙНОГО МАРМЕЛАДУ З ВНЕСЕННЯМ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ "МАГНЕТОФУД"

I. В. ЦИХАНОВСЬКА*

кафедра Харчових та хімічних технологій, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ Дефіцит вітчизняної сировини, значна частка імпортованих інгредієнтів з високою вартістю, зростаюча конкурентоспроможність змушують виробників шукати нові технологічні рішення для підвищення споживчих властивостей мармеладної продукції. Перспективним напрямком в галузі желейно-мармеладних виробів є створення продукції, яка має високі показники якості і тривалий термін зберігання. З цією метою у технології желейного мармеладу використовуються різні харчові добавки - поліпшувачі. В якості поліпшувача формового желейного мармеладу нами розроблено та запропоновано харчову добавку "Магнетофуд" – нанопорошок з розміром частинок (70–80) нм. "Магнетофуд" – харчова добавка з високим функціонально-технологічним потенціалом. Добавка "Магнетофуд" може як самостійно формувати структурно-механічні властивості желейних мас, так і впливати на селетворювач, вступаючи з ним в хімічні і електростатичні взаємодії. Тому, харчова добавка "Магнетофуд" може впливати одразу на декілька технологічних властивостей у харчовій желейній системі: бути стабілізатором, загусником, драглетворювачем. За рахунок Fe (II), нанорозмірів, розвиненої активної поверхні, бактеріостатичності, високої термостабільності "Магнетофуд" має відновні, антиоксидантні, антимікробні, сорбційні, комплексують, емульгуючі, вологоутримуючі, жирутримуючі, вологозв'язуючі, стабілізуючі, структуруючі властивості. Це дозволяє рекомендувати "Магнетофуд" як добавку комплексної дії для підвищення якості та подовження терміну зберігання формового желейного мармеладу. Досліджено вплив харчової добавки "Магнетофуд" на органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники дослідних зразків формового желейного мармеладу на агарі і пектині.

Ключові слова: технологія; харчова добавка "Магнетофуд"; формової желейний мармелад; показники якості.

Introduction

The range of marmalade on the market today is represented mainly by a group of jelly marmalade, which has an attractive appearance, a variety of shapes, a pleasant smell and taste, is quite simple to manufacture. That is why it is popular among the population and manufacturers. The effectiveness of technologies for the production of molded jelly marmalade in a market economy is determined by the introduction of competitive

resource-saving technologies, the achievement of high technical and economic indicators of production, the possibility of processing raw materials with different properties while ensuring the stable quality of marmalade products and extending their shelf life. The range of jelly marmalade produced today, its composition and technological production process is a reflection of innovative technologies aimed at improving the technical and technological level of production, improving the

quality and increasing the range of marmalade products [1–3].

Among the priority areas for expanding the range by improving the technology of molded jelly marmalade are the following: the use of new raw materials, that provide an opportunity to change or adjust the functional and technological properties of jelly masses, as well as texture, quality indicators and increase the shelf life of marmalade products [4–11].

Market trends in forming a range of molded jelly marmalade are due to innovations in its recipe composition, aimed at reducing its cost, improving its quality and shelf life.

It is especially important to note that the prices for raw materials rise every year. Unfortunately, pectin and agar, the two main gelling agents, traditionally used in molded jelly marmalade technology, are expensive imported raw materials. So, from the beginning of 2014 and at the end of 2016, the prices for agar and the food pectin increased on average by (3,5–4,0) times; the search for new raw materials of domestic production that reduces the cost price while maintaining the quality is an urgent task for the production of molded jelly marmalade [5–8].

Thus, one of the possibilities for creating competitively priced products is the economical and efficient use of expensive raw materials, including gelling. There are various ways to solve this issue, but the main one is the introduction of competitive resource-saving technologies.

Many specialists, in particular, scientists of NUHT, KDUKHT, ONAKHT (A. M. Dorokhov, V. F. Pertsev, V. I. Obolkina, G. A. Magomedova, V. V. Rumyantseva, Yu. V. Kambulova, Tung-Shan Chen, Yoslyn MA, A. Lee, D. Storey and others) are actively developing modern technologies of jelly marmalade using new types or modifications by gelling agents, thickeners, mixtures of unconventional substances capable of jelly formation (agar and gelatin, agar and alginate, agar and xampana, agaroid, furcellaran and sodium carboxymethylcellulose, pectin and alginate, locust bean gum, tara gum, etc.), allowing to reduce the costs of the main gelling agents, and thereby reduce the cost of production. For the extraction of artificial dyes and flavors from the recipe composition, the introduction of krias-powders, cryo-pastes, extracts of medicinal plants, etc. is proposed. [8-16]. However, with regard to research on the effects of nanopowder additives, in particular, the food additive "Magnetofood" [Patent UA No. 126502, MPK A 23L 13/40, A23L 33/10. Food supplement "Magnetofood"] on the processes of structure formation of jelly masses during jelly marmalade production and on the indicators of the quality of the finished product, there is no any data and more research is needed.

"Magnetofood" is a food additive, it has a certain functional and technological potential and can independently form the structural and mechanical properties of jelly masses and also affect the gelling agents, entering into chemical and electrostatic interactions with it. Therefore, the food additive

"Magnetofood" can perform several technological functions in the system at once: act as a stabilizer, at the same time increasing the viscosity of the system or forming a gel. That is, it can perform the functions of both a thickener and gelling agents. Although the food additive "Magnetofood" is not a surfactant, it can stabilize disperse systems (emulsions, suspensions) due to its thickening and thixotropic properties, preventing their division. Changing the fluid properties of a liquid disperse system in the presence of the food additive "Magnetofood" leads not only to the stabilization of the system, but also to the formation of a certain consistency. Functional and technological properties of the additive "Magnetofood" in food systems include: water-binding and water-holding ability; stabilization of emulsions and suspensions; regulation of fluid properties; formation of stable gels at room temperature. The thixotropic properties of gels with the use of the food additive "Magnetofood" are manifested in reversible changes in the structure of the gel during its deformation and subsequent removal of the mechanical load [17–22].

Thus, the use of the food additive "Magnetofood" as a thickener and stabilizer of jelly-marmalade products will allow to solve the following tasks: to improve the consumer properties of the finished product: compaction of the consistency, cutting improvement (glossy cut) and provision of elasticity; reduce syneresis during storage of products.

In this regard, the study of the functional and technological potential of natural mineral resources, in particular, nanopowder food additives, from the point of view of the impact on the quality, shelf life and economic efficiency of the production of jelly confectionery masses and marmalade products made from them is relevant.

To solve this urgent problem, an integrated approach to the development of technological solutions for the production of jelly marmalade products is needed, which should be based, on the one hand, on the study of the influence of nanopowder mineral additives on the structural and mechanical properties of jelly masses to substantiate their functional and technological potential, that is important to ensure the quality characteristics of molded jelly marmalade in terms of physical and chemical, organoleptic and safety indicators, on the other hand, on the technological process of jelly marmalade products, that affects the economic efficiency of the production.

Within the work considered, it was of interest to substantiate the expediency of improving the technology of molded jelly marmalade using the food additive "Magnetofood".

Literature data analysis and problem formulation

The confectionery industry is one of the active users of food additives, improvers in the manufacture of products. The use of food additives in the industry of sweets, in particular jelly marmalade, is caused by a number of circumstances; reasons and directions of use of

food additives by the confectionery industry. Recently, there have been numerous studies on search for new low-cost gel-forming components, improving structural and mechanical, physical and chemical, and organoleptic indicators of jelly masses and finished products, as well as partial or full replacement of traditional gelling agents, in particular, agar and pectin – imported products with high cost price [8-12,22-46].

In order to improve the structural and mechanical properties of jelly masses, it is proposed to use pectic substances obtained from non-traditional raw materials, such as food industry waste (canning, wine-making, sugar-beet industries) and agriculture (seed-growing state farms, cotton growing, melon-growing) [9,23,24]; as well as alternative raw materials: chitosan, herbal, vegetable and fruit-vegetable products [14,25-27].

Some scientists have developed combined systems with gelling agents to control the rheological and structural and mechanical properties of jelly semi-finished products and products, in particular the combination of gelatin with pectin, with sulfated polysaccharides, gelatin – k-carrageenan, gelatin – LM pectin [28-30]; pectin with hydrocolloids (Herbagen SW-010, ricogel 8100), LM pectin – k-carrageenan [30-32]; agar with the concentrate of animal proteins "Scanpro" [30].

