МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»

No 44(1266)2017

Збірник наукових праць

Видання засноване в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2017

Вісник Національного технічного університету «ХПІ».Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ „ХПІ» – 2017р. – No44(1266) – 170 с.

Державне видання
Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ No5256 від 2 липня 2001 року

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого рішенням Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад, від 15 грудня 2015р. Наказ № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015р.

Координаційна рада:
Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. **(голова);**
К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. **(секретар);**

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабчснко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф., М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:
Відповідальний редактор: Дьомін Д. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;
Заст. відповідального редактора: Акімов О. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків,
Відповідальний секретар: Пєнзев П.С., НТУ «ХПІ»;
Члени редколегії: Березуцький В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дмітрік В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дудніков А. А., канд. техн. наук, ПДАА, Полтава, Заблоцький В. К., д-р техн. наук, ДДМА, Краматорськ, Заміховський Л. М., д-р техн. наук, ІФТУНГ, Івано-Франківськ, Євстратов В. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Погрібний М. А., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Соболь О. В., д-р фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Шоман О.В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Jozef Voynarovsky, проф., Сілезького політехнічного інституту, Польща, Rab Nawaz Lodhi, проф. Bahria University Islamabad Pakistan, Пакистан, Меркер Е. Е., д-р техн. наук, проф., Старооскольский технологічний інститут – філія Національного дослідницького технологічного інституту «Московський інститут сталі і сплавів», Росія

У 2015 р. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси», включений у довідник періодичних видань бази даних ***Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)***
Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ"
Протокол № 10 від «24» листопада 2017 р.

©Національний технічний університет «ХПІ», 2017

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 548.31

С. Р. АРТЕМЬЕВ, В. П. ШАПОРЕВ, Б. М. ЦИМБАЛ

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ

В статье проведен литературный обзор проблемы проведения исследований в области различных групп нитевидных кристаллов, показана актуальность проведения таких исследований в настоящее время. Проанализированы нетрадиционные и традиционные свойства получения различных групп нитевидных кристаллов, направления исследований, результаты проведенных исследований и экспериментов и ряд других важных вопросов.

Ключевые слова: нитевидные кристаллы, методы получения, физические свойства, спектр исследований, актуальность использования.

У статті було проведено підсумковий літературний огляд проблеми проведення досліджень різних груп ниткоподібних кристалів, показано актуальність проведення досліджень у сучасних умовах. Проаналізовано традиційні та нетрадиційні властивості отримання різних груп ниткоподібних кристалів, їх напрямки досліджень, результати проведення експериментів та ряд інших важливих питань. Показано важливість проведення досліджень зазначеної проблематики у питаннях охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: ниткоподібні кристали, методи отримання, фізичні властивості, спектр досліджень, актуальність використання.

The final literary review of problem of realization of researches of different groups of threadlike crystals was conducted in the article, actuality of realization of researches is shown in modern terms. Traditional and unconventional properties of receipt of different groups of threadlike crystals, their directions of researches, results of realization and row of other important questions, are analysed. Importance of realization of researches of the marked range of problems is shown in the questions of guard of environment. It is marked attention on circumstance that direction of researches from the point of view of sources is presented by foreign reviews, however after separate directions the even marked sources and references are not vast enough and need an additional study and careful researches. Thus, it is shown that even today there are a number of problematic places for studying issues related to threadlike crystals and the problem requires new ideas and solutions.

Keywords: threadlike crystals, methods of receipt, physical properties, spectrum of researches, actuality of the use.

Введение. Проблема исследования нитевидных кристаллов и, особенно группы нитевидных кристаллов металлов, ныне достаточно актуальна, так как данная группа металлов относится к «материалам будущего». Спектр использования именно этой группы кристаллов стремительно расширяется и проблематика выращивания таких кристаллов достаточно актуальна и современна. Последние 30 лет показали, что металлоорганические соединения продолжают занимать заметное, если не лидирующее положение среди подобных веществ, при получении металлических порошков, пленок, покрытий или даже, к примеру, пресс-форм из газовой фазы.

И если 50–70 лет назад можно было предположить, что круг возможностей использования данной группы кристаллов и соединений практически ограничен и, можно сказать, обозначен, то ныне, когда наука и производство стремительно расширяются, – такая группа кристаллов вторгается в области науки и производства, где ранее их не было.

Это еще раз подчеркивает тот факт, что наука неисчерпаема, и в ней «нет широкой столбовой дороги». Не смотря на накопленный материал в области исследования нитевидных кристаллов, тем не менее, можно предположить, что его экспериментальная часть и результаты исследований еще недостаточно известны широкому кругу ученых.

Эта статья подводит итог тому литературному обзору, который проводился в рамках написания будущей докторской диссертации и безусловно будет интересна, как определенный научный статистический материал, собранный за несколько лет работы в широком спектре литературных источников по указанной проблематике.

Цели и задачи исследования. Целью данной научной статьи является проведение итогового литературного обзора по проблематике исследования различных групп нитевидных кристаллов. В статье показана актуальность проведения исследований и расширение спектра их проведения по указанной группе соединений.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Итоговый литературный обзор. Ни для не является секретом тот факт, что нитевидные кристаллы обладают рядом свойств, которые существенно отличают их, например, от макрокристаллов.

В первую очередь, в источниках литературы было уделено пристальное внимание упругости и прочности нитевидных кристаллов, что было отображено в [1]. Развитие техники и современного производства предъявляют повышенные требования при изготовлении электроизоляционных материалов и изделий из них, работающих при высоких температурах, в химически агрессивных средах. На их основе в современном производстве успешно получают композиционные материалы.

Ранее, в СССР проблема использования нитевидных кристаллов в производстве начала решаться еще в 50-х годах прошлого столетия. Именно поэтому особый интерес к «вискерам» приходится на указанный период. В то время на производстве было получено и исследовано более 35 элементов и 80 соединений нитевидных кристаллов, что тоже было указано в [1].

Следует заметить тот факт, что оценка данной группы свойств нитевидных кристаллов была также углубленно проведена лишь в середине 20-го века [2]. Именно тогда ученые все более часто стали обращаться к вопросам проведения исследований данной

© С. Р. Артемьев, В. П. Шапорев, Б. М. Цимбал. 2017

группы кристаллов. И если ранее это более касалось зарубежных источников, то в СССР данный вопрос становился более актуальным именно в указанный промежуток времени, не теряя актуальности и до сегодняшнего дня.

Например, такое свойство, как теоретическая прочность нитевидных кристаллов была рассчитана практически 90 лет назад, что указано в [3] и в дальнейшем данный вопрос нашел свое отражение в различных литературных источниках, в частности в [4, 5].

Также в [3–5] были отображены вопросы проведения механических исследований нитевидных кристаллов. В частности, теоретическая прочность кристаллов была рассчитана исследователем Френкелем, что было описано в [3] для простейшей модели еще в 1926 году. Она также была рассчитана и другими исследователями на основании результатов экспериментов электростатического взаимодействия между ионами [4] с учетом Вандерваальсовых сил, о чем было указано в источнике [5].

При проведении исследований учеными были получены различные значения прочностей нескольких групп нитевидных кристаллов, в том числе и металлических, что отображено в таких источниках как [6, 7]. В то время как впрочем, и сейчас основная задача была сведена к получению такого значения прочности, которое было бы близко к, так называемому, «теоретическому».

Проведенный литературно-патентный обзор показал, что в решении проблемы увеличения показателя прочности данной группы кристаллов существенное значение имели работы советского ученого А. В. Степанова, который еще в 50-х годах прошлого столетия разработал физическую теорию разрушения периодически неоднородных анизотропных сред, что было указано в [8].

Именно для нитевидных кристаллов прочность является наиболее важным свойством, которая в разы превосходит такую же прочность как, например, у монокристаллов и поликристаллов. Данный показатель, прежде всего, объясняется совершенством структуры нитевидного кристалла и меньшим количеством различных дефектов. Данные вопросы были отражены, в частности, в [9–13].

Если анализировать источники последних 10–15 лет, то следует отметить, что указанные вопросы рассматривались во время проведения научных конференций, семинаров и симпозиумов, что указано, в частности, в источниках [14–16].

Достаточно пристально в литературных источниках рассматривались вопросы получения нитевидных волокон. В частности, анализ методов волочения и вытяжения (Тейлора) в процессах получения непрерывных волокон нитевидных кристаллов рассматривался в [17], где анализировались схемы проведенных процессов.

Методы, например, порошковой металлургии в получении таких металлов как вольфрам или молибден анализировались в [18]. Более систематизированные исследования и их результаты по тому же молибдену и молибденовой проволоке были описаны в литературном источнике [19].

Схематическое изображение установки для получения металлических волокон по методу Тейлора подробно изучалось и описано в [20].

В научной статье [21] были проанализированы и систематизированы методы получения непрерывных волокон нитевидных кристаллов именно с точки зрения показателей их прочности. За основу анализа в данной статье были взяты методы волочения и метод вытяжки. Здесь были подробно представлены схематические описания проведения обеих процессов, обращено внимание на качественные показания полученных итоговых результатов. Проанализированы технологические операции, которые составляют методику проведения указанных процессов и роль каждого из них.

Проведенный анализ различных публикаций показал, что по состоянию на окончание 20-го века работ, специально посвященных, например, изучению магнитных и оптических свойств нитевидных металлических (и других) кристаллов было не так много, причем основная масса из них была иностранного происхождения и в то время крайне труднодоступна.

Если брать источники, например, более современного характера, то в [22] авторами были рассмотрены перспективные направления использования «вискеров» именно с учетом влияния их характеристик на развитие конкретных направлений научных исследований, в том числе в области оптики.

В [23] коллективом авторов были рассмотрены вопросы технологий обработки нитевидных кристаллов, возможности создания биосовместимых материалов, а также исследованы оптические свойства нитевидных кристаллов как наноматериалов.

В диссертационной работе [24] ученым Номери М. достаточно углубленно рассматривались физические свойства монокристаллов, и особенное внимание было уделено именно оптическим свойствам.

В работе [25] достаточно углубленно обговаривались вопросы, связанные с особенностями оптических спектров некоторых нитевидных нанокристаллов, а в работе [26] по схожим группам нитевидных кристаллов обсуждались вопросы, в том числе и результаты проведенных оптических исследований нановолокон кристаллов SnO_2.

Изучение магнитных свойств нитевидных кристаллов многими исследователями проводилось преимущественно на железе, что было проанализировано, в частности, в [27]. Главным методом выявления доменов служил метод магнитных порошков, позволяющий обнаруживать не только доменную структуру, но и движение стенок доменов, что было указано в [28].

Исследование нитевидных кристаллов, например, кобальта, изучали ученые Кацер и др., что представлено в [29]. Они на практических экспериментах обнаружили, что зависимость ширины домена от толщины образца подчиняется степенному закону $^2/_3$, а не $^1/_2$, как это предсказывает теория.

Нитевидные кристаллы в силу ряда их особенностей, таких как малое количество дефектов, малые размеры, малые вихревые токи ныне стали таким объектом, в которых удалось наблюдать даже слабые диамагнитные эффекты. К таким явлениям относится,

например, эффект Хааза-ван Альфена – периодическое изменение магнитной восприимчивости с изменением напряженности магнитного поля, наблюдающееся только при низких температурах, когда оно не маскируется другими более сильными магнитными эффектами.

Ученый Шёнберг первым наблюдал данный эффект Хааза-ван Альфена на нитевидных кристаллах меди и указал это в [30]. В 1963 году учеными Андерсоном и Голдом [31] впервые наблюдался этот эффект на ферромагнитном материале, используя при этом в качестве объекта нитевидные кристаллы железа.

В 1964 году исследователями Люборски и Морелоком [32] в опытах по намагничиванию нитевидных кристаллов железа и сплавов железо – кобальт было показано, что зависимость коэрцитивной силы, остаточной магнитной индукции и гистерезиса от толщины образцов при хаотическом их расположении хорошо совпадает с расчетными данными для вихревой модели в кристаллах тоньше 1000 Å. Эти данные дали в то время первое экспериментальное подтверждение существования вихревого намагничивания, о котором говорилось исключительно в теории.

На нитевидных кристаллах железа толщиной от 40 до 400 мк трех различных ориентировок исследователями Айсином и Кольменом в [33] исследовалось влияние магнитного поля на электропроводность. Полученные результаты свидетельствовали о незамкнутых поверхностях Ферми.

На нитевидных кристаллах опять-таки железа учеными Родбеллом [34, 35] и Фрайтом [36], а на кобальте – Фрайтом [36] и Симанеком [37] исследовались особенности ферромагнитного и магнитного ядерного резонанса. Во всех указанных работах установлено, что ширина резонансных линий у нитевидных кристаллов всегда выше (иногда и на порядок), чем у макрокристаллов, что подтверждает высокое совершенство их структуры.

Симанек в [37] установил также, что интенсивность резонанса в нитевидных кристаллах кобальта гексагональной фазы больше, чем в микрокристаллах.

Проведенный литературный обзор показал, что люминесценцию в нитевидных кристаллах NaC1, активированных серебром, впервые наблюдала советский ученый Р. И. Гиндина в 1961 году, что описано в [38]. Кристаллы выращивались из водного раствора, содержащего AgC1, через пористую перегородку – целлофан. Поскольку нитевидные кристаллы имели малую длину (3 – 5 мм), изучение свечения отдельных образцов не проводилось. Наблюдалось голубое свечение всей массы выросших кристаллов при облучении ультрафиолетом.

Подробное изучение люминесцентных свойств нитевидных кристаллов NaC1 было проведено также Г. Лидером, Г. Бережковой и В. Рожанским, о чем указано в [39]. Неравномерность расположения активатора в кристалле проверялось на отдельных образцах в ультрафиолетовом микроскопе.

Исследователи Рейнольдс и Грин [40] установили отсутствие краевой люминесценции в нитевидных кристаллах CdS, которая в обычных кристаллах приписывается присутствию вакансий на местах ионов серы. В нитевидных кристаллах появление краевой люминесценции вызывало только облучение их протонами с энергией 1 МэВ**,** достаточной для образования вакансий, как на местах ионов серы, так и кадмия.

Советские исследователи Гольденберг и Меликгайказян в [41] исследовали процесс накопления F-центров в нитевидных кристаллах NaC1. Накопление F-центров в нитевидных кристаллах под действием ионизирующего излучения происходило в две стадии, причем вторая стадия связана с локализацией электронов на ионных вакансиях, генерируемых при облучении.

В 1963 году исследователь Балларо и др., что было указано в [42], изучали особенности образования центров окрашивания при рентгеновском облучении нитевидных кристаллов KCl. Было обнаружено лишь небольшое отличие их от обычных монокристаллов в ходе кривой поглощения. Это обстоятельство было связано с тем, что исследовались довольно толстые образцы размером в 10–80 мкм, не обладающие высоким совершенством структуры.

В научной статье [43] были обобщены выводы по проведенным исследованиям магнитных и оптических свойств различных групп нитевидных кристаллов, рассмотрена характеристика зависимости их магнитных свойств, как от поверхностного, так и от их объемного совершенства, детально обсуждены вопросы накопления F-центров в нитевидных кристаллах под воздействием ионизирующего излучения.

Французский спелеолог Де Кастере в [44] описывал тончайшие нити карбоната кальция и гипса, свисавшие с потолка и стен и обладавшие такой гибкостью, что их можно было обертывать вокруг пальца и даже завязывать в узел.