To improve the plastic strength of the jelly and the texture of jelly products in the production of marmalade, various hydrogels are widely used, showing the properties of thickeners, a gelling agent and stabilizers — carrageenan and its sodium, potassium, ammonium salts, including furcellaran; xanthan, tara gum, guar gum, locust bean gum, xanthan gum and others [32–35].

Numerous studies have been carried out to study the influence of modifying additives on the structural and mechanical properties of jellies: sodium carboxymethylcellulose (Na-CMC) and ferric chloride to increase the gel-forming ability of sulfate polysaccharides [29, 26]; sodium lactate, sodium citrate and glycerin in the amount of (0,1–0,2) % of the total mass to increase the gel-forming ability of red seaweed polysaccharides and, as a result, to reduce their content by (35–40)% [36,37]; mannitol or sodium alginate in the amount of (0,08-0,09)% to increase the strength of the jelly to (40-60)% and reduce the amount of agar (agaroid, furcellaran) [38–40].

Analysis of information sources [4–12,22–46] shows the lack of data on jelly marmalade technologies using nanopowder additives that have thickening, gel-forming, stabilizing abilities; improve structural and mechanical properties of jelly masses and quality indicators and shelf life of finished products. As an additive improver for food systems, we have developed and proposed the food additive "Magnetofood" [TU U 10.8-2023017824-001: 2018]. It is an ultra-fine powder with a large specific and highly active surface.

In food systems, "Magnetofood" exhibits reconstructive, antioxidant, sorption, bacteriostatic, complexing, emulsifying, water-holding, fat-holding, water-binding, stabilizing, structuring properties [17-22].

In this regard, it is relevant to improve the recipe composition and the existing technology of molded jelly marmalade with the introduction to the recipe composition the food additive "Magnetofood".

Purpose and objectives of research

The aim of the work is to improve the technology of molded jelly marmalade using the food additive "Magnetofood".

To achieve the main goal, the following tasks were set:

to study the influence of the food additive "Magnetofood" on the physical and chemical properties (mass fraction of moisture, total acidity) of test samples of the molded jelly marmalade on agar and pectin;

to study the influence of the food additive "Magnetofood" on the organoleptic indicators (taste, smell, color, consistency, form) of test samples of molded jelly marmalade on agar and pectin;

to study the effect of the food additive "Magnetofood" on the sorption properties of test samples of molded jelly marmalade on agar and pectin during a regulated shelf life;

to study the effect of the food additive "Magnetofood" on the microbiological indicators of test samples of molded jelly marmalade on agar and pectin during a regulated shelf life;

to establish a rational mass fraction of the food additive "Magnetofood" in the compositions of molded jelly marmalade on agar and pectin;

to develop a technological scheme for the production of molded jelly marmalade using the food additive "Magnetofood".

Statement of basic materials

The object of the research is the technology of molded jelly marmalade on agar and pectin. The subject of the research is the model samples of jelly marmalade on agar and pectin, which are based on the basic compositions № 11 and № 49 [47] and are shown respectively in Tables 1 and 2.

Preparation of test samples of marmalade was carried out according to the traditional technology of molded jelly marmalade according to the classical composition [15, 47], Table 1 and 2.

Organoleptic evaluation of the quality of jelly marmalade test samples was carried out according to DSTU 4683:2006 on a 5-point scale using weighting factors that take into account the significance of each indicator: shape, consistency, color were determined by inspection of controlled marmalade products.

In assessing the smell of marmalade, attention was paid to the presence or absence of foreign, unusual odors. The acidity of the finished products was determined by the titrimetric method using phenolphthalein according to DSTU 5024: 2008.

Table 1 – The compositions of jelly marmalade on agar (control) and with different mass fraction of the food additive "Magnetofood"

Raw material	Raw material consumption per 1 ton of finished products, kg			
	Sample 1 – control	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Sanding sugar for sprinkling	86,6	86,6	86,6	86,6
Sanding sugar in jelly	525,6	525,6	525,6	525,6
Molasses	262,7	262,7	262,7	262,7
Agar	10,5	10,5	10,5	10,5
Citric acid	11,8	11,8	11,8	11,8
Various essences	1,6	1,6	1,6	1,6
Various dyes	0,5	0,5	0,5	0,5
Food additive "Magnetofood"	–	1,0	1,5	2,0

Table 2 – The compositions of jelly marmalade on pectin and with different mass fraction of food additive "Magnetofood"

Raw material	Raw material consumption per 1 ton of finished products, kg			
	Sample 5 – control	Sample 6	Sample 7	Sample 8
Sanding sugar for sprinkling	86,6	86,6	86,6	86,6
Sanding sugar in jelly	718,9	718,9	718,9	718,9
Molasses	262,7	262,7	262,7	262,7
Pectin	18,0	18,0	18,0	18,0
Citric acid	12,0	12,0	12,0	12,0
Sodium lactate	10,0	10,0	10,0	10,0
Various essences	1,6	1,6	1,6	1,6
Various dyes	0,6	0,6	0,6	0,6
Food additive "Magnetofood"	–	1,0	1,5	2,0

To simulate the storage of marmalade the polyethylene film (PND, 15 microns) was used as a packaging material in the work. Test samples of jelly marmalade 18 hours after casting and cooling were wrapped in film and stored in the dark at a temperature of (18 ± 3) °C and a relative air humidity of ≤ 75% for 90 days.

At the same time, the sorption properties of the test samples were determined by the strain gauge method [48,49] immediately after sample preparation and during 110 days with an interval of 10 days. When selecting the optimal storage mode, the constancy of the moisture content of jelly marmalade (the moisture content of

molded jelly marmalade after production is 0,179-0,181 kg/kg), which depends on the humidity of the environment and the shelf life of jelly marmalade (days), was chosen as a criterion. The proposed criterion is as follows (1):

$$Q_{\varphi} = \sum_{i=1}^N |W_i - W_3| \xrightarrow{\varphi=const} \min \quad (1)$$

where N is the amount of tests during storage, pcs; W₃ is the normative moisture content equal to 0,18 кг/кг; W_i is the current value of moisture content, kg/kg; φ is the humidity of the environment, %.

The list of microbiological indicators, which were used to control the quality of the finished marmalade products, was established in accordance with the requirements of the DSP 4.4.5.078; MBT № 5061-89 and DSTU 4683: 2006.

Research results

Table 3 shows the results of organoleptic analysis of jelly marmalade test samples with various gelling agents.

From the data of Table 3, it was found that marmalade with the content of the food additive "Magnetofood" 0.15% by weight of the raw material is the best according to the organoleptic quality indicators compared with other samples. The average score for organoleptic indicators is increased by (1,3-1,4) points compared with the control.

The main physical and chemical characteristics of molded jelly marmalade is acidity and humidity. Data on the effect of the food additive "Magnetofood" on acidity and moisture loss during molding and cooling of marmalade products are presented in Table 4.

The data in Table 4 show that the introduction of the food additive "Magnetofood" in the amount of (0,10-0,20) % by weight of the raw material contributes to the improvement of the physical and chemical indicators of the marmalade test samples: the humidity increases by (4,8-6,2) % in the samples on agar and (5,2-6,2) % in the samples on pectin – due to the water-binding and water-holding ability of nanoparticles of the additive "Magnetofood". That is, the presence of the additive "Magnetofood" in the composition contributes to less moisture loss when cooling products after casting marmalade mass into a mold; total acidity decreases by (5,9–7,4) ° in samples on agar and (6,1–7,6) ° in samples on pectin – due to the amphoteric character of the additive "Magnetofood" and its ability to interact with acidic substances of jelly-marmalade masses. As a consequence, the gel-forming component (agar, pectin, etc.) is less subject to acid hydrolysis. At the same time, a decrease in acidity (Table 4) has practically no effect on the process of gel-formation. It also becomes possible to produce low acidity jelly marmalade, which can be recommended in therapeutic and preventive nutrition.

Table 3 – Influence of food additive "Magnetofood" on the organoleptic characteristics of jelly marmalade test samples on agar and pectin

Marmalade test samples	Consistency	Aroma	Color	Taste	Form and surface
Sample 1 – (control)	Jelly-like with brittle structure, vitreous fracture	unexpressed	transparent with slight spotting	slightly empty	distorted fuzzy contour
Sample 2	slightly puffy, jelly-like with a homogeneous structure, transparent vitreous fracture	pleasant, characteristic of marmalade	transparent, smooth, with a brown-cognac shade, without spotting	pleasant, characteristic of marmalade	correct, with a fuzzy contour, not elastic enough dry surface
Sample 3	vitreous, elastic with a homogeneous structure, transparent vitreous fracture				correct, without deformation, with a clear contour, smooth elastic dry surface
Sample 4	vitreous, slightly elastic with a homogeneous structure, transparent vitreous fracture				
Sample 5 – (control)	soft, jelly-like with homogeneous structure, uneven cleavage at fracture	unexpressed	transparent smooth, light with slight spotting	sourish	with overlaps, fuzzy contour, matte elastic dry surface
Sample 6	jelly-like, with smooth transparent cleavage at fracture	pleasant, characteristic of marmalade	transparent, smooth, with a brown-cognac shade, without spotting	pleasant, characteristic of marmalade	correct, with burrs, fuzzy contour, glossy elastic dry surface
Sample 7	slightly puffy, with a smooth transparent cleavage at fracture				correct, without deformation, with a clear contour, glossy elastic dry surface
Sample 8	dense puffy, with a smooth opaque cleavage at fracture				

Table 4 – Influence of food additive "Magnetofood" on acidity and moisture loss during molding and cooling of test samples of jelly marmalade on agar and pectin

Test samples of marmalade	Physical and chemical indicators			
	Mass fraction of moisture, %		Total acidity, °	
	on agar	on pectin	on agar	on pectin
Sample 1 – control	16,2±0,2	–	18,3±0,1	–
Sample 2	21,2±0,2	–	12,4±0,1	–
Sample 3	22,6±0,2	–	11,0±0,1	–
Sample 4	22,8±0,2	–	10,9±0,1	–
Sample 5 – control	–	16,8±0,2	–	18,9±0,1
Sample 6	–	22,0±0,2	–	12,8±0,1
Sample 7	–	22,8±0,2	–	11,4±0,1
Sample 8	–	23,0±0,2	–	11,3±0,1

Studies have allowed to scientifically substantiate the composition (Tables 1 and 2) and the technological parameters of the production of molded jelly marmalade. Fig. 1 shows the flow chart of molded jelly marmalade on agar with the addition of the food additive "Magnetofood". A distinctive feature of the new technology is the preliminary mixing of the food additive "Magnetofood" with gelling agents, which is used before the technological operation of soaking of gelling agents in cold water. The production technology of jelly marmalade on pectin with the addition of the food additive "Magnetofood" includes the same steps, but has some differences in technological regimes. The technological process of production of molded jelly marmalade involves the following stages: *selection and preparation of prescribed components* – loose components are sieved, essence, citric acid, the dye are dissolved, starch syrup is heated and filtered; *getting a dry mixture* of gelling agents with the food additive "Magnetofood" followed by *soaking* in cold water at a temperature of (18±2) °C for (50–80) ×60 s for agar and (3,5–4,0)×3600 s – for pectin, thus it happens the solvation of the food additive "Magnetofood" and swelling of the gelling agents with its partial structuring under the action of the nanoparticles of the additive "Magnetofood", which promote water penetration into the most organized parts of the chain of the gelling agents.

Next, the *solution* of the mixture of the gelling agents with additive "Magnetofood" is *heated* to a temperature of (95–100) °C for agar and (85–87) °C for pectin and kept for (20–25)×60 s for agar and (10–15) ×60s for pectin. At this stage, the additive "Magnetofood" increases solubility of gelling agents due to its water-holding ability and the interaction of its ionized nanoparticles with polarized agar and pectin groups, which leads to branching of the main chains of polysaccharide molecules, which contributes to their cover and better penetration of water molecules.

Preparation of jelly-marmalade mass. After the builder completely dissolves, the recipe amount of sugar and starch syrup needed to obtain the jelly mass is added, and mixed thoroughly for (20–25)×60s for agar and (10–15)×60s for pectin, when heated to a temperature (100–105) °C; at the same time, sodium lactate is additionally added to the pectin-sugar-molasses syrup. After a uniform distribution, the syrup is boiled down to a mass fraction of dry substances (75,0 ± 1) % for agar and (76,5 ± 1) % for pectin; cooled to (55–60) °C for agar and (80–85) °C for pectin and the tempering is carried out, adding diluted dyes, citric acid and essence, according to the composition, with thorough mixing for (5–7)×60s.

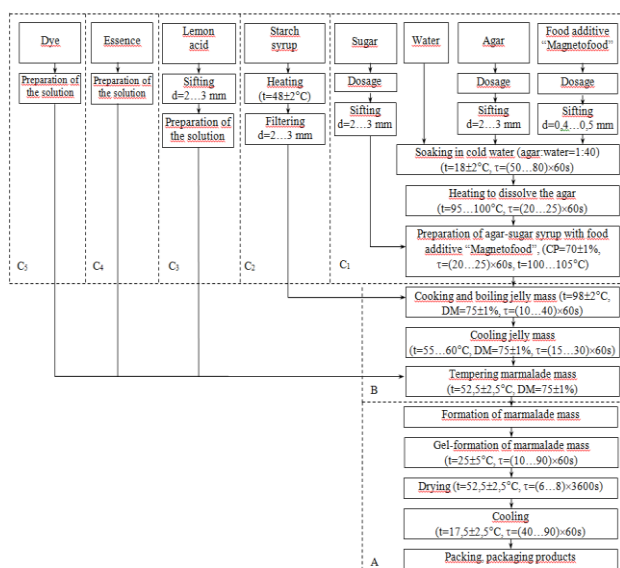


Fig. 1 – Technological scheme of molded jelly marmalade on agar with the addition of the food additive "Magnetofood": A, B, C₁, C₂, C₃, C₄, C₅ – subsystems of the technological scheme of marmalade production

Cooling and structuring jelly-marmalade mass. The resulting marmalade mass is poured into molds and cooled to a temperature of (25–30) °C for structure formation.

Drying jelly marmalade is carried out at a temperature of (52,5±2,5) °C for (6–8)×3600s – for agar and (4–6)×3600s – for pectin.

Packing, packaging, labeling and storage. Ready molded jelly marmalade is packed and stored in storage conditions at relative air humidity (75±2) %.

Microbiological indicators of the quality of test samples of molded jelly marmalade were studied. Table 5 shows the microbial contamination of the marmalade surface immediately after manufacture and after storage for 90 days at a relative air humidity φ=(90±2) %.

From the data in Table 5 it follows that the introduction of the food additive "Magnetofood" suppresses the contamination of the surface of marmalade products test samples:

– during storage of marmalade test samples at air humidity (90±2) % for 75 days in samples 3, 7 decreases: KMAFAnM 10 times, yeast – 3 times, mold fungi – 2 times compared with the control;

– during storage of marmalade test samples at air humidity (90±2)% for 90 days in samples 3, 7 decreases: KMAFAnM 10 times, yeast – 2,5 times, mold fungi – 2 times compared with the control.

This is due to the bacteriostatic action of the food additive "Magnetofood" [18].

Table 5 – The influence of the food additive "Magnetofood" on the microbiological indicators of test samples of molded jelly marmalade compared with the control samples during storage

Name of indicators	Standard	Test samples of jelly marmalade at φ=(90±2) %		
		Control samples	Sample 3	Sample 7
Shelf life 75 days				
KMAFAnM, KUO/g, immediately / after 90 days	1,0×10 ³	not found / 1,0×10 ²	not found / 1,0×10 ¹	not found / 1,0×10 ¹
Yeast KUO/g, immediately / after 90 days	50	not found / 6,0	not found / 2,0	not found / 2,0
BGKP (coliforms), in 0,1 g, immediately / after 90 days	not dosed	not found	not found	not found
Pathogenic m/o, including bacteria of the genus Salmonella, in 25g, immediately / after 90 days	not dosed	not found	not found	not found
Mold fungi KUO/g, not more than, immediately / after 90 days	50	not found / 4,0	not found / 2,0	not found / 2,0
Shelf life 90 days				
KMAFAnM, KUO/g, immediately / after 90 days	1,0×10 ³	not found / 1,0×10 ³	not found / 1,0×10 ²	not found / 1,0×10 ²
Yeast KUO/g, immediately / after 90 days	50	not found / 9,0	not found / 4,0	not found / 4,0
BGKP (coliforms), in 0,1 g, immediately / after 90 days	not dosed	not found	not found	not found
Pathogenic m/o, including bacteria of the genus Salmonella, in 25g, immediately / after 90 days	not dosed	not found	not found	not found
Mold fungi KUO/g, not more than, immediately / after 90 days	50	not found / 6,0	not found / 3,0	not found / 3,0

*At φ=(75±2) % microbial contamination of the surface of test samples of marmalade with the additive "Magnetofood" is reduced on average: KMAFAnM – 10 times; yeast and mold fungi – 5 times compared with the control.