Проведенный анализ актуальности применения нитевидных кристаллов в современном производстве был обобщен в [45]. Там было указано, что за последние 20–30 лет успешно развивается направление, связанное с практическим использованием классических кремниевых вискеров для атомно-силовой и магнитосиловой микроскопии.

Именно сейчас на производстве достаточно актуальным направлением их использования есть создание одно и двухкомпонентных вискеров с полупроводниковыми свойствами (GaN, ZnO, InSb). Несомненная перспективность этого направления связана с развитием химии и физики наносистем, поскольку упорядоченный ансамбль таких нановискеров может рассматриваться в качестве системы с уникальными оптическими свойствами, в которых проявляются квантовые эффекты («квантовые точки», «квантовые нити»), в ряде случаев такие системы рассматриваются в контексте дизайна «фотонных кристаллов».

Прогресс в производстве микроэлектроники, в медицине, экологии во многом определяется уровнем разработок в области суперионных проводников. Вискеры, при наличии у них особой кристаллической структуры, обуславливающей смешанную электронно-ионную проводимость, могут быть использованы для создания электродных и мембранных материалов нового поколения в силу уникального сочетания выдающихся механических свойств и суперионной проводимости.

К достоинствам потенциальных электродов из нитевидных кристаллов относятся также возможность легкого придания им желаемой формы и дешевизна. Развитие современного производства показало, что нитевидные кристаллы являются уникальнейшим материалом для изготовления тензодатчиков и достаточно конкретные данные по этому направлению показаны в работах [46–50].

В достаточно популярном научном издании [51] описано успешное использование магнитных вискеров в магнитных пленках, дисках. Здесь же показано успешное использование металлических «усов» в процессе армирования сварных швов, электрических контактов, при производстве бесконтактных ключей, безщеточных двигателей постоянного тока, инфракрасных поляризаторов, термических проводников, при их использовании в контактных схемах для получения изображения.

В ряде работ, касающихся, главным образом, практического использования нитевидных кристаллов, как показал литературный обзор, появились данные, свидетельствующие о том, что модули упругости нитевидных кристаллов ряда керамик (в том числе и $A1_2O_3$) значительно превосходят модули упругости обычных материалов, что описано в [52].

Однако последующими исследованиями, как было указано в [53] уже утверждалось, что модули нитевидных кристаллов $A1_2O_3$ не отличаются по абсолютной величине от модулей макрокристаллов.

Проведенные учеными практические испытания показали, что предельная прочность нитевидных кристаллов однозначно зависит от их диаметра. Впервые это было отмечено Дьюлаи в работе [54] на нитевидных кристаллах известного кристалла NaCl: при уменьшении диаметра от 15 – 20 мк до 1 – 2 мк прочность возрастала от 2 – 4 до 100 кГ/мм^2. Впоследствии существование такой зависимости было подтверждено на нитевидных кристаллах многих веществ.

Исследователю Фридману удалось проследить ее до толщины 0,15 мк на нитевидных кристаллах и, так называемых, щепках LiF, которые образуются при раскалывании ионных кристаллов. Эти щепки по механическим свойствам подобны нитевидным кристаллам [55–59], однако существенно от них отличаются по ряду других признаков.

Именно в щепках избирательным травлением учеными была обнаружена очень высокая плотность дислокаций (до 10^9 см$^{-2}$). Дислокации располагались, как правило, вдоль следов скольжения. Это свидетельствовало, в свою очередь, о том, что щепки претерпевали пластическую деформацию в процессе их образования.

Растворимость щепок оказалась значительно выше, чем у нитевидных кристаллов, что было указано в [60]. Некоторые грани поверхности щепок при этом имели грубый рельеф ступеней скола. Причиной разрушения щепок, как показали исследования, часто являлись распространяющиеся с поверхности трещины.

Природа эффекта повышения прочности тонких нитей кристаллов была впервые выдвинута достаточно давно, в 1933 году Александровым и Журковым в их книге [61] и заключалась во введении представления о том, что зависимость прочности тонких нитей от их толщины обусловлена присутствием различных по действию на прочность дефектов материала, распределенных по всему образцу.

Однако полученные позже для нитевидных кристаллов данные средних прочностей были несколько завышенными, поскольку при испытаниях происходил непроизвольный отбор наиболее ровных образцов с гладкими и совершенными поверхностями. Масштабный эффект, т.е. повышение прочности кристалла с уменьшением диаметра образцов, наблюдалась при этом как на кристаллических, так и на некристаллических материалах.

Хорошо описана и показана коллективом ученых необычайно высокая прочность тонких стеклянных нитей в источнике [62]. Советский ученый Бережкова Г. В. при этом отмечала в работах [63, 64], что на стеклянных волокнах прочностью 280–370 кГ/мм^2 не было замечено изменений прочности при уменьшении их диаметра от 200 до 50 мк. Это было связано с тем, что все нити изготовлялись в строго идентичных условиях, приводящих к очень высокому качеству поверхности. Если же брать обычные материалы, то в них наблюдалось повышение прочности кристалла с уменьшением диаметра образцов, что было описано в [65].

В свою очередь ученые Пирсон, Рид и Фельдман в работе [66] проводили сравнение прочности нитевидных кристаллов Si и образцов тех же размеров, вытравленных из массивных кристаллов Si. Как показали результаты исследований при диаметрах от 50 до 25 мк, прочность их заметно не отличалась, что описано, в свою очередь, в [67]. В [68] было отмечено, что прочность микропроволок значительно медленнее падает с ростом толщины, и эта зависимость сохраняется до диаметров 30 мк (у нитевидных кристаллов до 8–10 мк).

Исследователи Гольденберг и Бычкова в своем труде [69] описывали исследования, проведенные на оптически совершенных нитевидных кристаллах NaC1, полученных испарением раствора через коллодиевую пленку, при котором наблюдалось возрастание микротвердости от 55 кГ/мм^2 для образцов диаметром 100 мк до 90 кГ/мм^2 для образцов диаметром 25 мк. Масштабный эффект в нитевидных кристаллах для не очень малых диаметров, так же как и в обычных материалах, может быть связан с уменьшением вероятности встретить опасные дефекты на поверхности или внутри образца.

В научной статье [70] было указано, что для изучения механических свойств нитевидные кристаллы обычно испытывались на изгиб, растяжение, кручение, ползучесть и усталость. Высокие прочностные свойства нитевидных кристаллов обнаруживались при этом практически во всех видах нагружения, хотя иногда характер напряженного состояния существенно изменял предел текучести.

В материале данной статьи были рассмотрены результаты различных ранее проведенных исследований прочностных характеристик различных групп нитевидных кристаллов, проанализированы результаты данных исследований с точки зрения использования кристаллов, более углубленно рассмотрены принципы

влияния механических испытаний на структуру кристаллической решетки и свойства нитевидных кристаллов.

Относительно электрических свойств нитевидных кристаллов стоит отметить, что в процессе электролиза в области малых токов металл на катоде иногда осаждается в форме нитей. Обычно такое явление наблюдается в электролитах, содержащих органические примеси (олеиновую кислоту, желатин и др. [71–73]), однако возможны и другие случаи.

В опытах Ван-дер-Мёлена [74] монокристаллические нити вырастали только в присутствии ионов $C1^{--}$. Нитевидные образования на катоде не всегда являются монокристаллами, как показали металлографические исследования Овенстона и др. [75] и рентгеновские Прайса и др. [77].

Например, исследователями Графом и Моргенштерном [78], были получены нити Ag в состаренных растворах $AgNO_3$, при этом присутствие в электролите ионов CN^{--} и I^{--} затрудняло нитевидный рост.

При этом было установлено ряд интересных фактов. Росту нитевидных кристаллов способствуют (но не инициируют) мелкие нерастворимые частицы (например, графит, стекло и др.). Важным условием образования нитей является отсутствие доступа в электролит кислорода.

Прочность нитей, образующихся при электролизе, всегда ниже, чем у нитевидных кристаллов тех же металлов, полученных другими способами, электросопротивление значительно выше. Все это свидетельствует о том, что в процессе электроосаждения происходит захват примесей растущим кристаллом.

Подробное изучение закономерностей роста нитевидных кристаллов Ag при электролизе было проведено исследователем К. М. Горбуновой с сотрудниками, о чем выше указаны соответствующие источники. Исследовалось влияние концентрации $AgNO_3$, примесей, силы тока. В качестве пассивирующих примесей использовались – олеиновая кислота, желатин, альбумин и др.

Рост тонких нитевидных кристаллов, по представлению К. Горбуновой, может происходить в соответствии с дислокационным механизмом. Более толстые нитевидные кристаллы могут расти путем зарождения и разрастания двумерных зародышей на торцовой поверхности кристалла. По мнению К. Горбуновой, большую роль в образовании нитевидных кристаллов при электролизе играет поверхностная диффузия.

Развивая эти представления, Прайс, Бермилия и Вебб на основании собственных наблюдений за образованием нитевидных кристаллов Ag при электролизе $AgNO_3$ и результатов той же К. Горбуновой предложили теорию этого процесса.

В отличие от Прайса, В. Ваграмян в 1971 году установил неравномерный характер диффузионного потока молекул ПАВ к боковой поверхности. Он предложил уравнение, удовлетворительно объясняющее особенности электролитического выращивания металлических усов.

Исследователь Берри и др. [78] наблюдали образование нитевидных кристаллов из припоя на тонкопленочных электросопротивлениях (главным образом, около положительных контактов) при пропускании через них токов, когда припой начинает локально плавиться.

Образование «нитей» начиналось после некоторого инкубационного периода длительностью от секунд до недель. При нагревании припоя в отсутствие электрического тока нитевидные кристаллы не образовывались. Состав самого сопротивления не играл при этом никакой роли, так как нитевидные кристаллы образовывались исключительно только из материала припоя, причем около положительного контакта образовывались нитевидные кристаллы, обогащенные одной компонентой сплава, около отрицательного – другой. Авторы объясняли наблюдаемое явление эффектом электропереноса или электромиграции в металлическом проводнике, когда четко проявляется ионная проводимость металла.

Большая группа работ выполнена была выполнена исследователем Бэконом и др. [79–83] по получению и изучению высокопрочных нитевидных кристаллов графита. Нитевидные кристаллы графита образовывались в дуге высокого давления при токе 70 – 80 *а* в закрытой камере, наполненной инертным газом под давлением 90 атм. По мере испарения положительного электрода на отрицательном электроде образуются були длиной в несколько сантиметров, насквозь проросшие нитевидными кристаллами толщиной от 0,5 до 5 мк и длиной до 3 см.

При этом они вырастали в форме пластинок и полых трубок с различными поперечными сечениями – треугольными, квадратными и круглыми. Но наиболее интересной формой обладали нитевидные кристаллы, образованные из базисных лент, закрученных в цилиндрическую, так называемую, «сигару». Каждая лента имела толщину в несколько сот ангстрем.

Механизм образования таких форм в те времена был еще недостаточно ясен, но в природе такие образования встречаются и в нынешних условиях довольно часто.

При исследованиях строения хризотиловых асбестов, относящихся к разряду параллельноволокнистых агрегатов, проведенных исследователем Ядой [84] на электронном микроскопе с высокой разрешающей способностью, было обнаружено, что большая часть нитей имеет форму полых цилиндров, состоящих из спирально закрученных слоев. В поперечных сечениях были видны мультиспирали, которые автор связывал с присутствием винтовых дислокаций. По данной проблеме ученые проводили эксперименты по выращиванию нитевидных кристаллов методом восстановления галогенидов во внешнем электрическом поле.

Так, Мазур и Рафалович [85], Гоффман и др. [86] изучали влияние электрического поля на образование нитевидных кристаллов Cu, Ag и Fe при восстановлении галогенидов в водороде. Нитевидные кристаллы Cu в электрическом поле вырастали более короткими, Ag и Fe, наоборот, – длиннее и в большем количестве, чем без поля. Эти опыты доказали свидетельство того, что материалом для роста нитевидных кристаллов являются наряженные частицы (ионы или поляризован-

ные молекулы). При этом не исключался и не ионный механизм роста.

Рост нитевидных кристаллов различных элементов в электрическом поле осуществлялся также учеными Гомером [87–90] и Мелмедом [91–96]. Нитевидные кристаллы ими выращивались внутри видоизмененной камеры ионного проектора в условиях высокого вакуума (до 10^{-9} мм рт. ст.) и при напряжении до 5 кВт.

Образование нитевидных кристаллов окиси молибдена в электрическом поле напряженностью до 4 кВ наблюдали также исследователи Левовский и Суджак [97], однако, по мнению авторов, выраставшие нити были поликристаллическими.

Выводы. В статье был проведен итоговый литературный обзор проблемы проведения исследований в области различных групп нитевидных кристаллов, показана актуальность проведения таких исследований в настоящее время. Проанализированы нетрадиционные и традиционные свойства получения различных групп нитевидных кристаллов, их свойства, направления исследований, результаты проведенных исследований и ряд других важных вопросов.

Список литературы:

1. *Бережкова, Г. В.* Нитевидные кристаллы [Текст] / *Г. В. Бережкова*. – М.: Госиздат, 1969. – 158 с.
2. *Gordo, J. E.* Endeavour [Text] / *J. E. Gordo*. – 1964. – Issue 23. – P. 8.
3. *Fraenkel, I. Z.* Phys. [Text] / *I. Fraenkel*. – 1926. – Issue 37. – P. 572.
4. *Zwicky, F. Z.* Phys. [Text] / *F. Zwicky*. – 1923. – Issue 24. – P. 131.
5. *De Boer, J. H.* Trans. Faraday Soc. [Text] / *J. H. De Boer*. – 1936. – Issue 32. – P. 10.
6. *Mackenezie, J. K.* Thesis Univ. Bristol [Text] / *J. K. Mackenezie*. – 1948. – Issue 11. – P. 21–24.
7. *Orowan, E.* Problems of plastic gliding [Text] / *E. Orowan* // Proceedings of the Physical Society. – 1940. – Vol. 52, Issue 1. – P. 8–22. doi: 10.1088/0959-5309/52/1/303
8. *Keller, E.* Reports & Comments – "Whiskers as Reinforcement Materials" / *E. Keller* // Industrial & Engineering Chemistry. – 1964. – Vol. 56, Issue 4. – P. 9–10. doi: 10.1021/ie50652a002
9. *Hoffmann, G. A. J.* Metals [Text] / *G. A. Hoffmann*. – 1958. – Issue 10. – P. 591.
10. *Hoffmann, G. A.* Astronautics [Text] / *G. A. Hoffmann*. – 1958. – Issue 3. – P. 31.
11. *Hoffmann, G. A.* Neu Sci. [Text] / *G. A. Hoffmann*. – 1961. – Issue 9. – P. 40.
12. *Levett, A. P.* Mater. Res. and Standarts [Text] / *A. P. Levett*. – 1966. – Issue 6. – P. 64.
13. *McCreight, L. R.* Ceramic and Graphite Fibers and Whiskers [Text] / *L. R. McCreight, H. W. Rauch, W. H. Sutton*. – N.Y. – London: Acad. Press, 1965. – 244 p.
14. Нитевидные кристаллы [Текст] // Исследования и разработки по приоритетному направлению развития науки, технологий и техники «Индустрия наносистем и материалы». – Москва, 2007.
15. *Шишелова, Т. И.* Нитевидные кристаллы [Текст] / *Т. И. Шишелова, Н. Е. Степанова, Д. А. Плынская, М. А. Беляева* // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 8. – С. 12–13.
16. Нитевидные кристаллы [Текст] // Исследования и разработки по приоритетному направлению развития науки, технологий и техники «Индустрия наносистем и материалы». – Москва, 2007.
17. *Дерягин, Б. В.* УНФ ДАН СССР [Текст] / Б. *В. Дерягин, Д. В. Федосеев, В. М. Лукьянович, Б. В. Синицин, В. А. Рябов, А. В. Лаврентьев*. – М.: Госиздат, 1968. – № 5. – С. 1094.
18. *McAleer, W. J.* Vapor Phase Growth of Gallium Arsenide Crystals [Text] / *W. J. McAleer, H. R. Barkemeyer, P. I. Pollak* // Journal of The Electrochemical Society. – 1961. – Vol. 108, Issue 12. – P. 1168. doi: 10.1149/1.2427980
19. *Barns, R. L.* The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society [Text] / *R. L. Barns, W. C. Ellis*. – 1964. – Vol. 16. – 761 p.
20. *James, D. W. F.* Silicon whisker growth and epitaxy by the vapour-liquid-solid mechanism [Text] / *D. W. F. James, C. Lewis* // British Journal of Applied Physics. – 1965. – Vol. 16, Issue 8. – P. 1089–1094. doi: 10.1088/0508-3443/16/8/305
21. *Артемьев, С. Р.* Анализ методов получения непрерывных волокон нитевидных кристаллов [Текст] / *С. Р. Артемьев, В. П. Шапорев* // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – № 17 (1189). – С. 14–18.
22. *Шишелова, Т. И.* Нитевидные кристаллы [Текст] / *Т. И. Шишелова, Н. Е. Степанова, Д. А. Плынская, М. А. Беляева* // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 8. – С. 12–13.
23. Нитевидные кристаллы [Текст] // Исследования и разработки по приоритетному направлению развития науки, технологий и техники «Индустрия наносистем и материалы». – Москва, 2007.
24. *Номери, М. А. Х.* Получение и исследование оптических свойств полупроводниковых оксидов ZnO_2 и Zn_2O_3 [Текст]: дисс. … канд. физ.-мат. наук / *Х. А. М. Номери*. – Воронеж, 2011. – 128 с.
25. *Рябцев, С. В.* Особенности оптических спектров нитевидных нанокристаллов SnO_2 [Текст] / *С. В. Рябцев, Н. М. А. Хадия, Ф. М. Чернышов, С. В. Рябцев, Э. П. Домашевская* // VII Всероссийская конференция-школа «Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении (индустрия наносистем и материалы)». – Воронеж, 2009. – С. 308–311.
26. *Домашевская, Э. П.* Морфологические, структурные и оптические исследования нановолокон SnO_2, синтезированных из порошка SnO [Текст] / *Э. П. Домашевская, Н. М. А. Хадия, П. В. Середин, С. В. Рябцев* // Фагран – 2008: IV Всероссийская конференция «Физико-химические процессы в конденсированном состоянии и на межфазных границах». – Воронеж, 2008. – С. 367–371.
27. *Coleman, R. V.* Magnetic Domain Patterns on Single-Crystal Iron Whiskers [Text] / *R. V. Coleman, G. G. Scott* // Physical Review. – 1957. – Vol. 107, Issue 5. – P. 1276–1280. doi: 10.1103/physrev.107.1276
28. *Kaczér, J.* Domain structure of cobalt whiskers [Text] / *J. Kaczér, R. Gemperle, Z. Hauptman* // Czechoslovak Journal of Physics. – 1959. – Vol. 9, Issue 5. – P. 606–612. doi: 10.1007/bf01556951
29. *Гауптман, З.* Рост кристаллов. Т. III [Текст] / *З. Гауптман, Я. Кацер, Р. Гемперле*. – Изд-во АН СССР, 1961. – 159 с.
30. *D. Shoenberg* The De Haas–Van Alphen Effect in Copper [Text] / *D. Shoenberg* // Nature. – 1959. – Vol. 183, Issue 4655. – P. 171–171. doi: 10.1038/183171a0
31. *Anderson, J. R.* de Haas-van Alphen Effect and Internal Field in Iron [Text] / *J. R. Anderson, A. V. Gold* // Physical Review Letters. – 1963. – Vol. 10, Issue 6. – P. 227–229. doi: 10.1103/physrevlett.10.227
32. *Luborsky, F. E.* Magnetization Reversal of Almost Perfect Whiskers [Text] / *F. E. Luborsky, C. R. Morelock* // Journal of Applied Physics. – 1964. – Vol. 35, Issue 7. – P. 2055–2066. doi: 10.1063/1.1702791
33. *Ison, A.* Phys. Rev. [Text] / *A. Ison, R. V. Coleman*. – 1965. – Issue 137. – P. 1609.
34. *Rodbell, D. S.* Ferromagnetic Resonance of Iron Whisker Crystals [Text] / *D. S. Rodbell* // Journal of Applied Physics. – 1959. – Vol. 30, Issue 4. – P. S187–S188. doi: 10.1063/1.2185880
35. *Rodbell, D. S.* Growth and Perfection of Crystals, N. Y., John Willey [Text] / *D. S. Rodbell*. – 1959. – Issue 4. – P. 247.
36. *Frait, Z.* A note on spin-wave resonance in iron whisker single crystals [Text] / *Z. Frait* // Czechoslovak Journal of Physics. – 1964. – Vol. 14, Issue 3. – P. 205–206. doi: 10.1007/bf01688841

37. *Frait, Z.* Ferromagnetic resonance on cobalt whiskers [Text] / *Z. Frait* // Czechoslovak Journal of Physics. – 1960. – Vol. 10, Issue 7. – P. 546–547. doi: 10.1007/bf01557364

38. *Šimánek, E.* Nuclear magnetic resonance in cobalt whiskers [Text] / *E. Šimánek* // Czechoslovak Journal of Physics. – 1962. – Vol. 12, Issue 1. – P. 81–83. doi: 10.1007/bf01688402

39. *Гиндина, Р. И.* Исследования по люминесценции [Текст] / *Р. И. Гиндина* // Журнал прикладной физики. – 1961. – № 2. – С. 148–152.

40. *Лидер, В. В.* Физика твердого тела [Текст] / *В. В. Лидер, Г. В. Бережкова, В. Н. Рожанский* // ФТТ. – 1963. – № 5. – С. 1479.

41. *Reynolds, D. S.* Bull. Amer. Phys. Soc. [Text] / *D. S. Reynolds, L. C. Greene*. – 1958. – Issue 3. – P. 108.

42. Гольденберг, С. У. Физика твердого тела [Текст] / С. У. Гольденберг, И. Я. Мелик-Гайказян // ФТТ. – 1964. – № 6. – С. 3484.

43. *Ballaro, S.* X-ray generation of F centers in KCl whiskers [Text] / *S. Ballaro, G. Chiarotti, G. Cubiotti, V. Grasso* // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1965. – Vol. 26, Issue 4. – P. 729–734. doi: 10.1016/0022-3697(65)90025-9

44. *Артемьев, С. Р.* Анализ результатов исследований магнитных и оптических свойств нитевидных кристаллов [Текст] / *С. Р. Артемьев* // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: механіко-технологічні системи та комплекси. – 2014. – № 40 (1083). – С. 154–160.

45. *Кастере, Д.* Десять лет под землей [Текст] / *Д. Кастере*. – М.: Госгео-графиздат, 1956. – 122 с.

46. *Артемьев, С. Р.* Об актуальности применения нитевидных кристаллов в современном производстве [Текст] / *С. Р. Артемьев* // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". Новые решения в современных технологиях. – 2013. – № 56 (1029). – С. 204–208.

47. *Parratt, N. J.* Powed. Met. [Text] / *N. J. Parratt*. – 1964. – Issue 7. – P. 152.

48. *Сандулова, А. В.* Физика твердого тела [Текст] / *А. В. Сандулова, И. И. Марьямова, Ю. И. Загоняч* // Журнал физики. – 1965. – № 7. – С. 1581.

49. Mach. Design. [Text]. – 1960. – Issue 32. – P. 27.

50. Mach. Design. [Text]. – 1960. – Issue 32. – P. 19.

51. Electronics [Text]. – 1961. – Issue 34. – P. 68.

52. *Сыркин, В. Г.* Материалы будущего: О нитевидных кристаллах металлов [Текст] / *В. Г. Сыркин*. – М.: Наука, 1990. – 192 с.

53. *Бокштейн, С. З.* Физика твердого тела [Текст] / *С. З. Бокштейн, С. Т. Кишкин, М. П. Назарова, И. Л. Светлов* // ФТТ. – 1967. – Т. 9. – С. 1887.

54. *Бокштейн, С. З.* Физика твердого тела [Текст] / *С. З. Бокштейн, Г. Н. Зайцев, М. Й. Назарова, И. Л. Светлов* // ФТТ. – 1968. – Т. 10, № 2. – С. 564.

55. *Gyulai, Z.* Festigkeits- und Plastizit-tseigenschaften von NaCl-Nadelkristallen [Text] / *Z. Gyulai* // Zeitschrift for Physik. – 1954. – Vol. 138, Issue 3-4. – P. 317–321. doi: 10.1007/bf01340676

56. *Venables, J. D.* Identification of Precipitates on Grown-In Dislocations in MgO [Text] / *J. D. Venables* // Journal of Applied Physics. – 1963. – Vol. 34, Issue 2. – P. 293–297. doi: 10.1063/1.1702602

57. *Hulse, O. J.* Amer. Ceram. Soc. [Text] / *O. Hulse*. – 1961. – Issue 44. – P. 572.

58. *Дикина, Л. С.* Физика твердого тела [Текст] / Л. *С. Дикина, А. А. Шпунт* // ФТТ. – 1962. – Т. 4. – С. 556.

59. *Стрелков, П. Г.* Физика твердого тела [Текст] / *П. Г. Стрелков, А. А. Шпунт* // ФТТ. – 1962. – Т. 4. – С. 2258.

60. *Фридман, В. Я.* Физика твердого тела [Текст] / *В. Я. Фридман, А. А. Шпунт* // ФТТ. – 1963. – Т. 5. – С. 790.

61. *Фридман, В. Я.* Физика твердого тела [Текст] / *В. Я. Фридман, А. А. Шпунт* // ФТТ. – 1964. – Т. 6. – С. 489.

62. *Александров, А. П.* Явление хрупкого разрыва [Текст] / *А. П. Александров, С. Н. Журков*. – М.: Изд. ГТТИ, 1933. – 215 с.

63. *Буров, К. А.* Научный журнал ЖТФ [Текст] / *К. А. Буров, М. В. Классен-Неклюдова, Г. А. Андриевская, Г. Д. Тенсон, Ю. Е. Томиловский, М. А. Чернышова* // ЖТФ. – 1945. – Т. 15. – С. 407.

64. *Ollo, W. J.* Amer. Ceram. Soc. [Text] / *W. Ollo*. – 1955. – Issue 38. – P. 122.

65. *Thomas, W. F.* Strength of Glass Fibres [Text] / *W. F. Thomas* // Nature. – 1958. – Vol. 4614. – P. 1006–1006. doi: 10.1038/1811006a0

66. *Taylor, G. F.* A Method of Drawing Metallic Filaments and a Discussion of their Properties and Uses [Text] / *G. F. Taylor* // Physical Review. – 1924. – Vol. 23, Issue 5. – P. 655–660.

67. *Pearson, G. L.* Deformation and fracture of small silicon crystals [Text] / *G. L. Pearson, W. T. Read, W. L. Feldmann* // Acta Metallurgica. – 1957. – Vol. 5, Issue 4. – P. 181–191. doi: 10.1016/0001-6160(57)90164-5

68. *Read, W. T.* Dislocations and Mechanical Properties of Crystals [Text] / *W. T. Read, G. L. Pearson*. – N. Y. – London, John Willey, 1957. – P. 537.

69. *Parker, R. L.* Vapor-Phase Growth Kinetics of Potassium Whiskers by Field Emission [Text] / *R. L. Parker, S. C. Hardy* // The Journal of Chemical Physics. – 1962. – Vol. 37, Issue 8. – P. 1606–1609. doi: 10.1063/1.1733348

70. *Гольденберг, С. У.* Физика твердого тела [Текст] / *С. У. Гольденберг, А. И. Бычкова* // ФТТ. – 1967. – Т. 9. – С. 674.

71. *Артемьев, С. Р.* Свойства нитевидных кристаллов. Механические испытания на прочность [Текст] / *С. Р. Артемьев* // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 6, № 1 (14). – С. 4–7. doi: 10.15587/2312-8372.2013.19533

72. *Горбунова, К. М.* Рост нитевидных кристаллов [Текст] / *К. М. Горбунова, А. И. Жукова* // ЖФХ. – 1949. – Т. 23. – С. 695.

73. *Горбунова, К. М.* Рост нитевидных кристаллов [Текст] / *К. М. Горбунова, П. Д. Данков* // ЖФХ. – 1949. – Т. 23. – С. 616.

74. *Горбунова, К. М.* Рост кристаллов [Текст] / *К. М. Горбунова* // изд. АН СССР. – 1957. – Т. 1. – С. 48.

75. *Van der Meulen P. A.* A Study of Whisker Formation in the Electrodeposition of Copper [Text] / *P. A. van der Meulen, H. V. Lindstrom* // Journal of The Electrochemical Society. – 1956. – Vol. 103, Issue 7. – P. 390. doi: 10.1149/1.2430360

76. *Ovenston, T. C. J.* Filamentary Growths on Copper Cathodes [Text] / *T. C. J. Ovenston, C. A. Parker, A. E. Robinson* // Journal of The Electrochemical Society. – 1957. – Vol. 104, Issue 10. – P. 607. doi: 10.1149/1.2428425

77. *Price, P. B.* On the growth and properties of electrolytic whiskers [Text] / *P. B. Price, D. A. Vermilyea, M. B. Webb* // Acta Metallurgica. – 1958. – Vol. 6, Issue 8. – P. 524–531. doi: 10.1016/0001-6160(58)90167-6

78. *Graf, L.* Notizen: Fadenförmige Wachstumsformen bei der Elektrokristallisation des Silbers [Text] / *L. Graf, W. Morgenstern* // Zeitschrift für Naturforschung A. – 1955. – Vol. 10, Issue 4. doi: 10.1515/zna-1955-0415

79. *Berry, R. W.* Growth of whisker crystals and related morphologies by electrotransport [Text] / *R. W. Berry, G. M. Bouton, W. C. Ellis, D. E. Engling* // Applied Physics Letters. – 1966. – Vol. 9, Issue 7. – P. 263–265. doi: 10.1063/1.1754742

80. *Bacon, R. B.* Amer. Phys. Soc. [Text] / *R. Bacon, J. C. Bowman*. – 1957. – Vol. 11, Issue 2. – P. 131.

81. *Bacon, R. J.* Appl. Phys. [Text] / *R. Bacon, J. C. Bowman*. – 1957. – Vol. 28. – P. 826.

82. *Bacon, R.* Bull [Text] / *R. Bacon* // Amer. Phys. Soc. – 1958. – Vol. 3. – P. 108.

83. *Bacon, R.* Growth and Perfection of Crystals [Text] / *R. Bacon*. – N. Y. John Willey, 1959. – 197 p.