In order to determine the storage conditions, the sorption kinetics of jelly marmalade test samples was studied. The research results are shown in Fig.2, a, b, c, d.

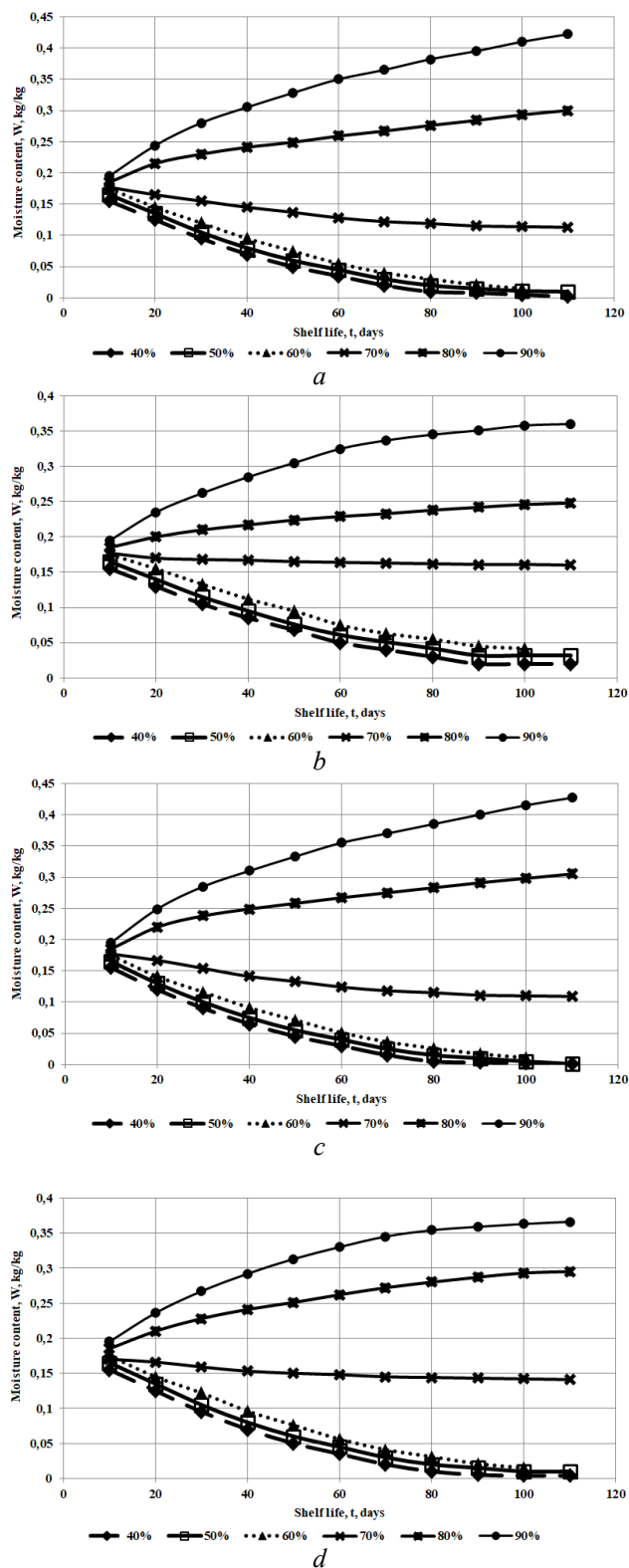


Fig. 2 – Sorption kinetics of test samples of molded jelly marmalade with different air humidity:
a – control sample of 1 marmalade on agar;
b – sample of 3 marmalade on agar;
c – control sample of 5 marmalade on pectin;
d – sample of 7 marmalade on pectin

The analysis of curves given in Fig. 2 shows that at relative air humidity (70–80) % during recommended shelf lives (3 months) in all test samples of jelly marmalade the change in moisture content occurs slowly, as can be seen on the corresponding sorption curves. It is established that when the air humidity is (75±2) %, the samples of jelly marmalade will be characterized by a constant moisture content during the entire shelf life. Fig. 2 also shows that when the air humidity is (90±2) %, the moisture content of the marmalade gradually increases, that is externally characterized by the development of mold fungi on control samples of marmalade after 90 days of storage (see Table 5). When air humidity is less than (70±2)%, the sorption curves are directed downwards, which characterizes a decrease in moisture content, gradual drying of the product and leads to loss of organoleptic properties: changes in the shape, structure, hardening of the consistence. When comparing with the control samples (Fig. 2, a, c), it can be seen that the rate of change of moisture content in the test samples of marmalade (Fig. 2, b, d) decreases, which is due to the water-holding and stabilizing ability of the food additive "Magnetofood", namely creation of solvato-complexes and supramolecular assemblies of nanoparticles "Magnetofood" with macromolecules of polysaccharides, in particular agar, pectin [21].

The results of the criterion Q calculation (see formula 1) for test samples of jelly marmalade are given in Table 6.

Table 6 – Criterion Q for test samples of marmalade for a given environmental humidity (φ)

Environmental moisture content, φ , %	The value of the criterion Q for test samples of molded jelly marmalade			
	Sample 1	Sample 3	Sample 5	Sample 7
40	1,405	1,257	1,422	1,407
50	1,304	1,139	1,359	1,309
60	1,1079	0,990	1,236	1,189
70	0,490	0,480	0,521	0,319
80	0,876	0,492	0,879	0,824
90	1,679	1,378	1,744	1,400

The analysis of criterion Q (Table 6) sets the smallest total deviation of moisture content (W_i) of test samples of molded jelly marmalade from the standard value $W_3 = 0,180$ kg/kg – at $\varphi=(70\pm 2)$ %, which is an additional confirmation of the optimal temperature and humidity conditions for storage of molded jelly marmalade, found from the kinetic sorption curves (Fig. 2): air humidity $\varphi=(75\pm 2)$ %, temperature (18±2) °C.

Conclusions

The investigation results of the influence of the food additive "Magnetofood" on the quality indicators of molded jelly marmalade showed that the addition of the

food additive in the amount of (0,10–0,20) % has a positive effect on the organoleptic, physical and chemical, and microbiological properties of jelly marmalade on agar and pectin, particularly there is an improvement in the following:

– shape, consistency, smell and color on average by 0,1–0,4 points;

– humidity increases by (4,8–6,2) % in samples on agar and by (5,2–6,2)% in samples on pectin due to the water-binding and water-holding ability of the nanoparticles of the additive "Magnetofood";

– total acidity decreases by (5,9–7,4) ° in samples on agar and by (6,1–7,6) ° in samples on pectin due to the amphoteric nature of the additive "Magnetofood" and its ability to interact with acidic substances of jelly-marmalade masses;

– rational content of the food additive "Magnetofood" was established – 0,15% by weight of raw materials;

– technological scheme for the production of molded jelly marmalade with the introduction of the food additive "Magnetofood" was developed;

– it has been proven the suppression of microbial surface contamination of jelly marmalade products samples with the food additive "Magnetofood". When stored at $\varphi=(90\pm 2)$ % for 75 days in samples 3, 7 compared with the control, the following decreases: KMAFAnM 10 times, yeast – 3 times, mold fungi – 2 times; and when stored for 90 days – KMAFAnM 10 times, yeast – 2.5 times, mold fungi – 2 times;

– optimal conditions for temperature and humidity conditions were established during storage of molded jelly marmalade: air humidity $\varphi=(75\pm 2)$ %, temperature (18 ± 2) °C.

The results obtained suggest that food additive "Magnetofood" is recommended as a stabilizer, structurant and improver for food jelly systems.

Список літератури

1. **Стасіневич, С. А.** Ринок кондитерських виробів України: пропозиція і попит / **С. А. Стасіневич, С. М. Валявський** // *Продукты & ингредиенты*. – 2013. – № 1. – С. 14–17.
2. **Гарби, Е.** Желейно-жевательная сладость для украинца / **Е. Гарби** // *Продукты & ингредиенты*. – 2011. – № 2. – С. 40–42.
3. Сегмент пастило-мармеладных изделий и восточных сладостей. Кто определяет тенденции: сост. С. Коптеева [и др.]. – URL: <http://myki.ru/articles.php> (дата звернення 30.08.2019).
4. **Бочковская, Е.** Мармелад и желе: или здорово, или доступно покупателю? / **Е. Бочковская** // *Продукты & ингредиенты*. – 2013. – № 2. – С. 14–17.
5. **Иоргачева, Е. Г.** Жевательные и желейные мармеладки / **Е. Г. Иоргачева** // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. – 2010. – № 1. – С. 54–55.
6. **Васькина, В. А.** Сравнительная характеристика технологий желейного мармелада / **В. А. Васькина** // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. – 2004. – Т. 6. – № 34. – С. 1–4.
7. **Иоргачева, Е. Г.** Регулирование качества желейного мармелада с измененным углеводным составом / **Е. Г. Иоргачева, К. В. Аветисян** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2016. – Т. 2. – № 11(80). – С. 28–38. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.65768.
8. **Иоргачева, Е. Г.** Регулирование структурно-реологических свойств желейных и сбивных масс для двухслойного мармелада / **Е. Г. Иоргачева, О. В. Макарова, К. В. Аветисян** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Т. 2. – № 12 (68). – С. 122–127. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.23380.
9. **Salieva, A.** Pectin substances from sea and freshwater grasses as stabilizers at manufacturing of canned food of type confiture / **A. Salieva** // *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. – 2013. – 1. – P. 194–200.
10. **Yang, Y.** Calcium cation triggers and accelerates the gelation of high methoxy pectin / **Y. Yang, G. Zhang, Y. Hong, Z. Gu, F. Fang** // *Food Hydrocolloids*. – 2013. – Vol. 32. – 2. – P. 228–234. – doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.01.003.
11. **Кая, М.** Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: Influence of acid type and pH of extraction / **M. Kaya, A. G. Sousa, M. J. Crepeau, S. O. Sorensen, M. C. Ralet** // *Annals of Botany*. – 2014. – Vol. 114. – 6. – P. 1319–1326. – doi: 10.1093/aob/mcu150.
12. **Zhang, X.** Preparation of hydroxypropyl agars and their properties / **X. Zhang, X. Liu, M. Cao, K. Xia, Y. Zhang** // *Carbohydr. Polym.* – 2015. – 129. – P. 87–91. – doi: 10.1016/j.carbpol.2015.04.056.
13. **Schirmer, M.** Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake / **M. Schirmer, M. Jekle, E. Arendt, T. Becker** // *Food Research International*. – 2012. – Vol. 48. – 1. – P. 291–298. – doi: 10.1016/j.foodres.2012.05.003.
14. **Артамонова, М. В.** Технология мармелада желейного з використанням криас-порошків рослинного походження: монографія / **М. В. Артамонова, Г. М. Лисюк, Н. Ф. Туз**. – Харків: ХДУХТ. – 2015. – 184 с.
15. **Драгилев, А. И.** Технология кондитерских изделий / **А. И. Драгилев, А. И. Лурье**. – М.: ДеЛи-принт. – 2001. – 483 с.
16. **Сарафанова, Л. А.** Применение пищевых добавок в кондитерской промышленности / **Л. А. Сарафанова**. – СПб: Профессия. – 2005. – 304 с.
17. **Tsykhanovska, I. V.** Investigation of magnetite nanoparticles of lipid-magnetite suspensions by methods of photometry and electron microscopy / **I. V. Tsykhanovska, O. V. Aleksandrov, T. B. Gontar, Z. V. Barsova, M. G. Kokodiy** // *East European Journal of Advanced Technologies*. – 2016. – Vol. 6/3. – 81. – P. 28–38. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.69826.
18. **Pyukha, N. G.** Production technology and quality indices of a food additive based on magnetite / **N. G. Pyukha, I. V. Tsykhanovska, Z. V. Barsova, V. A. Kovalenko** // *East European Journal of Advanced Technologies*. – 2010. – Vol. 6. – 48. – P. 32–35.
19. **Tsykhanovska, I. V.** Development of technology of rye-wheat bread "Kharkiv Rodnichok" with the addition of a multifunctional nutritional supplement "Magnetofood" / **I. V. Tsykhanovska, O. V.**

- Aleksandrov, V. V. Evlash, T. A. Lazareva, K. V. Svidlo, T. B. Gontar** // *East European Journal of Advanced Technologies*. – 2017. – Vol. 6/11. – 90. – P. 48 – 58.
20. **Tsykhanovska, I.** Substantiation of the interaction mechanism between the lipo- and glucoproteids of rye-wheat flour and nanoparticles of the food additive "Magnetofood" / **I. Tsykhanovska, A. Alexandrov, V. Evlash, T. Lazareva, O. Bryzytska** // *East European Journal of Advanced Technologies*. – 2018. – Vol. 4 /11. – 94. – P. 61–68. – doi: 10.15587/1729-4061.2018.140048.
21. **Tsykhanovska, I.** Substantiation of the mechanism of interaction of carbohydrates of rye-wheat flour and nanoparticles of the polyfunctional food additive "Magnetofood" / **I. Tsykhanovska, A. Alexandrov, V. Evlash, T. Lazareva, T. Yevlash** // *East European Journal of Advanced Technologies*. – 2018. – Vol. 3 /11. – 93. – P. 59–68. – doi: 10.15587/1729-4061.2018.133373.
22. **Tsykhanovska, I.** Formation of the functional and technological properties of the beef minced meat by using the food additive on the nanopowder basis of double oxide of two- and trivalent iron / **I. Tsykhanovska, L. Skurikhina, V. Evlash, L. Pavlotska** // *Ukrainian food journal*. – 2018. – Vol. 7. – 3. – P. 379–396. – doi: 10.24263/2304-974X-2018-7-3-4.
23. **Бабаходжаев, С. Ф.** Мармелад на хлопковом пектине / **С. Ф. Бабаходжаев** // *Пищевая промышленность*. – 1991. – № 2. – С. 54.
24. **Призарова, У.** Пектиновые вещества из отходов пищевых производств / **У. Призарова, А. Х. Арифходжаев, Х. Т. Саломов** // *Пищевая промышленность*. – 1991. – № 2. – С. 55.
25. **Крапивницкая, И. А.** Овощные и фруктово-овощные пектиносодержащие продукты в отделочных полуфабрикатах с желейной структурой / **И. А. Крапивницкая, В. И. Оболкина, У. С. Йовбак** // *Кондитерское производство*. – 2014. – № 5. – С. 33–34.
26. **Иоргачева, Е. Г.** Альтернативные виды сырья в технологии получения пастило-мармеладных изделий / **Е. Г. Иоргачева, К. В. Аветисян, А. В. Куц** // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2009. – № 1. – С. 14–16.
27. **Гурьянов, И. Д.** Хитозан в производстве желейного мармелада / **И. Д. Гурьянов, З. И. Фаизрахманова, Д. И. Фаизрахманова** // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – № 7. – С. 205–208.
28. **Донченко, Л. В.** Пектин: основные свойства, производство и применение / **Л. В. Донченко, Г. Г. Фирсов**. – М.: ДеЛи-принт. – 2007. – 276 с.
29. **Фошан, А. Л.** Регулювання реологічних та структурно-механічних властивостей желейних виробів та напівфабрикатів на основі комбінованих систем драгле утворювачів / **А. Л. Фошан** // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2010. – № 2. – С. 29–30.
30. **Гриненко, И. Г.** Некоторые закономерности образования инулиновых гелей / **И. Г. Гриненко, Р. И. Грушецкий, Л. М. Хомичак** // *Сахар: Научно-технический и производственный журнал*. – 2014. – № 11. – С. 54–55.
31. **Шебершнева, Н. Н.** Использование рикогеля 8100 в производстве желейного мармелада / **Н. Н. Шебершнева** // *Кондитерское производство*. – 2013. – № 6. – С. 15–16.
32. **Игнатова, Т. А.** Использование гидрогелей каррагинанов в технологии желейных продуктов / **Т. А. Игнатова, А. В. Подкорытова** // *Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов мирового океана: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. в 2 частях*. Владивосток: Дальрыбвтуз. – 2014. – С. 58–63.
33. **Теймурова, А. Т.** Розробка технологій желейної продукції з використанням концентратів тваринних білків: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.16 / НАН України. – Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2010. – 18 с.
34. **Осипов, А.** Пектины и каррагинаны для кондитерских изделий. Новые возможности традиционных ингредиентов / **А. Осипов** // *Кондитерское производство*. – 2012. – № 5. – С. 18–19.
35. **Маренкова, Т. І.** Спосіб отримання мармеладу желейного формового на каппа-карагінані з якісно зміненими функціонально-технологічними властивостями. Патент 94598 UA. МПК A23L 1/00. – 2014. – Бюл. № 22. – 4 с.
36. **Фошан, А. Л., Григоренко, А. М.** Спосіб підвищення міцності драглісульфатних полісахаридів. Патент 61370 UA. МПК A 23 L 1/06. – 2014. – Бюл. № 14. – 4 с.
37. **Овсянникова, Л. Г.** Использование кислых полисахаридов для сокращения расхода студнеобразователей из красных морских водоростей / **Л. Г. Овсянникова** // *Сборник материалов науч.-техн. конференции «Прогрессивные технологии и оборудование пищевых производств»*. – СПб: ГАХПТ. – 1999. – С. 183.
38. **Евалева, В. В.** Лактатсодержащие пищевые добавки и мармелад функционального назначения / **В. В. Евалева, Т. М. Черпалова, Т. А. Никифорова** // *Кондитерское производство*. – 2013. – № 6. – С. 13–16.
39. **Свиридов, В. В.** Влияние природы студнеобразователя на свойства пищевых студней / **В. В. Свиридов, А. В. Банникова, Н. М. Птичкина** // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2012. – № 1. – С. 59–61.
40. **Шеховцова, Т. Г.** Разработка технологии желейного мармелада с заданными потребительскими свойствами / **Т. Г. Шеховцова, Ю. И. Сидоренко** // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2008. – № 8. – С.65–67.
41. **Золотарева, Л. А.** Структурообразователи и прочностные свойства желейных изделий / **Л. А. Золотарева, К. В. Аветисян** // *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. – 2007. – № 4. – С.40–41.
42. **Крапивницкая, И. О.** Наукові та практичні аспекти пектину і пектинопродуктів: монографія / **И. О. Крапивницкая, Ф. В. Перцевой, Є. О. Омельчук**. – Суми: Сумський національний аграрний університет. – 2015. – 314 с.
43. **Аймесон, А.** Пищевые загустители, стабилизаторы, гелеобразователи / пер. С. В. Макарова. – СПб.: ИД «Профессия». – 2012. – 408 с.