84. *Bacon, R.* Growth, Structure, and Properties of Graphite Whiskers [Text] / *R. Bacon* // Journal of Applied Physics. – 1960. – Vol. 31, Issue 2. – P. 283–290. doi: 10.1063/1.1735559

85. *Yada, K.* Study of chrysotile asbestos by a high resolution electron microscope [Text] / *K. Yada* // Acta Crystallographica. – 1967. – Vol. 23, Issue 5. – P. 704–707. doi: 10.1107/s0365110x67003524

86. *Mazur, J.* Hypothesis on the ionic mechanism of the growth of whiskers obtained by reduction of the metal halides [Text] / *J. Mazur, J. Rafalowicz* // British Journal of Applied Physics. – 1961. – Vol. 12, Issue 10. – P. 569–571. doi: 10.1088/0508-3443/12/10/316

87. *Hofman, T.* The influence of an electric field on the growth of copper whiskers [Text] / *T. Hofman, J. Mazur, J. Nikliborc, J. Rafalowicz* // British Journal of Applied Physics. – 1961. – Vol. 12, Issue 7. – P. 342–343. doi: 10.1088/0508-3443/12/7/307

88. *Gomer, R.* Field Emission from Mercury Whiskers [Text] / *R. Gomer* // The Journal of Chemical Physics. – 1957. – Vol. 26, Issue 5. – P. 1333–1334. doi: 10.1063/1.1743515

89. *Gomer, R.* Surface Diffusion of CO on W [Text] / *R. Gomer* // The Journal of Chemical Physics. – 1958. – Vol. 28, Issue 1. – P. 168–168. doi: 10.1063/1.1744064

90. *Gomer, R.* Growth and Perfection of Crystals [Text] / R. Gomer. – N. Y. John Willey, 1959. – 126 p.

91. *Gomer, R.* Comments on "Growth of Crystal Whiskers" by Blakely and Jackson [Text] / *R. Gomer* // The Journal of Chemical Physics. – 1963. – Vol. 38, Issue 1. – P. 273–274. doi: 10.1063/1.1733479

92. *Melmed, A. J.* Field Emission from Metal Whiskers [Text] / *A. J. Melmed, R. Gomer* // The Journal of Chemical Physics. – 1959. – Vol. 30, Issue 2. – P. 586–587. doi: 10.1063/1.1729993

93. *Melmed, A. J.* On the Occurrence of Fivefold Rotational Symmetry in Metal Whiskers [Text] / *A. J. Melmed, D. O. Hayward* // The Journal of Chemical Physics. – 1959. – Vol. 31, Issue 2. – P. 545–546. doi: 10.1063/1.1730394

94. *Melmed, A. J.* Field Emission from Whiskers [Text] / *A. J. Melmed, R. Gomer* // The Journal of Chemical Physics. – 1961. – Vol. 34, Issue 5. – P. 1802–1812. doi: 10.1063/1.1701081

95. *Melmed, A. J.* Electrical Measurement of Whisker Field-Emission Characteristics [Text] / *A. J. Melmed* // The Journal of Chemical Physics. – 1962. – Vol. 36, Issue 4. – P. 1101–1101. doi: 10.1063/1.1732663

96. *Melmed, A. J.* Field-Emission Microscopy of Twins in Vapor-Grown fcc Whiskers [Text] / *A. J. Melmed* // Journal of Applied Physics. – 1963. – Vol. 34, Issue 11. – P. 3325–3328. doi: 10.1063/1.1729187

97. *Melmed, A. J.* Field-Electron and Field-Ion Emission from Single Vapor-Grown Whiskers [Text] / *A. J. Melmed* // The Journal of Chemical Physics. – 1963. – Vol. 38, Issue 3. – P. 607–612. doi: 10.1063/1.1733713

98. *Lewowski, T.* Notizen: Erregung photostimulierter Co-Exoelektronen-emission durch anodische Oxydation von Aluminium [Text] / *T. Lewowski* // Zeitschrift für Naturforschung A. – 1960. – Vol. 15, Issue 1. doi: 10.1515/zna-1960-0121

Bibliography (transliterated):

1. Berezhkova, G. V. (1969). Nitevidnye kristally. Moscow: Gosizdat, 158.

2. Gordo, J. E. (1964). Endeavour, 23, 8.

3. Fraenкel, I. (1926). Z. Phys., 37, 572.

4. Zwicky, F. (1923). Z. Phys., 24, 131.

5. De Boer, J. H. (1936). Trans. Faraday Soc., 32, 10.

6. Mackenezie, J. K. (1948). Thesis Univ. Bristol., 11, 21–24.

7. Orowan, E. (1940). Problems of plastic gliding. Proceedings of the Physical Society, 52 (1), 8–22. doi: 10.1088/0959-5309/52/1/303

8. Keller, E. (1964). Reports & Comments – "Whiskers as Reinforcement Materials". Industrial & Engineering Chemistry, 56 (4), 9–10. doi: 10.1021/ie50652a002

9. Hoffmann, G. A. (1958). J. Metals., 10, 591.

10. Hoffmann, G. A. (1958). Astronautics, 3, 31.

11. Hoffmann, G. A. (1961). Neu Sci., 9, 40.

12. Levett, A. P. (1966). Mater. Res. and Standarts, 6, 64.

13. McCreight, L. R., Rauch, H. W., Sutton, W. H. (1965). Ceramic and Graphite Fibers and Whiskers. N.Y. – London: Acad. Press, 244.

14. Nitevidnye kristally (2007). Issledovaniya i razrabotki po prioritetnomu napravleniyu razvitiya nauki, tekhnologiy i tekhniki «Industriya nanosistem i materialy». Moscow.

15. Shishelova, T. I., Stepanova, N. E., Plynskaya, D. A., Belyaeva, M. A. (2009). Nitevidnye kristally. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 8, 12–13.

16. Nitevidnye kristally (2007). Issledovaniya i razrabotki po prioritetnomu napravleniyu razvitiya nauki, tekhnologiy i tekhniki «Industriya nanosistem i materialy». Moscow.

17. Deryagin, B. V., Fedoseev, D. V., Luk'yanovich, V. M., Sinicin, B. V., Ryabov, V. A., Lavrent'ev, A. V. (1968). UNF DAN SSSR. Moscow: Gosizdat, 5, 1094.

18. McAleer, W. J., Barkemeyer, H. R., Pollak, P. I. (1961). Vapor Phase Growth of Gallium Arsenide Crystals. Journal of The Electrochemical Society, 108 (12), 1168. doi: 10.1149/1.2427980

19. Barns, R. L., Ellis, W. C. (1964). The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, 16, 761.

20. James, D. W. F., Lewis, C. (1965). Silicon whisker growth and epitaxy by the vapour-liquid-solid mechanism. British Journal of Applied Physics, 16 (8), 1089–1094. doi: 10.1088/0508-3443/16/8/305

21. Artem'ev, S. R., Shaporev, V. P. Analiz metodov polucheniya nepreryvnyh volokon nitevidnyh kristallov. Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 17 (1189), 14–18.

22. Shishelova, T. I., Stepanova, N. E., Plynskaya, D. A., Belyaeva, M. A. (2009). Nitevidnye kristally. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 8, 12–13.

23. Nitevidnye kristally (2007). Issledovaniya i razrabotki po prioritetnomu napravleniyu razvitiya nauki, tekhnologiy i tekhniki «Industriya nanosistem i materialy». Moscow.

24. Nomeri, M. A. H. (2011). Poluchenie i issledovanie opticheskih svoystv poluprovodnikovyh oksidov ZnO2 i Zn2O3. Voronezh, 128.

25. Ryabcev, S. V., Hadiya, N. M. A., Chernyshov, F. M., Ryabcev, S. V., Domashevskaya, E. P. (2009). Osobennosti opticheskih spektrov nitevidnyh nanokristallov SnO2. VII Vserossiyskaya konferenciya-shkola «Nelineynye processy i problemy samoorganizacii v sovremennom materialovedenii (industriya nanosistem i materialy)». Voronezh, 308–311.

26. Domashevskaya, E. P., Hadiya, N. M. A., Seredin, P. V., Ryabcev, S. V. (2008). Morfologicheskie, strukturnye i opticheskie issledovaniya nanovolokon SnO2, sintezirovannyh iz poroshka SnO. Fagran – 2008: IV Vserossiyskaya konferenciya «Fiziko-himicheskie processy v kondensirovannom sostoyanii i na mezhfaznyh granicah». Voronezh, 367–371.

27. Coleman, R. V., Scott, G. G. (1957). Magnetic Domain Patterns on Single-Crystal Iron Whiskers. Physical Review, 107 (5), 1276–1280. doi: 10.1103/physrev.107.1276

28. Kaczér, J., Gemperle, R., Hauptman, Z. (1959). Domain structure of cobalt whiskers. Czechoslovak Journal of Physics, 9 (5), 606–612. doi: 10.1007/bf01556951

29. Gauptman, Z., Kacer, Ya., Gemperle, P. (1961). Rost kristallov. Vol. III. Izd-vo AN SSSR, 159.

30. Shoenberg, D. (1959). The De Haas–Van Alphen Effect in Copper. Nature, 183 (4655), 171–171. doi: 10.1038/183171a0

31. Anderson, J. R., Gold, A. V. (1963). de Haas-van Alphen Effect and Internal Field in Iron. Physical Review Letters, 10 (6), 227–229. doi: 10.1103/physrevlett.10.227

32. Luborsky, F. E., Morelock, C. R. (1964). Magnetization Reversal of Almost Perfect Whiskers. Journal of Applied Physics, 35 (7), 2055–2066. doi: 10.1063/1.1702791

33. Ison, A., Coleman, R. V. (1965). Phys. Rev., 137, 1609.

34. Rodbell, D. S. (1959). Ferromagnetic Resonance of Iron Whisker Crystals. Journal of Applied Physics, 30 (4), S187–S188. doi: 10.1063/1.2185880

35. 27. Rodbell, D. S. (1959). Growth and Perfection of Crystals, N. Y., John Willey, 4, 247.

36. Frait, Z. (1964). A note on spin-wave resonance in iron whisker single crystals. Czechoslovak Journal of Physics, 14 (3), 205–206. doi: 10.1007/bf01688841
37. Frait, Z. (1960). Ferromagnetic resonance on cobalt whiskers. Czechoslovak Journal of Physics, 10 (7), 546–547. doi: 10.1007/bf01557364
38. Šimánek, E. (1962). Nuclear magnetic resonance in cobalt whiskers. Czechoslovak Journal of Physics, 12 (1), 81–83. doi: 10.1007/bf01688402
39. Gindina, R. I. (1961). Issledovaniya po lyuminescencii. Zhurnal prikladnoy fiziki, 2, 148–152.
40. Lider, V. V., Berezhkova, G. V., Rozhanskiy, V. N. (1963). Fizika tverdogo tela. FTT, 5, 1479.
41. Reynolds, D. S., Greene, L. C. (1958). Bull. Amer. Phys. Soc., 3, 108.
42. Gol'denberg, S. U., Melik-Gaykazyan, I. Ya. (1964). Fizika tverdogo tela. FTT, 6, 3484.
43. Ballaro, S., Chiarotti, G., Cubiotti, G., Grasso, V. (1965). X-ray generation of F centers in KCl whiskers. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 26 (4), 729–734. doi: 10.1016/0022-3697(65)90025-9
44. Artem'ev, S. R. (2014). Analiz rezul'tatov issledovaniy magnitnyh i opticheskih svoystv nitevidnyh kristallov. Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 40 (1083), 154–160.
45. Kastere, D. (1956). Desyat' let pod zemley. Moscow: Gosgeo-grafizdat, 122.
46. Artem'ev, S. R. (2013). Ob aktual'nosti primeneniya nitevidnyh kristallov v sovremennom proizvodstve. Vestnik Nac. tekhn. un-ta "HPI". Novye resheniya v sovremennyh tekhnologiyah, 56 (1029), 204–208.
47. Parratt, N. J. (1964). Powed. Met., 7, 152.
48. Sandulova, A. V., Mar'yamova, I. I., Zagonyach, Yu. I. (1965). Fizika tverdogo tela. Zhurnal fiziki, 7, 1581.
49. Mach. Design (1960), 32, 27.
50. Mach. Design (1960), 32, 19.
51. Electronics (1961), 34, 68.
52. Syrkin, V. G. (1990). Materialy budushchego: O nitevidnyh kristallah metallov. Moscow: Nauka, 192.
53. Bokshteyn, S. Z., Kishkin, S. T., Hazarova, M. P., Svetlov, I. L. (1967). Fizika tverdogo tela. FTT, 9, 1887.
54. Bokshteyn, S. Z., Zaycev, G. N., Nazarova, M. Y., Svetlov, I. L. (1968). Fizika tverdogo tela. FTT, 10 (2), 564.
55. Gyulai, Z. (1954). Festigkeits- und Plastizit-tseigenschaften von NaCl-Nadelkristallen. Zeitschrift for Physik, 138 (3-4), 317–321. doi: 10.1007/bf01340676
56. Venables, J. D. (1963). Identification of Precipitates on Grown-In Dislocations in MgO. Journal of Applied Physics, 34 (2), 293–297. doi: 10.1063/1.1702602
57. Hulse, O. J. (1961). Amer. Ceram. Soc., 44, 572.
58. Dikina, L. S., Shpunt, A. A. (1962). Fizika tverdogo tela. FTT, 4, 556.
59. Strelkov, P. G., Shpunt, A. A. (1962). Fizika tverdogo tela. FTT, 4, 2258.
60. Fridman, V. Ya., Shpunt, A. A. (1963). Fizika tverdogo tela. FTT, 5, 790.
61. Fridman, V. Ya., Shpunt, A. A. Fizika tverdogo tela. FTT, 6, 489.
62. Aleksandrov, A. P., Zhurkov, S. N. (1933). Yavlenie hrupkogo razryva. Moscow: Izd. GTTI, 215.
63. Burov, K. A., Klassen-Neklyudova, M. V., Andrievskaya, G. A., Tenson, G. D., Tomilovskiy, Yu. E., Chernyshova, M. A. (1945). Nauchnyy zhurnal ZHTF. ZHTF, 15, 407.
64. Ollo, W. (1955). J. Amer. Ceram. Soc., 38, 122.
65. Thomas, W. F. (1958). Strength of Glass Fibres. Nature, 4614, 1006–1006. doi: 10.1038/1811006a0
66. Taylor, G. F. (1924). A Method of Drawing Metallic Filaments and a Discussion of their Properties and Uses. Physical Review, 23 (5), 655–660.
67. Pearson, G. L., Read, W. T., Feldmann, W. L. (1957). Deformation and fracture of small silicon crystals. Acta Metallurgica, 5 (4), 181–191. doi: 10.1016/0001-6160(57)90164-5
68. Read, W. T., Pearson, G. L. (1957). Dislocations and Mechanical Properties of Crystals. N. Y. – London, John Willey, 537.
69. Parker, R. L., Hardy, S. C. (1962). Vapor-Phase Growth Kinetics of Potassium Whiskers by Field Emission. The Journal of Chemical Physics, 37 (8), 1606–1609. doi: 10.1063/1.1733348
70. Gol'denberg, C. U., Bychkova, A. I. (1967). Fizika tverdogo tela. FTT, 9, 674.
71. Artem'ev, S. R. Properties of whiskers. mechanical strength test. Technology audit and production reserves, 6 (1 (14)), 4–7. doi: 10.15587/2312-8372.2013.19533
72. Gorbunova, K. M., Zhukova, A. I. (1949). Rost nitevidnyh kristallov. ZHFH, 23, 695.
73. Gorbunova, K. M., Dankov, P. D. (1949). Rost nitevidnyh kristallov. ZHFH, 23, 616.
74. Gorbunova, K. M. (1957). Rost kristallov. izd. AN SSSR, 1, 48.
75. Van der Meulen, P. A., Lindstrom, H. V. (1956). A Study of Whisker Formation in the Electrodeposition of Copper. Journal of The Electrochemical Society, 103 (7), 390. doi: 10.1149/1.2430360
76. Ovenston, T. C. J., Parker, C. A., Robinson, A. E. (1957). Filamentary Growths on Copper Cathodes. Journal of The Electrochemical Society, 104 (10), 607. doi: 10.1149/1.2428425
77. Price, P. B., Vermilyea, D. A., Webb, M. B. (1958). On the growth and properties of electrolytic whiskers. Acta Metallurgica, 6 (8), 524–531. doi: 10.1016/0001-6160(58)90167-6
78. Graf, L., Morgenstern, W. (1955). Notizen: Fadenförmige Wachstumsformen bei der Elektrokristallisation des Silbers. Zeitschrift Für Naturforschung A, 10 (4). doi: 10.1515/zna-1955-0415
79. Berry, R. W., Bouton, G. M., Ellis, W. C., Engling, D. E. (1966). Growth of whisker crystals and related morphologies by electrotransport. Applied Physics Letters, 9 (7), 263–265. doi: 10.1063/1.1754742
80. Bacon, R., Bowman, J. C. (1957). B. Amer. Phys. Soc., 11 (2), 131.
81. Bacon, R., Bowman, J. C. (1957). J. Appl. Phys., 28, 826.
82. Bacon, R. (1958). Bull. Amer. Phys. Soc., 3, 108.
83. Bacon, R. (1959). Growth and Perfection of Crystals. N. Y. John Willey, 197.
84. Bacon, R. (1960). Growth, Structure, and Properties of Graphite Whiskers. Journal of Applied Physics, 31 (2), 283–290. doi: 10.1063/1.1735559
85. Yada, K. (1967). Study of chrysotile asbestos by a high resolution electron microscope. Acta Crystallographica, 23 (5), 704–707. doi: 10.1107/s0365110x67003524
86. Mazur, J., Rafalowicz, J. (1961). Hypothesis on the ionic mechanism of the growth of whiskers obtained by reduction of the metal halides. British Journal of Applied Physics, 12 (10), 569–571. doi: 10.1088/0508-3443/12/10/316
87. Hofman, T., Mazur, J., Nikliborc, J., Rafalowicz, J. (1961). The influence of an electric field on the growth of copper whiskers. British Journal of Applied Physics, 12 (7), 342–343. doi: 10.1088/0508-3443/12/7/307
88. Gomer, R. (1957). Field Emission from Mercury Whiskers. The Journal of Chemical Physics, 26 (5), 1333–1334. doi: 10.1063/1.1743515
89. Gomer, R. (1958). Surface Diffusion of CO on W. The Journal of Chemical Physics, 28 (1), 168–168. doi: 10.1063/1.1744064
90. Gomer, R. (1959). Growth and Perfection of Crystals. N. Y. John Willey, 126.
91. Gomer, R. (1963). Comments on "Growth of Crystal Whiskers" by Blakely and Jackson. The Journal of Chemical Physics, 38 (1), 273–274. doi: 10.1063/1.1733479