44. Голубев, В. Н. Функциональные свойства пектинов и крахмала / В. Н. Голубев, С. Ю. Беглов, А. В. Поджув // *Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки*. – 2000. – № 1. – С. 14–18.
45. Мазур, Л. М. Физико-химические процессы гелеобразования пектинов в пищевых технологиях / Л. М. Мазур, А. А. Олехнович // *Сахар*. – 2014. – № 1. – С. 2–5.
46. Карнаушенко, Л. И. Реологические свойства желатинных масс / Л. И. Карнаушенко, Э. И. Погонцева, Э. И. Чмырь // *Кондитерская и хлебопекарная промышленность*. – 1981. – № 3. – С. 41–42.
47. Иванушко, Л. С. Рецептуры на мармелад, пастилу и зефир / Л. С. Иванушко. – М.: Пищевая промышленность. – 1974. – 208 с.
48. Штайер, Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: [пер. с английского] / Р. Штайер. – М.: Радио и связь. – 1992. – 504 с.
49. Євлаш, В. В. Наукові аспекти формування якості дієтичних добавок, що містять гемове залізо, та кондитерських виробів із їх використанням: монографія / В. В. Євлаш, В. О. Акмен. – Харків: ХДУХТ. – 2015. – 183 с.
11. Kaya, M., Sousa, A. G., Crepeau, M. J., Sorensen, S. O., Ralet, M. C. Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: Influence of acid type and pH of extraction. *Annals of Botany*, 2014, **114** (6), 1319–1326, doi: 10.1093/aob/mcu150.
12. Zhang, X., Liu, X., Cao, M., Xia, K., Zhang, Y. Preparation of hydroxypropyl agars and their properties. *Carbohydr. Polym.*, 2015, **129**, 87–91, doi: 10.1016/j.carbpol.2015.04.056.
13. Schirmer, M., Jekle, M., Arendt, E., Becker, T. Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. *Food Research International*, 2012, **48**(1), 291–298, doi: 10.1016/j.foodres.2012.05.003.
14. Artamonova, M. V., Lisjuk, G. M., Tuz, N. F. Tehnologija marmeladu zhelejnego z vikoristannjam krias-poroshkiv roslinnogo pohodzhennja: monografija. Harkiv: HDUHT, 2015, 184.
15. Dragilev, A. I., Lur'e, A. I. Tehnologija konditerskih izdelij. Moskva: DeLi-print, 2001, 483.
16. Sarafanova, L. A. Primenenie pishhevih dobavok v konditerskoj promyshlennosti. SPb: Professija, 2005, 304.
17. Tsykhanovska, I. V., Aleksandrov, O. V., Gontar, T. B., Barsova, Z. V., Kokodiy, M. G. Investigation of magnetite nanoparticles of lipid-magnetite suspensions by methods of photometry and electron microscopy. *East European Journal of Advanced Technologies*, 2016, **6/3** (81), 28 – 38, doi: 10.15587/1729-4061.2016.69826.
18. Ilyukha, N. G., Tsykhanovska, I. V., Barsova, Z. V., Kovalenko, V. A. Production technology and quality indices of a food additive based on magnetite. *East European Journal of Advanced Technologies*, 2010, **6** (48), 32 – 35.
19. Tsykhanovska, I. V., Aleksandrov, O. V., Evlash, V. V., Lazareva, T. A., Svidlo, K. V., Gontar, T. B. Development of technology of rye-wheat bread "Kharkiv Rodnichok" with the addition of a multifunctional nutritional supplement "Magnetofood". *East European Journal of Advanced Technologies*, 2017, **6/11** (90), 48 – 58.
20. Tsykhanovska, I., Alexandrov, A., Evlash, V., Lazareva, T., Bryzyska O. Substantiation of the interaction mechanism between the lipo- and glucoproteids of rye-wheat flour and nanoparticles of the food additive "Magnetofood". *East European Journal of Advanced Technologies*, 2018, **4/11** (94), 61–68, doi: 10.15587/1729-4061.2018.140048.
21. Tsykhanovska, I., Alexandrov, A., Evlash, V., Lazareva, T., Yevlash, T. Substantiation of the mechanism of interaction of carbohydrates of rye-wheat flour and nanoparticles of the polyfunctional food additive "Magnetofood". *East European Journal of Advanced Technologies*, 2018, **3/11** (93), 59–68, doi: 10.15587/1729-4061.2018.133373.
22. Tsykhanovska, I., Skurikhina, L., Evlash, V., Pavlotska, L. Formation of the functional and technological properties of the beef minced meat by using the food ad-ditive on the nanopowder basis of double oxide of two- and trivalent iron. *Ukrainian food journal*, 2018, **7** (3), 379–396, doi: 10.24263/2304-974X-2018-7-3-4.
23. Babahodzhaev, S. F. Marmelad na hlopkovom pektine. Pishhevaja promyshlennost'. 1991, **2**, 54.