92. Melmed, A. J., Gomer, R. (1959). Field Emission from Metal Whiskers. The Journal of Chemical Physics, 30 (2), 586–587. doi: 10.1063/1.1729993

93. Melmed, A. J., Hayward, D. O. (1959). On the Occurrence of Fivefold Rotational Symmetry in Metal Whiskers. The Journal of Chemical Physics, 31 (2), 545–546. doi: 10.1063/1.1730394

94. 93Melmed, A. J., Gomer, R. (1961). Field Emission from Whiskers. The Journal of Chemical Physics, 34 (5), 1802–1812. doi: 10.1063/1.1701081

95. Melmed, A. J. (1962). Electrical Measurement of Whisker Field-Emission Characteristics. The Journal of Chemical Physics, 36 (4), 1101–1101. doi: 10.1063/1.1732663

96. Melmed, A. J. (1963). Field-Emission Microscopy of Twins in Vapor-Grown fcc Whiskers. Journal of Applied Physics, 34 (11), 3325–3328. doi: 10.1063/1.1729187

97. Melmed, A. J. (1963). Field-Electron and Field-Ion Emission from Single Vapor-Grown Whiskers. The Journal of Chemical Physics, 38 (3), 607–612. doi: 10.1063/1.1733713

98. Lewowski, T. (1960). Notizen: Erregung photostimulierter Co-Exoelektronen-emission durch anodische Oxydation von Aluminium. Zeitschrift Für Naturforschung A, 15 (1). doi: 10.1515/zna-1960-0121

Поступила (received) 06.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Щодо актуальності проведення досліджень різних груп ниткоподібних кристалів/ Артем'єв С. Р., Шапорев В. П., Цимбал Б. М. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.3–12. – Bibliogr.:98. – ISSN 2079-5459

Об актуальности проведения исследований различных групп нитевидных кристаллов/ Артемьев С. Р., Шапорев В. П., Цымбал Б. М. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.3–12. – Bibliogr.:98. – ISSN 2079-5459

On the urgency of conducting research on various groups of filamentary crystals/ Artemiev S., Shaporev V., Cimbal B. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.3–12. – Bibliogr.:98. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Артем'єв Сергій Робленович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, завідувач кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки, 61023, Україна, місто Харків, вул. Чернишевська, 94, e-mail: arctic2667@gmail.com.

Артемьев Сергей Робленович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой охраны труда и техногенно-экологической безопасности, 61023, Украина, Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94, e-mail: arctic2667@gmail.com.

Artem'ev Sergey Roblenovich – PhD, associate professor, zave-blowing the department of labour and tekhnogenno-ekologicheskoy safety protection, 61023, Ukraine, Harkov town, National university of civil defence of Ukraine, street of Chernyshevskaya, 94e-mail: arctic2667@gmail.com.

Шапорев Валерий Павлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической техники и промышленной экологии, 61002, Украина, Национальный политехнический университет «Харьковский политехнический институт», вул. Кирпичева, 2, ***Шапорев Валерій Павлович*** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, 61002, Україна, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, вул. Кирпичьова,2, тел.: 0669160512.

Shaporev Valeriy Pavlovich – doctor engineerings sciences, professor, zave-bloving the department of chemical engineering and industrial ecology, 61002, Ukraine, Harkov town, National Polytechnic University "Kharkov Polytechnic Institute", street of Kirpicheva, 2,

Цимбал Богдан Михайлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри охорони праці та техногенно-екологічної безпеки, 61023, Україна, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, вул. Чернишевська, 94, tsembalbogdan@ukr.net.

Цимбал Богдан Михайлович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры охраны труда и техногенно-экологической безопасности, 61023, Украина, Национальный университет гражданской защиты Украины, 7. Харьков, ул. Чернышевская, 94, тел; tsembalbogdan@ukr.net.

Cimbal Bogdan Mixaulovich – PhD, senior lecturer the department of labour and tekhnogenno-ekologicheskoy safety protection, 61023, Ukraine, Harkov town, National university of civil defence of Ukraine, street of Chernyshevskaya, 94, e-mail: tsembalbogdan@ukr.net.

УДК 678.5

А. М. МАГЕРРАМОВ, М. М. КУЛИЕВ, Н. Ш. АЛИЕВ, Р. С. ИСМАЙИЛОВА, М. Н. БАЙРАМОВ, И. И. АББАСОВ

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ γ–ИЗЛУЧЕНИЕМ КОМПОЗИТОВ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ /ZnO

Из гомогенной смеси порошков полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) и окиси цинка (ZnO) методом горячего прессования получены композиты ПЭВП/ZnO. Показано, что с увеличением концентрации ZnO в матрице от 3 до 20 об.% уменьшение ε″ и tgδ в зависимости от частоты отвечает экспоненциальному закону и это объясняется присутствием ряда дипольных элементов, которые появляются при добавлении ZnO, полученного методом термического прессования.

Выявлено, что в интервале температур 293–373К и частот 10^2Гц–1кГц существует два основных релаксационных процесса. При температуре 293К на частоте 1кГц наблюдается максимум β–процесса. При более высоких температурах 323К($\nu=5\cdot10^2$Гц) и 373К($\nu=10^2$Гц) проявляется α–процесс. При увеличении температуры эти максимумы смещаются к более низким частотам.

Установлено, что выявленные изменения частотной зависимости после γ–облучения дозой 100кГр композита ПЭВП+5об.% ZnO возникающие при стабилизации частиц ZnO в матрице зависят от проводимости, и показано, что исследованным образцам свойственен целый спектр времен релаксации от $\tau = 4{,}3\cdot10^{-5}$ до $\tau = 1{,}9\cdot10^{-4}$ сек.

Диэлектрические процессы, наблюдаемые при высоких температурах (373К), характеризуются увеличением ε′ и ε″ в области низких частот, что может быть объяснено ростом проводимости композита ПЭВП+5об.% ZnO.

Ключевые слова: композит, диэлектрические потери, диэлектрическая проницаемость, электропроводность, частота, релаксация, γ–облучение, поляризация.

З гомогенної суміші порошків поліетилену високої щільності (ПЕВЩ) і окису цинку (ZnO) методом гарячого пресування отримані композити ПЕВП / ZnO. Показано, що зі збільшенням концентрації ZnO в матриці від 3 до 20 об.% Зменшення ε″ і tgδ в залежності від частоти відповідає експоненціальному закону і це пояснюється присутністю ряду дипольних елементів, які з'являються при додаванні ZnO, отриманого методом термічного пресування.

Виявлено, що в інтервалі температур 293–373К і частот 102Гц–1кГц існує два основних релаксаційних процесу. При температурі 293К на частоті 1 кГц спостерігається максимум α–процесу. При більш високих температурах 323К 323К($\nu=5\cdot10^2$Гц) і 373К($\nu=10^2$Гц) проявляється α–процес. При збільшенні температури ці максимуми зміщуються до більш низьких частотах.

Встановлено, що виявлені зміни частотної залежності після γ–опромінення дозою 100кГр композиту ПЕВП + 5об.% ZnO виникають при стабілізації частинок ZnO в матриці залежать від провідності, і показано, що дослідженим зразкам властивий цілий спектр часів релаксації від $\tau = 4{,}3\cdot10^{-5}$ до $\tau = 1{,}9\cdot10^{-4}$ сек.

Діелектричні процеси, які спостерігаються при високих температурах (373К), характеризуються збільшенням ε′ і ε″ в області низьких частот, що може бути пояснено зростанням провідності композиту ПЕВП + 5об.% ZnO.

Ключові слова: композит, діелектричні втрати, діелектрична проникність, електропровідність, частота, релаксація, γ–опромінення, поляризація.

From homogeneous mixture of high–density polyethylene (HDPE) and zinc oxide (ZnO) it has been obtained HDPE/ZnO composites by hot pressing method. It is shown that with an increase in the concentration of ZnO in the matrix from 3 up to 20 vol.%, the decrease in ε″ and tgδ depending on frequency corresponds to exponential law and is explained by the presence of a number of dipole elements which appear during the addition of ZnO and obtain by thermal pressing method.

It has been revealed that within the temperature range of 293–373K and frequency range of 102Hz – 1kHz there are two main relaxation processes. Maximum of β–process is observed at 293K temperatureand 1kHz frequency. At higher temperatures 323 and 373K and frequencies 5·102Hz and 102Hz there appears α–process. Within temperature increasing, these maxima shift to lower frequencies.

It has been established that after γ–irradiation of HDPE+5vol.%ZnO composite with a dose of 100kGy, there have been revealed changes in the frequency dependence which appear within the stabilization of ZnO particles in the matrix and shown that the whole spectrum of relaxation time from τ = 4,3·10–5 to τ = 1,9·10–4 sec is characteristic for the studied sample.

Dielectric processes observed at high temperatures (373K) are characterized by an increase in ε′ and ε″ at lower frequency ranges which can be explained by an increase in the conductivity of HDPE+5vol.%ZnO composite.

Keywords: composite, dielectric loss, dielectric permittivity, electrical conductivity, frequency, relaxation, γ–irradiation, polarization

Введение. В последние годы исследования в области создания материалов со специальными и практически важными электрофизическими свойствами на основе полимерных композитов, содержащих микро– и наночастицы оксидов металлов значительно расширились. Разработан комплекс методов, позволяющий формировать наночастицы в полимерной матрице [1–3]. Такие композиты обладают рядом необычных и перспективных в прикладном отношении электрофизических и оптических свойств, отличительной радиационной устойчивостью, что делает их пригодными для использования в качестве базовых материалов при разработке новых сенсоров [4–6], фотоэлектрических преобразователей, различного типа датчиков, пьезоматериалов и т.д. [5, 6]. Отметим, что полимерные композиционные материалы (ПКМ), содержащие дисперсные частицы, в том числе ZnO представляют большой интерес для низковольтных и коротковолновых оптоэлектронных устройств, таких, как свето–и лазерные диоды, оптически управляемые химические сенсоры. Однако, расширение практического применения ПКМ ограничивается отсутствием детальной информации об адгезии между частицами и матрицей и иными возможными взаимодействиями между фазами, образовании граничного слоя и кластерообразовании, механизме переноса носителей заряда, роли границы раздела фаз, электронно–ионных и поляризационных процессов в формировании их активных свойств. В этой связи, при разработке новых ПКМ необходимо иметь информацию о температурной и частотной дисперсии действительной (ε′) и мнимой (ε″) частей комплексной диэлектрической проницае-

© А. М. Магеррамов, М. М. Кулиев, Н. Ш. Алиев, Р. С. Исмайилова, М. Н. Байрамов, И. И. Аббасов. 2017

мости (ε), тангенсе угла диэлектрических потерь (tgδ), удельной электропроводности на постоянном (σ_{dc}) и переменном (σ_{ac}) полях и основных закономерностях изменения параметров спектра диэлектрической релаксации в нанокомпозитах [6]. Несмотря на рост числа экспериментальных работ, посвященных изучению вышеназванных процессов, в полимерных микро– и нанокомпозитах [11–17] данный вопрос по–прежнему остается малоизученным. В этой связи исследование диэлектрических свойств и электропроводности композита ПЭВП+ZnO в широком температурном и частотном диапазоне представляется актуальным.

Можно отметить также, что ПКМ находят применение в космической и атомной промышленностях. Изучение влияния различных внешних факторов (температуры, частоты внешнего электрического поля, разных видов облучения – γ–излучение и т.д.) на диэлектрические, оптические, магнитные и другие их свойства является одной из важных исследовательских работ.

С целью поиска возможностей управления свойствами в модифицированных γ–излучением композитных материалов на основе микрочастиц ZnO в матрице ПЭВП в настоящей работе было проведено экспериментальное исследование частотного поведения диэлектрических свойств и электропроводности.

Экспериментальная часть. В качестве матрицы был выбран порошкообразный ПЭВП марки 20806–024, со средней молекулярной массой 95000, степенью кристалличности – 52 %. Выбор ПЭВП как матрицы был продиктован в основном хорошими диэлектрическими свойствами и технологичностью материала. Наполнителем служил порошкообразный полупроводник ZnO (ρ=5,6г/см^3, ρ_v=1·10^{8}Ом·см, ε=8,5, E_g=3,36 эВ).

При изготовлении пленочных образцов из ПЭВП и композитов ПЭВП+ZnO применялась технологическая схема, использующая операции:

– получение путем просеивания через сито порошков ZnO с размерами частиц не более 30 мкм;

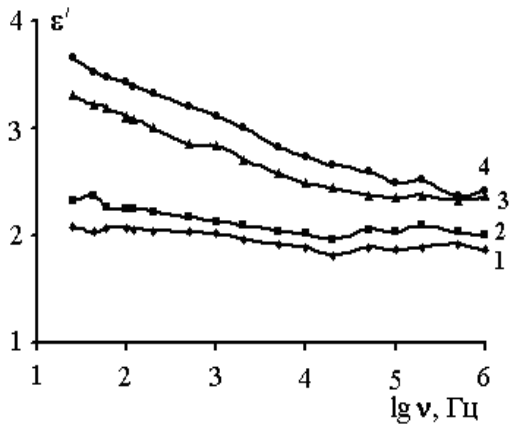
– сушка на протяжении 24 ч при T =373K и смешивание в фарфоровой ступке порошкообразного ZnO с порошком ПЭВП;

– прессование гомогенной смеси порошков компонентов в гидравлическом прессе с нагреваемыми плитами при давлении 15 МПа с выдержкой при температуре 423K в течение 5 мин и получение образцов композитов в виде дисков диаметром 15мм и толщиной 140÷180 мкм по методике [7].

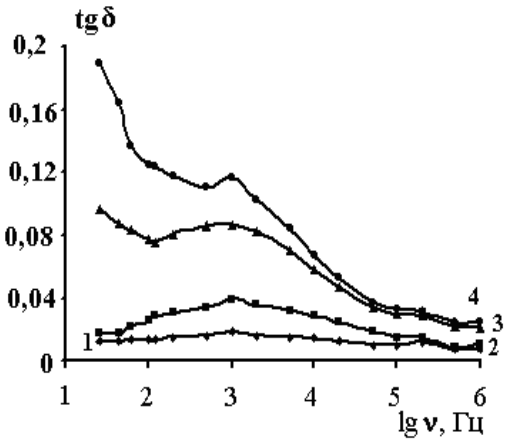
Исследование диэлектрических параметров данных материалов проводилось на плоских конденсаторах по двухэлектродной системе в эквивалентной схеме параллельно соединенных резистора и конденсатора в диапазоне частот 25 – 10^{6}Гц при температуре 293K и амплитуде измерительного напряжения U=1В с применением специальной экранированной и заземленной обогреваемой измерительной ячейки типа «сэндвич», имеющей систему измерительного и потенциального электродов с диаметрами 10 и 15 мм соответственно.

Измерение емкости C, тангенса угла диэлектрических потерь tgδ, ас– проводимости σ_{ac} в переменных полях осуществлялось в направлении, перпендикулярном плоскости прессования образцов с помощью широкополосного прецизионного измерителя иммитанса типа Е7–20. Затем на основании измеренных значений указанных параметров определялись величины действительной ε′ (ε′=C·d /ε_0S, где S – площадь плоского образца, d – толщина пленки) и мнимой ε″(ε″=ε′tgδ) частей комплексной диэлектрической проницаемости измерительной ячейки с образцом. Пленочные образцы композитов подвергали γ–излучению при комнатной температуре на установке МРХ–γ–25 источником излучения ^{60}Co. Мощность поглощенной дозы 3,3·10^{3}Гр/ч. Для образцов ПЭВП+(3–20%)ZnO поглощенная доза D=100кГр. При данной дозе наблюдается оптимальное упрочнение композитов на основе ПЭВП [7].

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования частотных зависимостей ε′, ε″ и tgδ композитов ПЭВП+ZnO с различным объемным содержанием наполнителя ZnO до и после γ–облучения (D=100кГр) при комнатной температуре приведены на рис. 1, а, б и рис. 2, а, б.



а



б

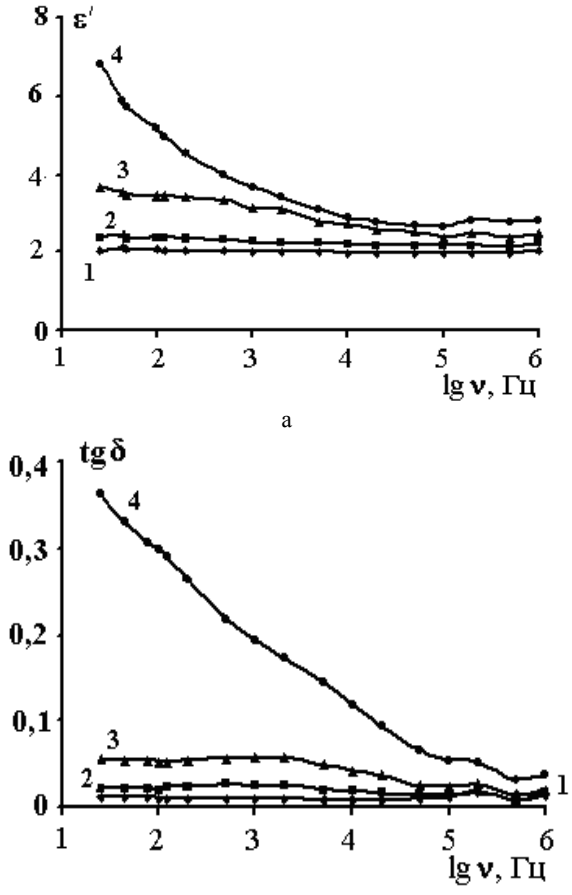
Рис. 1. Зависимость: а – диэлектрической проницаемости(ε′) композитной системы ПЭВП+ZnO от частоты (ν)ε′=*f*(lgν) при температуре 293K для различного объемного содержания наполнителя ZnO. 1–3об.%; 2–5об.%; 3–10об.%; 4–20об.%; б – тангенса угла диэлектрических потерь (tgδ) композитной системы ПЭВП+ZnO от частоты (ν)tgδ=*f*(lgν) при температуре 293K для различного объемного содержания наполнителя ZnO. 1–3об.%, 2–5об.%, 3–10об.%; 4–20об.%.

Характерное для композитов с концентрацией 3, 5, 10 и 20 об.% ZnO первоначальное уменьшение ε′ и tgδ при увеличении частоты до $10^4 \div 2 \cdot 10^4$ Гц отвечает экспоненциальному закону (рис. 1, а). Такое поведение ε′ и ε″ композитов авторами [9] объясняется присутствием ряда дипольных элементов (напр., в нашем случае СО группы), которые появляются во время получения методом термопрессования и обработки материала в результате частичного термоокисления и их способностью ориентироваться под действием электрического поля. Кроме этого авторы [9] отмечают, что обычно молекулярные группы, расположенные перпендикулярно относительно поперечной цепи полимера вносят собственный вклад в механизм диэлектрической релаксации. При низких частотах приложенного напряжения все свободные дипольные элементы в композите легко ориентируются по полю (ориентационная поляризация) и формируют высокие значения диэлектрической проницаемости при этих частотах. При высоких частотах дипольные элементы не успевают за полем, их ориентация затрудняется, осцилляция замедляется и ориентационная поляризация исчезает, что приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости. С другой стороны [13], диэлектрическая проницаемость микрочастиц ZnO также уменьшается с ростом частоты электрического поля. Эти два фактора в основном, и приводят к уменьшению диэлектрической проницаемости композитов ПЭВП+ZnO с ростом частоты электрического поля. Таким образом, практически постоянное значение диэлектрической проницаемости при высоких частотах обусловливается только межфазной поляризацией Максвелла–Вагнера [20]. В этой области кинетика процесса характеризуется долговременной релаксацией.

На рис. 1, б. приведена зависимость тангенса угла диэлектрических потерь (tgδ) композитной системы ПЭВП+ZnO от частоты (ν) tgδ=f(lgν) при температуре 293К для различного объемного содержания наполнителя ZnO. Как видно из рисунка (рис. 1, б) при объемном содержании наполнителя ZnO3 и 5об.% (кривые 1 и 2) и интервале частот 25–1 кГц tgδ возрастая, проходит через максимум при 1 кГц (β–релаксационный пик) и экспоненциально уменьшается в сторону высоких частот. Нужно отметить, что такое поведение ε′, ε″и tgδ, как отмечалось выше, может быть связано с ориентацией диполей в электрическом поле, механизмом процесса диэлектрической релаксации, объемной проводимостью, а также как и в нашем случае с природой и объемным содержанием наполнителя, вводимого в полимер.

На рис. 2, а, б приведены зависимости ε′=f(lgν), tgδ=f(lgν) и ε″=f(lgν) модифицированные γ–излучением композитной системы ПЭВП+ZnO.

Если сравнить рис. 1, а и 2, а, то можем увидеть, что облучение оказывает существенное влияние на композитную систему ПЭВП+ZnO. В образцах 3 и 5об.% ход зависимости ε′=f(lgν) прямолинейный, значение ε′ для всех частот практически стабильно. А в образцах 10 и 20 об.% значение ε′ снижается экспоненциально в сторону высоких частот. Если мы посмотрим на рис. 2, б, то увидим, что в 20об.%–ном образце после облучения зависимости tgδ=f(lgν) и ε″=f(lgν) экспоненциально снижаются. После сравнений выясняется, что влияние дозы облучения для каждого образца индивидуально.



а

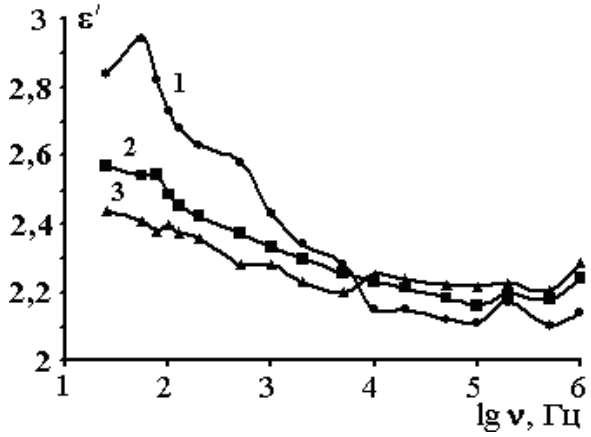
б

Рис. 2. Зависимость: а – диэлектрической проницаемости (ε′) композитной системы ПЭВП+ZnO от частоты (ν) ε′=f(lgν) при облучении дозой D=100кГр для различного объемного содержания наполнителя ZnO. 1–3об.%; 2–5об.%; 3–10об.%; 4–20об.%; б – тангенса угла диэлектрических потерь (tgδ) композитной системы ПЭВП+ZnO от частоты (ν) tgδ=f(lgν) при облучении дозой D=100кГр для различного объемного содержания наполнителя ZnO. 1–3об.%; 2–5об.%; 3–10об.%; 4–20об.%.

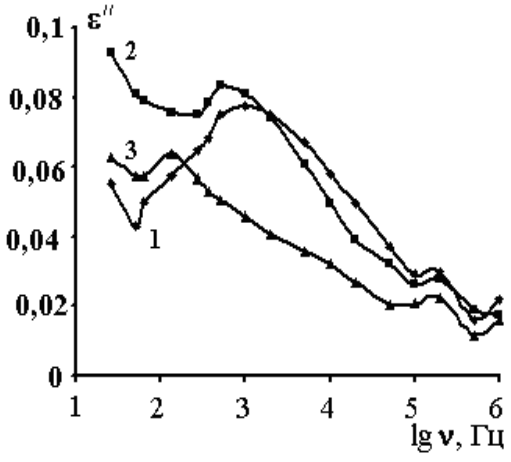
Предполагаем, что наблюдающееся при γ–облучении 100кГр некоторое увеличение электрической проводимости обусловлено ионизацией. Ионизация поставляет способные к перемещению заряды (свободные электроны и положительные ионы), которые могут принимать участие в процессе проводимости. По мнению авторов [7, 16] дозовые эффекты являются прямым следствием образования как свободных радикалов R*, так и их участие в реакции $R^* + e^-_t \rightarrow R^-$ прорекомбинации между собой (e^-_t стабилизованные электроны) с образованием характерных пострадиационных изменений в структуре полимера. Кроме того, наблюдающееся при γ–облучении некоторое увеличение электрической проводимости исследованных образцов, можно связать с процессами сшивки полимерных цепей, приводящими к образованию трехмерной структуры, а дальнейшее ее снижение – с процессами окислительной деструкции. Авто-

ры [16–18] утверждают, что электропроводность полиэтиленовой матрицы обусловлена носителями заряда, которые появляются при γ–облучении, а не зарядами, инжектированными из электродов. С ростом дозы облучения растет и концентрация захваченных электронов: чем больше доза облучения, тем больше число носителей заряда. Отметим, что рост дозы облучения приводит и к уменьшению отношения кристаллической фазы к аморфной и, тем самыми по 3–х фазной модели кристаллизующихся полимеров [14, 21] обусловливает уменьшение площади границы раздела фаз. Вследствие этого уменьшается плотность концентрации глубоких ловушек на границе раздела фаз.

На рис. 3, а, б представлена частотная зависимость после γ–облучения при различных (293, 323, 373К) температурах $\varepsilon'=f(\lg\nu)$ и $\varepsilon''=f(\lg\nu)$ в исследуемых образцах ПЭВП+5об.% ZnO..



а



б

Рис. 3. Зависимость: а – диэлектрической проницаемости от частоты $\varepsilon'=f(\lg\nu)$ после γ–облучения в исследуемых образцах ПЭВП+5об.% ZnO. при различных температурах (1–293К, 2–323К и 3–373К); б – мнимой составляющей диэлектрической проницаемости от частоты $\varepsilon''=f(\lg\nu)$ после γ–облучения в исследуемых образцах композита ПЭВП+5об.% ZnO при различных температурах (1–293К, 2–323К и 3–373К)

Как видно из рис. 3, а в зависимости $\varepsilon'=f(\lg\nu)$ при температуре Т=293К (кривая 1) значение диэлектрической проницаемости при низкой частоте 25Гц возрастает (~2,84) и экспоненциально снижается в сторону интервала высоких частот. Можно также отметить, что для значений температур 323К и 373К при низких частотах значениеε' составляет ~2,57 и ~ 2,44 (кр. 2 и 3). Отметим, что такой характер изменения диэлектрической проницаемости материала при изменении температуры может быть объяснен с помощью механизма, в котором микрочастицы ZnO, стабилизированные в объеме полиэтиленовой матрицы, рассматривают как точечные источники тепловой генерации носителей заряда. При этом нагрев материала ведет к повышению концентрации носителей, сосредоточенных в микрочастицах наполнителя и преодолению ими потенциального барьера на межфазной границе, после чего носители могут быть захвачены молекулой полимера, вызывая повышение ее поляризуемости и в итоге диэлектрическая проницаемость материала растет. Диэлектрические процессы, наблюдаемые при высоких температурах (373К и выше) в композитах с концентрацией наполнителя ZnO 5,10 и 20об.% характеризуются увеличением ε'', что может быть объяснено возрастанием проводимости композита [9].

Как видно из рисунка (рис. 3, б) в указанном интервале температур и частот существует два основных релаксационных процесса. При температуре 293 К на частоте 1 кГц наблюдается максимум β–процесса. При более высоких температурах 323 К и 373 К и частотах $5\cdot10^2$ Гц и 10^2 Гц проявляется α–процесс. Из рис. 3, а и б видно, что при увеличении температуры эти максимумы смещаются к более низким частотам. Можно отметить тенденцию к увеличению диэлектрической проницаемости ε' и диэлектрических потерь tgδ с ростом температуры, которая особенно заметно выражена на низких частотах. Диэлектрические процессы, наблюдаемые при высоких температурах (373 К), характеризуются увеличением ε'' в области низких частот, что может быть объяснено проводимостью композита ПЭВП+5об.%ZnO. На рис. 4, а видно, что возрастание диэлектрической проницаемости с ростом температуры при низких частотах в композите ПЭВП+5об.%ZnO обусловлено инжекцией электронов и накоплением объемного заряда в композите [16, 17]. Следует отметить, что при повышении температуры постепенно активизируются различные типы молекулярных движений и связанных с ними диполей. В этом случае наблюдается высокотемпературный α-процесс, связанный с микроброуновским движением полимерных цепей, а также по крайней мере еще один низкотемпературный процесс (β, γ и т. д.). Относительная интенсивность α- и β-процессов определяется степенями ориентации дипольных групп, допускаемыми ограниченной подвижностью β-процесса и большей подвижностью α-процесса: каждый процесс молекулярной перестройки связан с определенным уровнем ориентации дипольных моментов [20].