References (transliterated)

1. Stasinevy`ch, S. A., Valyavs`ky`j, S. M. Ry`nok kondy`ters`ky`x vy`robiv Ukrayiny`: propozy`ciya i popy`t. *Produkty & ingrediency*, 2013, **1**, 14–17.
2. Garbi, E. Zhelejno-zhevatel'naja sladost' dlja ukrainca. *Produkty & ingrediency*, 2011, **2**, 40–42.
3. Segment pastilo-marmeladnyh izdelij i vostochnyh slabostej. Kto opredeljaet tendencii: sost. Kopteeva S. [i dr.]. Available at: <http://my-ki.ru/articles.php>. (data zvernennja 30.08.2019).
4. Bochkovskaja, E. Marmelad i zhele: ili zdorovo, ili dostupno pokupatelju? *Produkty & ingrediency*, 2013, **2**, 14–17.
5. Iorgacheva, E. G. Zhevatel'nye i zhelejnye marmelady. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo*. 2010, **1**, 54–55.
6. Vas`kina, V. A. Sravnitel'naja harakteristika tehnologij zhelejnego marmelada. *Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo*, 2004, **6** (34), 1–4.
7. Iorgacheva, E. G., Avetisjan, K. V. Regulirovanie kachestva zhelejnego marmelada s izmenennym uglevodnym sostavom. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2016, **2**, **11**(80), 28 – 38, doi: 10.15587/1729-4061.2016.65768.
8. Iorgacheva, E. G., Makarova, O. V., Avetisjan, K. V. Regulirovanie strukturno-reologicheskikh svojstv zhlejnih i sbivnyh mass dlja dvuhslojnogo marmelada. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2014, **2**, **12** (68), 122–127, doi: 10.15587/1729-4061.2014.23380.
9. Salieva, A. Pectin substances from sea and freshwater grasses as stabilizers at manufacturing of canned food of type confiture. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2013, **1**, 194–200.
10. Yang, Y., Zhang, G., Hong, Y., Gu, Z., Fang, F. Calcium cation triggers and accelerates the gelation of high methoxy pectin. *Food Hydrocolloids*, 2013, **32** (2), 228–234, doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.01.003.

24. **Prnazarova, U., Arifhodzhaev, A. H., Salomov, H. T.** Pektinovyе veshhestva iz othodov pishhevyyh proizvodstv. *Pishhevaya promyshlennost'*, 1991, 2, 55.
25. **Krapivnickaja, I. A., Obolkina, V. I., Jovbak, U. S.** Ovoshhnye i fruktovo-ovoshhnye pektinosoderzhashhie produkty v otdelochnyh polufabrikatah s zhelejnoj strukturoj. *Konditerskoe proizvodstvo*, 2014, 5, 33–34.
26. **Iorgacheva, E. G., Avetisjan, K. V., Kuc, A. V.** Al'ternativnye vidy syr'ja v tehnologii poluchenija pastilo-marmeladnyh izdelij *Hlibopekars'ka i konditers'ka promislovist' Ukraini*, 2009, 1, 14–16.
27. **Gur'janov, I. D., Faizrahmanova, Z. I., Faizrahmanova, D. I.** Hitozan v proizvodstve zhelejnogo marmelada. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*, 2014, 7, 205–208.
28. **Donchenko, L. V.** Pektin: osnovnye svoystva, proizvodstvo i primenenie. M.: DeLi-print, 2007, 276.
29. **Foshhan, A. L.** Regulyuvannya reologichny'x ta strukturno-mexanichnix vlasty'vostej zhelejny'x vy'robiv ta napivfabry'kativ na osnovi kombinovany'x sy'stem dragle utvoryuvachiv. *Xlibopekars'ka i kondy'ters'ka promy'slovist' Ukrainy*, 2010, 2, 29–30.
30. **Grinenko, I. G., Grusheckij, R. I., Homichak, L. M.** Nekotorye zakonomernosti obrazovanija inulinovyh gelej. *Sahar: Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal*, 2014, 11, 54–55.
31. **Shebershneva, N. N.** Ispol'zovanie rikogelja 8100 v proizvodstve zhelejnogo marmelada. *Konditerskoe proizvodstvo*, 2013, 6, 15–16.
32. **Ignatova, T. A., Podkorytova, A. V.** Ispol'zovanie gidrogelej karraginanov v tehnologii zhelejnyh produktov. Aktual'nye problemy osvoenija biologicheskix resursov mirovogo okeana: *materialy III Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. v 2 chastjah. Vladivostok: Dal'rybvuz*, 2014, 58–63.
33. **Tejmurova, A. T.** Rozrobka texnologij zhelejnoyi produkciji z vy'kory'stannjam koncentrativ tvary'ny'x bilkiv: avtoref. dy's. kand. texn. nauk. Xarkiv: Xar'kivsky'j derzhavny'j universy'tet xarchuvannya ta torgivli, 2010, 18.
34. **Osipov, A.** Pektiny i karraginy dlja konditerskix izdelij. Novye vozmozhnosti tradicionnyh ingredientov. *Konditerskoe proizvodstvo*, 2012, 5, 18–19.
35. **Marenkova, T. I.** Patent 94598 UA. MPK A23L 1/00. Sposib otry'mannya marmeladu zhelejnogo formovogo na kappa-karraginy z yakisno zmineny'my' funkcional'no-texnologichny'my' vlasty'vostyamy'. 2014, Byul. 22.
36. **Foshhan, A. L., Gry'gorenko, A. M.** Patent 61370 UA. MPK A 23 L 1/ 06. Sposib pidvy'shennya micznosti draglyvsul'fatny'x polysaxary'div. 2011, Byul.14.
37. **Ovsjannikova, L. G.** Ispol'zovanie kislyh polisaharidov dlja sokrashhenija rashoda studneobrazovatelej iz krasnyh morskix vodorostej. *Sbornik materialov nauch.-tehn. konferencii «Progressivnye tehnologii i oborudovanie pishhevyyh proizvodstv»*, SPb: GAHPT, 1999, 183.
38. **Evaleva, V. V., Cherpalova, T. M., Nikiforova, T. A.** Laktatsoderzhashhie pishheve dobavki i marmelad funkcional'nogo naznachenija. *Konditerskoe proizvodstvo*, 2013, 6, 13–16.
39. **Sviridov, V. V., Bannikova, A. V., Ptichkina, N. M.** Vlijanie prirody studneobrazovatelja na svoystva pishhevyyh studnej. *Izvestija vuzov. Pishhevaya tehnologija*, 2012, 1, 59–61.
40. **Shehovcova, T. G., Sidorenko, J.** Razrabotka tehnologii zhelejnogo marmelada s zadannymi potrebitel'skimi svoystvami. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja*, 2008, 8, 65–67.
41. **Zolotareva, L. A., Avetisjan, K. V.** Strukuroobrazovatel i prochnostnye svoystva zhelejnyh izdelij. *Xlibopekars'ka i kondy'ters'ka promy'slovist' Ukrainy*, 2007, 4, 40–41.
42. **Krapy'vny'cz'ka, I. O., Percevoj, F. V., Omel'chuk, Ye. O.** Naukovi ta prakty'chni aspekty' pekty'nu i pekty'noproduktiv: monografiya. Sumy': Sums'ky'j nacional'ny'j agrarny'j universy'tet, 2015, 314.
43. **Ajmeson, A.** Pishheve zagustiteli, stabilizatory, geleobrazovatel: per. Makarova SV. SPb.: ID «Professija», 2012, 408.
44. **Golubev, V. N., Beglov, S. Ju., Podzhuev, A. V.** Funkcional'nye svoystva pektinov i krahmala. *Pishheve ingredienty. Syr'e i dobavki*, 2000, 1, 14–18.
45. **Mazur, L. M., Olehnovich, A. A.** Fiziko-himicheskie processy geleobrazovanija pektinov v pishhevyyh tehnologijah. *Sahar*, 2014, 1, 2–5.
46. **Karnaushenko, L. I., Pogonceva, Je. I., Chmyr', A. D.** Reologicheskie svoystva zhelejnyh mass. *Konditerskaja i hlebopekarnaja promyshlennost'*, 1981, 3, 41–42.
47. **Ivanushko, L. S.** Receptury na marmelad, pastilu i zefir. M.: Pishhevaya promyshlennost', 1974, 208.
48. **Shtajer, R.** Mnogokriterial'naja optimizacija. Teorija, vychislenija i prilozhenija: [per. s anglijskogo]. M.: Radio i svjaz', 1992, 504.
49. **Yevlash, V. V., Akmen, V. O.** Naukovi aspekty' formuvannya yakosti diyety'chny'x dobavok, shho mistyat' gemove zalizo, ta kondy'ters'ky'x vy'robiv iz yix vy'kory'stannjam: monografiya. Xarkiv: XDUXT, 2015, 183.