В приведенной зависимости $\varepsilon''=f(\lg\nu)$ при температурах 293, 323, 373 К и соответствующих частотах 10^3, $5\cdot10^2$, 10^2 Гц, зависимости времен релаксаций наблюдаемых максимумов рассчитывались методом приближения Дебая по формуле (1):

$$\tau=\varepsilon''/\omega(\varepsilon_c-\varepsilon_\infty), \quad (1)$$

где, ε′′ – мнимая часть диэлектрической проницаемости, ω –круговая частота (ω=2πν), ε_c– статистическая диэлектрическая проницаемость,ε_∞– диэлектрическая проницаемость при высокой частоте [19, 20]. Согласно расчетам $\tau_1=4{,}3\cdot10^{-5}$(T=293 K, ν=1 kГц), $\tau_2=6\cdot10^{-5}$(T=323 K, $\nu=5\cdot10^2$ Гц), $\tau_3=1{,}9\cdot10^{-4}$(T=373 K, $\nu=10^2$ Гц) сек. Как видно из этих расчетов, при высоких температурах (323 и 373 K) время релаксации более высокое и это может быть связано с проводимостью композитной среды ПЭВП+5об.% ZnO.

Следует отметить, что изначально неполярный полимерный материал ПЭВП в результате частичного термоокисления при получении образцов и после стабилизации в нем частиц ZnO приобретает полярные свойства. Предполагаем, что полярные элементы в композитах возникают на границе раздела фаз в 3–х фазной структуре в системе частица–матрица.

Установлено, что с изменением частоты для композитной системы ПЭВП/ZnO до и после γ–облучения значение ε″ и сила дисперсии $\Delta\varepsilon=\varepsilon_o-\varepsilon_\infty$($\varepsilon_o$и$\varepsilon_\infty$– соответственно низкочастотная и высокочастотные диэлектрические проницаемости) для ПЭВП+5об.% ZnO уменьшаются в 1,27 и 1,33 раза соответственно. Отсутствие максимума диэлектрических потерь в частотной зависимости исследуемых композитов свидетельствует о слабой релаксационной поляризации в этих образцах (рис. 1, 2).

Выводы

1. Показано, что с увеличением концентрации ZnO в матрице уменьшение ε′, ε″ и tgδ в зависимости от частоты отвечает экспоненциальному закону и объясняется присутствием ряда дипольных элементов, которые появляются во время добавления ZnO и при термопрессовании.

2. Диэлектрические процессы, наблюдаемые при высоких температурах (373 K) характеризуются увеличением ε′ и ε″ в области низких частот, что может быть объяснено изменением проводимостью композита ПЭВП+5об.%ZnO.

3. Установлено, что после γ–облучения композита ПЭВП+5об.% ZnO при дозах 100 кГр выявлено изменение времени релаксации от $\tau = 4{,}3\cdot10^{-5}$ до $\tau = 1{,}9\cdot10^{-4}$ сек. Изменение времени релаксации связанно с увеличением проводимости данного композита при облучении.

Список литературы:

1. *Hussain, F.* Review article: Polymer-matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing, and Application: An Overview [Text] / *F. Hussain, M. Hojjati, M. Okamoto, R. E. Gorga* // Journal of Composite Materials. – 2006. – Vol. 40, Issue 17. P. 1511–1575. doi: 10.1177/0021998306067321
2. *Ramanathan, T.* Graphitic nanofillers in PMMA nanocomposites – An investigation of particle size and dispersion and their influence on nanocomposite properties [Text] / *T. Ramanathan, S. Stankovich, D. A. Dikin, H. Liu, H. Shen, S. T. Nguyen, L. C. Brinson* // Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. – 2007. – Vol. 45, Issue 15. – P. 2097–2112. doi: 10.1002/polb.21187
3. *Guo, N.* Nanoparticle, Size, Shape, and Interfacial Effects on Leakage Current Density, Permittivity, and Breakdown Strength of Metal Oxide-Polyolefin Nanocomposites: Experiment and Theory [Text] / *N. Guo, S. A. DiBenedetto, P. Tewari, M. T. Lanagan, M. A. Ratner, T. J. Marks* // Chemistry of Materials. – 2010. Vol. 22, Issue 4. – P. 1567–1578. doi: 10.1021/cm902852h
4. *Хныков, А. Ю.* Влияние влажности воздуха над и электрический отклик нанокомпозитов поли-n-ксилилен/оксидтитана [Текст] / *А. Ю. Хныков, С. А. Завьялов, Е. И. Григорьев, А. М. Лотонов, П. С. Воронцов, С. Н. Чвалун* // Письма в ЖТФ. – 2013. – Т. 39, Вып. 20. – С. 15–22.
5. *Yang, D.* Nanocomposite Films for Gas Sensing [Text] / *D. Yang* // Advances in Nanocomposites – Synthesis, Characterization and Industrial Applications. – 2011. – P. 857–882. doi: 10.5772/13887
6. *Гефле, О. С.* Частотные спектры комплексной диэлектрической проницаемости композиционных диэлектриков на основе поливинилхлорида [Текст] / О. *С. Гефле, С. М. Лебедев, Ю. П. Похолков* // Изв. Томского политех. универ. – 2007. – Т. 310, № 1. – С. 87–91.
7. *Магеррамов, А. М.* Структурное и радиационное модифицирование электретных, пьезоэлектрических свойств полимерных композитов [Текст] / *А. М. Магеррамов*. – Баку: ЭЛМ, 2001. – 327 с.
8. *Shamshad Aliyev, N.* Features of Electroconductivity of γ-Irradiated Composites in Heating-Cooling Conditions [Text] / *N. Shamshad Aliyev* // American Journal of Physics and Applications. – 2015. – Vol. 3, Issue 2. – P. 15–20. doi: 10.11648/j.ajpa.20150302.11
9. *Алиев, Н. Ш.* Электрофизические свойства композитной системы полиэтилен высокой плотности/α–Fe2O3 [Текст] / *Н. Ш. Алиев, А. М. Магеррамов, М. М. Кулиев, Р. С. Исмайлова* // Перспективные материалы. – 2014. – № 10. – С. 22–27.
10. *Li, Y. C.* Frequency and Temperature Dependences of Dielectric Dispersion and Electrical Properties of Polyvinylidene Fluoride/Expanded Graphite Composites [Text] / *Y. C. Li, R. K. Yiu Li, S. C. Tjong* // Journal of Nanomaterials. – 2010. – Vol. 2010. – P. 1–10. doi: 10.1155/2010/261748
11. *Tomer, V.* Polyethylene nanocomposite dielectrics: Implications of nanofiller orientation on high field properties and energy storage [Text] / *V. Tomer, G. Polizos, C. A. Randall, E. Manias* // Journal of Applied Physics. – 2011. – Vol. 109, Issue 7. – P. 074113. doi: 10.1063/1.3569696
12. *Latif, I.* Preparation, Characterization and Electrical Study of (Carboxymethylated Polyvinyl Alcohol/ZnO) Nanocomposites [Text] / *I. Latif, E. E. AL-Abodi, D. H. Badri, J. Al Khafagi* // American Journal of Polymer Science. – 2013. – Vol. 2, Issue 6. – P. 135–140. doi: 10.5923/j.ajps.20120206.01
13. *Zhang, L. D.* Dielectric behaviour of nano-TiO2 bulks [Text] / *L. D. Zhang, H. F. Zhang, G. Z. Wang, C. M. Mo, Y. Zhang* // Physica Status Solidi (a). – 1996. – Vol. 157, Issue 2. – P. 483–491. doi: 10.1002/pssa.2211570232
14. *Abbas, R. A.* Studing Some Dielectric Properties and Effective Parameters of Composite Materials Containing of Novolak Resin [Text] / *R. A. Abbas* // Journal of Engineering and Technology. – 2007. – Vol. 25, Issue 8. – P. 277–288.
15. *Гаврилова, Н. Д.* Проблема линейной диэлектрической дисперсии в кристаллах и полимерах [Текст] / *Н. Д. Гаврилова, А. М. Лотонов, А. А. Давыдова* // ВМУ. Физика. Астрономия. – 2013. – № 1. – С. 45–51.
16. *Тютнев, А. П.* Радиационная электропроводность полимеров при длительном облучении [Текст] / *А. П. Тютнев, В. С. Саенко, И. А. Смирнов, Е. Д. Пожидаев* // Химия высоких энергий. – 2006. – Т. 40, № 5. – С. 364–375.
17. *Chen, G.* The effects of gamma-irradiation on thermally stimulated discharge current spectra in low-density polyethylene [Text] / *G. Chen, R. A. Fouracre, H. M. Banford, D. J. Tedford* // International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry. – 1991. – Vol. 37, Issue 3. – P. 523–530. doi: 10.1016/1359-0197(91)90030-6
18. *Magerramov, A. M.* Structural aspects of the radiation modification of the dielectric properties of polyolefins [Text] / *A. M. Magerramov, M. K. Dashdamirov* // High Energy Chemistry. – 2005. – Vol. 39, Issue 3. – P. 142–147. doi: 10.1007/s10733-005-0030-5
19. *Ушаков, Н. М.* Термодиэлектрические свойства полимерных композитных наноматериалов на основе медь-оксид меди в матрице по-

лиэтилена высокого давления [Текст] / *Н. М. Ушаков, А. Н. Ульзутуев, И. Д. Кособудский* // Журнал технической физики. – 2008. – Т. 78, № 12. – С. 65–69.
20. *Сажин, Б. И.* Электрофизические свойства полимеров [Текст] / *Б. И. Сажин, А. М. Лобанов и др.*; под ред. Б. И. Сажина. – Л.: Химия, 1986. – 224 с.
21. *Смирнов, Ю. Н.* Влияние γ–радиации на полимерные композиты на основе термопластичных матриц [Текст] / *Ю. Н. Смирнов, С. Р. Аллаяров, В. А. Лесничая и др.* // Химия высоких энергий. – 2009. – Т. 43, № 6. – С. 505–511.

Bibliography (transliterated):

1. Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M., Gorga, R. E. (2006). Review article: Polymer-matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing, and Application: An Overview. Journal of Composite Materials, 40 (17), 1511–1575. doi: 10.1177/0021998306067321
2. Ramanathan, T., Stankovich, S., Dikin, D. A., Liu, H., Shen, H., Nguyen, S. T., Brinson, L. C. (2007). Graphitic nanofillers in PMMA nanocomposites – An investigation of particle size and dispersion and their influence on nanocomposite properties. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 45 (15), 2097–2112. doi: 10.1002/polb.21187
3. Guo, N., DiBenedetto, S. A., Tewari, P., Lanagan, M. T., Ratner, M. A., Marks, T. J. (2010). Nanoparticle, Size, Shape, and Interfacial Effects on Leakage Current Density, Permittivity, and Breakdown Strength of Metal Oxide-Polyolefin Nanocomposites: Experiment and Theory. Chemistry of Materials, 22 (4), 1567–1578. doi: 10.1021/cm902852h
4. Hnykov, A. Yu., Zavyalov, S. A., Grigoriev, E. I., Lotonov, A. M., Vorontsov, P. S., Chvalun, S. N. (2013). Influence of air humidity on a dielectric response of nanocomposites poly-n-xylylene/Titanium dioxide. Tech. Phys. Lett, 39 (20), 15–22.
5. Yang, D. (2011). Nanocomposite Films for Gas Sensing. Advances in Nanocomposites – Synthesis, Characterization and Industrial Applications, 857–882. doi: 10.5772/13887
6. Gefle, O. S., Lebedev, S. M., Pokholkov, Yu. P. (2007). Frequency spectra of the complex permittivity of composite dielectrics on the basis of polyvinyl chloride. Izv. Tomsk Politekh. Univer., 310 (1), 87–91.
7. Magerramov, A. M. (2001). Structural and Radiation Modification of Electret, Piezoelectric Properties of Polymer Composites. Baku: ELM, 327.
8. Shamshad Aliyev, N. (2015). Features of Electroconductivity of γ-Irradiated Composites in Heating-Cooling Conditions. American Journal of Physics and Applications, 3 (2), 15–20. doi: 10.11648/j.ajpa.20150302.11
9. Aliyev, N. Sh., Magerramov, A. M., Kuliyev, M. M., Ismayilova, R. S. (2014). Electrophysical properties of composite system polyethylene of high density/α–Fe2O3. Perspective materials, 10, 22–27.
10. Li, Y. C., Li, R. K. Y., Tjong, S. C. (2010). Frequency and Temperature Dependences of Dielectric Dispersion and Electrical Properties of Polyvinylidene Fluoride/Expanded Graphite Composites. Journal of Nanomaterials, 2010, 1–10. doi: 10.1155/2010/261748
11. Tomer, V., Polizos, G., Randall, C. A., Manias, E. (2011). Polyethylene nanocomposite dielectrics: Implications of nanofiller orientation on high field properties and energy storage. Journal of Applied Physics, 109 (7), 074113. doi: 10.1063/1.3569696
12. Latif, I., E. AL-Abodi, E., H. Badri, D., Al Khafagi, J. (2013). Preparation, Characterization and Electrical Study of (Carboxymethylated Polyvinyl Alcohol/ZnO) Nanocomposites. American Journal of Polymer Science, 2 (6), 135–140. doi: 10.5923/j.ajps.20120206.01
13. Zhang, L. D., Zhang, H. F., Wang, G. Z., Mo, C. M., Zhang, Y. (1996). Dielectric behaviour of nano-TiO2 bulks. Physica Status Solidi (a), 157 (2), 483–491. doi: 10.1002/pssa.2211570232
14. Abbas, R. A. (2007). Studing Some Dielectric Properties and Effective Parameters of Composite Materials Containing of Novolak Resin. Journal of Engineering and Technology, 25 (8), 277–288.
15. Gavrilova, N. D., Lotonov, A. M., Davydova, A. A. (2013). The problem of linear dielectric dispersion in crystals and polymers. Moscow University Physics Bulletin. Physics and Astronomy, 1, 45–51.
16. Tyutnev, A. P., Saenko, V. S., Smirnov, I. A., Pozhidaev, E. D. (2006). Radiation–induced conductivity in polymers during long-term irradiation. High Energy Chem., 40 (5), 364–375.
17. Chen, G., Fouracre, R. A., Banford, H. M., Tedford, D. J. (1991). The effects of gamma-irradiation on thermally stimulated discharge current spectra in low-density polyethylene. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry, 37 (3), 523–530. doi: 10.1016/1359-0197(91)90030-6
18. Magerramov, A. M., Dashdamirov, M. K. (2005). Structural aspects of the radiation modification of the dielectric properties of polyolefins. High Energy Chemistry, 39 (3), 142–147. doi: 10.1007/s10733-005-0030-5
19. Ushakov, N. M., Uluztuyev, A. N., Kosobudsky, I. D. (2008). Thermodielectric properties of polymer composite nanomaterials based on copper-copper oxide in high-density polyethylene matrix. Technical Physics, 78 (12), 65–69.
20. Sazhin, B. I., Lobanov, A. M. et. al.; Sazhin, B. I. (Ed.) (1986). Electrophysical properties of polymers. Leningrad: Khimiya, 224.
21. Smirnov, Yu. N., Allayarov, S. R., Lesnichaya, V. A. et. al. (2009). The effect of gamma-radiation on polymer composites based on thermoplastic matrices. High Energy Chemistry, 43 (6), 505–511.