Відомості про авторів (About authors)

Iryna Tsykhanovska – Candidate of Chemical Sciences, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Associate Professor of the Food and Chemical Technologies Department; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9713-9257; e-mail: Cikhanovskaja@gmail.com.

Цихановська Ірина Василівна – кандидат хімічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри харчових та хімічних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9713-9257; e-mail: Cikhanovskaja@gmail.com.

Please cite this article as:

Tsykhanovska, I. Development of molded jelly marmelad technology with the introduction of food additive “Magnetofood”. *Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU “KhPI”, 2019, 10 (1335), 109-120, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.14.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Цихановська, І. В. Розробка технології формового желейного мармеладу з внесенням харчової добавки «Магнетофуд» / **І. В. Цихановська** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 109-120. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.14.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Цихановская, И. В. Разработка технологии формового желейного мармелада с введением пищевой добавки «Магнетофуд» / **И. В. Цихановская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 10 (1335). – С. 109-120. – doi:10.20998/2413-4295.2019.10.14.

АННОТАЦИЯ Дефицит отечественного сырья, значительная часть импортных ингредиентов с высокой стоимостью, растущая конкурентоспособность заставляют производителей искать новые технологические решения для повышения потребительских свойств мармеладной продукции. Перспективным направлением в области желейно-мармеладных изделий является создание продукции, которая имеет высокие показатели качества и длительный срок хранения. С этой целью в технологии желейного мармелада используются различные пищевые добавки – улучшители. В качестве улучшителя формового желейного мармелада нами разработана и предложена пищевая добавка «Магнетофуд» – нанопорошок с размером частиц (70–80) нм. «Магнетофуд» – пищевая добавка с высоким функционально-технологическим потенциалом. Добавка «Магнетофуд» может как самостоятельно формировать структурно-механические свойства желейных масс, так и влиять на гелеобразователь, вступая с ним в химические и электростатические взаимодействия. Поэтому, пищевая добавка «Магнетофуд» может влиять сразу на несколько технологических свойств в пищевой желейной системе: быть стабилизатором, загустителем, студнеобразователем. За счет Fe (II), наноразмеров, развитой активной поверхности, бактериостатичности, высокой термостабильности «Магнетофуд» имеет восстановительные, антиоксидантные, антимикробные, сорбционные, комплексообразующие, эмульгирующие, влагоудерживающие, жиродерживающие, водосвязывающие, стабилизирующие, структурирующие свойства. Это позволяет рекомендовать «Магнетофуд» как добавку комплексного действия для повышения качества и продления срока хранения формового желейного мармелада. Исследовано влияние пищевой добавки «Магнетофуд» на органолептические, физико-химические, микробиологические показатели опытных образцов формового желейного мармелада на агаре и пектине.

Ключевые слова: технология; пищевая добавка «Магнетофуд»; формовой желейный мармелад; показатели качества.

Поступила (received) 23.04.2019

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА, МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

- Дубовий О. М., Карпеченко А. А., Шкурат С. І., Бобров М. М., Неделько Є. Ю.* Формування термічно стійкої полігонізаційної субструктури з підвищеними властивостями в електродугових покриттях 3
- Йорданов І. В., Сімонова Ю. І., Положій А. В., Подкопаєв С. В., Довгаль В. Ю., Король А. В.* Дослідження стійкості покрівлі вугільного пласта з податливою опорою різної жорсткості на моделях 11
- Лебедєв В. О., Лой С. А.* Модернізація плазмотрона для напилення на повітрі й у контрольованій атмосфері (у вакуумі) 21
- Ромашко В. Я., Батрак Л. М.* Регулювальні характеристики імпульсного регулятора понижувального типу, що працює на акумулятор 30

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

- Висоцька О. В., Овченко А. С., Губанова О. В., Печерська А. І., Довнар О. Й., Доброродня Г. С.* Технологія визначення виникнення мязового тремору після анестезії у дітей з вродженими патологіями опорно рухового апарату 38
- Доброродня Г. С., Висоцька О. В., Панфьорова І. Ю., Печерська А. І., Рисована Л. М., Довнар О. Й.* База даних для системи діагностики функціональних порушень складних організаційних об'єктів 45
- Ковцур К. Г., Токмиленко Т. Т., Птиця Н. В.* Раціоналізація транспортної складової в логістичному ланцюзі постачань товарів в роздрібну торгівельну мережу 54
- Трищ Р. М., Денисенко А. М., Артюх С. М., Лис Ю. С.* Оцінювання якості процесів при виготовленні виробів медичного призначення 63
- Становська І. І.* Компактність динамічної моделі розвитку проектного управління як міра його ефективності 70
- Яглицький Ю. К.* Удосконалення організації управління та конструкторсько-технологічної підготовки судноремонтного виробництва з використанням інформаційних технологій 77

ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЯ

- Лабейко М. А., Литвиненко О. А., Гладкий Ф. Ф., Федякіна З. П.* Удосконалення методики кількісного визначення хлорогенової кислоти у шроті з насіння соняшнику 88
- Маринін А. І., Позняковський С. В., Бреус Н. М., Святненко Р. С.* Дослідження впливу електрогідравлічного оброблення на отримання фруктозо-олігосахаридних сумішей 93
- Махлай К. О., Цейтлін М. А., Райко В. Ф.* Очищення стічних вод забійного цеху птахофабрики коагуляцією 101
- Цихановська І. В.* Розробка технології формового желейного мармеладу з внесенням харчової добавки "магнетофуд" 109

CONTENTS

ENERGY, ENGINEERING AND STRUCTURAL MATERIALS TECHNOLOGY

- Dubovyy O., Karpechenko A., Bobrov M., Shkurat S., Lytar O.* Formation of a thermally sustainable polygonization substructure with enhanced properties in electric arc coatings 3
- Jordanov I., Simonova Y., Polozhiy A., Podkopaiev S., Dovgal V., Korol A.* A study of the stability of the roof of the cabled plate with the suppressional support of various hardness on models 11
- Lebedev V., Loy S.* Modernization of the plasmatron for dusting on air and in controlled atmosphere (vacuum) 21
- Romashko V., Batrak L.* Regulation characteristics of the step-down switching regulator which operates on a rechargeable battery 30

INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL SYSTEMS

- Vysotska O., Ovchenko A., Gubanova O., Pecherska A., Dovnar O., Dobrorodnia H.* Technology for determining the occurrence of muscle tremor after anesthesia in children with congenital disorders of the musculoskeletal system 38
- Dobrorodnia H., Vysotska O., Panforova I., Pecherska A., Rysovana L., Dovnar O.* Database of the system for diagnostic the functional disorders of complex organizational objects 45
- Kovtsur K., Tokmylenko T., Pitysia N.* Rationalization of the transport component in the logistic supply chain of goods in the retail trade 54
- Trishch R., Denysenko A., Artiukh S., Lys Y.* Quality assessment processes in the manufacture of medical devices 63
- Stanovska I.* The compatibility of project management dynamic model as a measure of its efficiency 70
- Yahlytskyi Y.* Improvement of management and design and technology preparation of ship repair production using information technologies 77

CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGY, ECOLOGY

- Labeiko M., Litvinenko E., Gladkii F., Fedyakina Z.* Improvement of the technique of quantitative determination of chlorogenic acid in shrot from sunflower seeds 88
- Marynin A., Poznyakovsky S., Breeus N., Svyatnenko R.* Study of the effect of electro-hydraulic treatment on receiving of fructose-oligosaccharide mixtures 93
- Makhlay K., Tseitlin M., Raiko V.* Wastewater treatment by coagulation of poultry abattoir wastewater 101
- Tsykhanovska I.* Development of molded jelly marmelad technology with the introduction of food additive "Magnetofood" 109

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Збірник наукових праць
Серія:
Нові рішення в сучасних технологіях
№ 10 (1335) 2019

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол
Технічний редактор канд. фіз.-мат. наук С. І. Меньшикова

Відповідальний за випуск: докт. техн. наук, доц. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@gmail.com

Підп. до друку «27» травня 2019 р. Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 12,0. Облік.вид.арк. 8,75.
Тираж 300 прим. Зам. № 45. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №5478 від 21.08.2017
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