Поступила (received) 06.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Диэлектрические свойства модифицированных γ–излучением композитов полиэтилена высокой плотности /ZnO/ Магеррамов А. М., Кулиев М. М., Алиев Н. Ш., Исмайилова Р. С., Байрамов М. Н., Аббасов И. И. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.13–19. – Bibliogr.:21. – ISSN 2079-5459

Діелектричні властивості модифікованих γ-випромінюванням композитів поліетилену високої щільності / ZnO/ Магеррамов А. М., Кулієв М. М., Алієв Н. Ш., Ісмайлова Р. С., Байрамов М. Н., Аббасов І. І. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.13–19. – Bibliogr.:21. – ISSN 2079-5459

Dielectric properties of γ–radiation modified high–density polyethylene / ZnO composites / Maharramov A. M., Guliyev M. M., Aliyev N. Sh., Ismayilova R. S., Bayramov M. N. , Abbasov I. I. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.13–19 . – Bibliogr.:21. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Магеррамов Ариф Муса оглы – доктор физико–математических наук, профессор, заведующий лабораторией, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии, физической химии и радиационного материаловедения, Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, ул. Б. Вагабзаде, 9, г. Баку, Азербайджан, AZ1143, E–mail: arifm50@yandex.ru.

Кулиев Мусафир Мазахир оглы – кандидат физико–математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии и радиационного материаловедения, Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, ул. Б. Вагабзаде, 9, г. Баку, Азербайджан, AZ 1143, E–mail: musafir_g@rambler.ru.

Алиев Наби Шамшад оглы – диссертант, специализируется в области диэлектрической спектроскопии и радиационного материаловедения, младший научный сотрудник, Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, ул. Б. Вагабзаде, 9, г. Баку, Азербайджан, AZ 1143, E–mail: nabi.aliyev.1958@mail.ru.

Исмайилова Рафига Солтан гызы – кандидат физико–математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии и радиационного материаловедения, Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, ул. Б. Вагабзаде, 9, г. Баку, Азербайджан, AZ 1143, E–mail: rafiqa55@rambler.ru.

Байрамов Мазахир Насреддин оглы – доктор философии по физике, научный сотрудник, специалист по диэлектрической и термоактивационной спектроскопии и радиационного материаловедения, Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, ул. Б. Вагабзаде, 9, г. Баку, Азербайджан, AZ 1143, E–mail: m.bayramov51@mail.ru.

Аббасов Ибрагим Иса оглы – кандидат физико–математических наук, доцент, специалист по экспериментальной ядерной физике, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, пр. Азадлыг, 20, г. Баку, Азербайджан, AZ 1010, E–mail: ibrahimabbasov179@gmail.com.

Магеррамов Аріф Муса огли – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач лабораторією, фахівець з діелектричної і термоактиваційної спектроскопії, фізичної хімії та радіаційного матеріалознавства, Інститут радіаційних Проблем НАН Азербайджану, вул. Б. Вагабзаде, 9, м Баку, Азербайджан, AZ1143

Кулієв Мусафір Мазахир огли – кандидат фізико-математичних наук, доцент, провідний науковий співробітник, фахівець з діелектричної і термоактиваційної спектроскопії і радіаційного матеріалознавства, Інститут радіаційних Проблем НАН Азербайджану, вул. Б. Вагабзаде, 9, м Баку, Азербайджан, AZ 1143,

лієв Набі Шамшад огли – дисертант, спеціалізується в області діелектричної спектроскопії і радіаційного матеріалознавства, молодший науковий співробітник, Інститут радіаційних Проблем НАН Азербайджану, вул. Б. Вагабзаде, 9, м Баку, Азербайджан, AZ 1143, E-mail: nabi.aliyev.1958@mail.ru.

Ісмайілова Рафіг Солтан гизи – кандидат фізико-математичних наук, доцент, провідний науковий співробітник, фахівець з діелектричної і термоактиваційної спектроскопії і радіаційного матеріалознавства, Інститут радіаційних Проблем НАН Азербайджану, вул. Б. Вагабзаде, 9, м Баку, Азербайджан, AZ 1143,

Байрамов Мазахир Насреддін огли – доктор філософії з фізики, науковий співробітник, фахівець з діелектричної і термоактиваційної спектроскопії і радіаційного матеріалознавства, Інститут радіаційних Проблем НАН Азербайджану, вул. Б. Вагабзаде, 9, м Баку, Азербайджан, AZ 1143, E-mail: m.bayramov51@mail.ru.

Аббасов Ібрагім Іса огли – кандидат фізико-математичних наук, доцент, фахівець з експериментальної ядерної фізики, Азербайджанський державний університет Нафти і Промисловості, пр. Азадлиг, 20, м Баку, Азербайджан, AZ 1010, E-mail: ibrahimabbasov179@gmail.com.

Maharramov Arif Musa oghlu – Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Head of Laboratory, Specialist in Dielectric and Thermoactivation Spectroscopy, Physical Chemistry and Radiation Material Science, Institute of Radiation Problems, National Academy of Sciences of Azerbaijan, str. B. Vagabzade, 9, m Baku, Azerbaijan, AZ1143, E-mail: arifm50@yandex.ru.

Guliyev Musafir Mazahir oghlu – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Lead Researcher, Specialist in Dielectric and Thermoactivation Spectroscopy and Radiation Material Science, Institute of Radiation Problems, National Academy of Sciences of Azerbaijan, str. B. Vagabzade, 9, m Baku, Azerbaijan, AZ 1143, E-mail: musafir_g@rambler.ru.

Aliyev Nabi Shamshad oghlu – Dissertation specializing in the field of dielectric spectroscopy and radiation material science, junior researcher, Institute of Radiation Problems, National Academy of Sciences of Azerbaijan, str. B. Vagabzade, 9, m Baku, Azerbaijan, AZ 1143, E-mail: nabi.aliyev.1958@mail.ru.

Ismayilova Rafiqa Soltan gizi – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Researcher, Specialist in Dielectric and Thermoactivation Spectroscopy and Radiation Material Science, Institute of Radiation Problems, National Academy of Sciences of Azerbaijan, B. Vagabzade, str., 9, m Baku, Azerbaijan, AZ 1143, E-mail: rafiqa55@rambler.ru.

Bayramov Mazaxir Nasreddin oghlu – Doctor of Philosophy in Physics, Researcher, Specialist in Dielectric and Thermoactivation Spectroscopy and Radiation Materials Science, Institute of Radiation Problems, National Academy of Sciences of Azerbaijan, vul. B. Vagabzade, 9, m Baku, Azerbaijan, AZ 1143, E-mail: m.bayramov51@mail.ru.

Abbasov Ibragim Isa oghlu – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Experimental Nuclear Physics Specialist, Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Azadlig ave., 20, Baku, Azerbaijan, AZ 1010,

УДК 691.32 : 629.5

К. В. КИРИЧЕНКО, О. В. ЩЕДРОЛОСЄВ, О. С. РАШКОВСЬКИЙ

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СУДНОБУДІВНОГО БЕТОНУ ІЗ ЗАДАНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ І ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Розглянуті особливі вимоги, які пред'являються до суднобудівного бетону і бетонної суміші у зв'язку із екстремальними умовами роботи морських залізобетонних споруд. Представлені дослідження з оптимізації бетону для густоармованих тонкостінних елементів конструкцій плавучих споруд. Результати досліджень дають змогу використовувати метод факторного планування експерименту для одержання залежностей досліджуваних властивостей бетону, що дає можливість за допомогою обчислювальної техніки прогнозувати властивості майбутньої бетонної суміші за короткий час з врахуванням зміни параметрів вхідних компонентів.

Ключові слова: плавучий композитний док, понтон, суднобудівний бетон, дрібнозернистий бетон, міцність бетону.

Рассмотрены особые требования, которые предъявляются к судостроительному бетону и бетонным смесям в связи с экстремальными условиями работы морских железобетонных сооружений. Представлены исследования по оптимизации бетона для густоармированных тонкостенных элементов конструкций плавучих сооружений. Результаты исследований позволяют использовать метод факторного планирования эксперимента для получения зависимостей исследуемых свойств бетона, что позволяет с помощью вычислительной техники прогнозировать свойства будущей бетонной смеси за короткое время с учетом изменения параметров входящих компонентов.

Ключевые слова: плавучий композитный док, понтон, судостроительный бетон, мелкозернистый бетон, прочность бетона.

In the article concerned questions that relate to special requirements, which need to be applied to shipbuilding concrete and concrete mix due to the extreme conditions of exploitation of reinforced concrete structures.The results of the research are: reducing time, energy and material costs in the manufacture of concrete using methods of factor planning of experiments while testing prototypes and automating this process.

As a scientific innovation presented research about optimization of concrete for reinforced thin-walled elements constructions of floating structures. The following studies conducted using mathematical planning methods of experiment and simulation to determine the dependence of properties of concrete mixtures and concrete of the recipe-technological factors.The practical significance of the developed procedures is to use the method of factor planning experiment to obtain dependencies of the researched properties of concrete. These results, with a usage of computing machinery, give the opportunity to predict the properties of the future concrete mix in a short time taking into account changes in the parameters of the input components.

Keywords: floating composite dock, pontoon, shipbuilding concrete, fine-grained concrete, durability of concrete.

Вступ. Умови роботи морських залізобетонних споруд (особливо плавучих доків) є значною мірою екстремальними. Залізобетонні конструкції плавучих доків піддаються всім відомим впливам навколишнього середовища через те, що вони експлуатуються у всіх кліматичних зонах земної кулі. Одночасно з цим конструкції плавучого доку зазнають впливу широкого спектру навантажень: постійних (вантажі на стапель-палубі, тиск води і т. ін.); статичних змінних (сили виштовхування води при прогині і перегині корпусу); динамічних змінних (удари, навали), внаслідок яких в бетоні виникають напруження різної величини і змінного напрямку.

Бетон корпусів залізобетонних плавучих доків у всіх кліматичних зонах поперемінно зволожується і висушується, зазнає агресивної дії солей морської води − хімічної корозії в результаті реакції між цементним каменем і солями, розчиненими в морській воді, обростає водоростями і черепашками.

Крім того, в південних, субтропічних і тропічних морях дія хімічної корозії підсилюється високою температурою, вологістю при багаторазових і поперемінних зволоженнях і висиханнях, а в північних і східних морях суднобудівний бетон в зимовий період багаторазово поперемінно заморожується і відтає.

За кліматичними умовами і ступенем агресивності середовища (морської води) моря, де експлуатуються плавучі доки, можуть бути поділені на моря з особливо суворими (Баренцове море, Біле море, моря басейну Тихого океану), з суворими (Чорне море, Каспійське море) та з помірними кліматичними умовами (Балтійське море).

У зв'язку з такими багатофакторними умовами експлуатації залізобетонних суден, а також розвитком напрямків використання залізобетонних плавучих засобів (причали, плавучі майстерні, крани, дебаркадери, брандвахти, рибоморозильні бази, перевезення і зберігання нафти і нафтопродуктів) є актуальним створення нових видів високоміцних суднобудівних бетонів з підвищеними міцностними характеристиками, високою водонепроникністю і морозостійкістю [1–4].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Питанням проектування і, в основному, будівництву залізобетонних доків присвячені роботи П. С. Гофтарша, Н. М. Егорова, В. В. Козлякова, М. А. Ловягина, А. А. Мільто, І. І. Рибалова, Г. В. Танхельсона [5–11], що відносяться до 60…70-м рокам минулого сторіччя. Підхід до конструювання залізобетонних доків був успадкований від металевого суднобудування – понтони проектували з набором балочної конструкції аналогічно широко відомим понтонам із сталі.

Проведені дослідження і конструкторські розробки в частині забезпечення оптимальної роботи залізобетонних елементів корпусу, виходячи з умов міцності на вигин та кручення, водонепроникності і герметичності, дозволили вперше в світовій практиці докобудування отримати необхідні комбінації тонкостінних елементів з мінімальним використанням сталі, що дозволило скоротити кількість арматури майже в 3 рази [12].

До 1960 р. при побудові корпусів залізобетонних суден застосовувався тільки важкий суднобудівний бетон класу В 25 і В 30 (легкі бетони класу В25 для будування експериментальних суден), вимоги до якого щодо міцності, водонепроникності і морозостійкості визначалися чинним на той час нормативним документом Річкового Регістру РРФСР, що не відповідало потребам морського суднобудування.

© К. В. Кириченко, О. В. Щедролосєв, О. С. Рашковський. 2017

Багаторічні дослідні роботи дозволили вишукати нові види високоміцних суднобудівних бетонів з морозостійкістю 300...600 циклів в морській. Якщо врахувати малі товщини корпусу залізобетонного судна (місцями до 4...8 *см*), великий відсоток насичення сталевою арматурою (250...600 *кг/м*^{3}) для забезпечення загальної і місцевої міцності корпусу, використання досить жирних складів бетонів (витратою цементу 450...800 *кг/м*^{3}), рухливістю 2...18 *см* із дрібним заповнювачем і малими значеннями водоцементного відношенні 0,32...0,45, то можна зробити висновок, що суднобудівні бетони відрізняються від бетонів, застосовуваних в інших галузях промисловості і мають свої специфічні особливості.

Суднобудівний бетон також повинен мати достатню корозійну стійкість і щільність, надійно захищаючи арматуру від корозії при товщинах захисного шару 0,5 *см* для внутрішніх сухих і поверхонь, що періодично зволожуються, і 1,0...1,15 *см* для зовнішніх поверхонь корпусу залізобетонного судна, що постійно зволожуються.

До суднобудівного бетону і бетонної суміші пред'являються особливі вимоги щодо вибору виду і витрати цементу, чистоти і крупності заповнювачів, високої рухливості і зручності укладання бетонної суміші при низьких значеннях водоцементного відношення, твердіння в природних умовах і в середовищі насиченої пари. Щоб задовольнити весь комплекс цих вимог, треба одержати бетон з високою міцністю (400...600 *кГ/см*^{2}), водонепроникністю (до 10 *кГ/см*^{2}), морозостійкістю в морській воді (300... 600 циклів). Тільки при застосуванні такого бетону буде забезпечена висока якість і довговічність корпусу залізобетонного судна.

Відмінна риса суднобудівних бетонів як конструкційних матеріалів від інших конструкційних матеріалів, застосовуваних у суднобудівній промисловості, полягає в тому, що цей вид матеріалів приготовляється безпосередньо на верфі, на місці будування залізобетонних суден. Тому під час пошуку необхідних складів бетону були розроблені нормативні документи (галузеві стандарти на застосування бетону в залізобетонному суднобудуванні), які регламентують основні властивості суднобудівного бетону, фактори, що впливають на їхню зміну, а також основні вимоги до створення на верфі технології приготування і використання цього виду конструкційного матеріалу із наперед заданими властивостями.

Було встановлено, що для будування залізобетонних суден і плавучих доків повинні використовуватися такі види бетонів:

– важкі суднобудівні бетони класу В 30...В 60 і суднобудівні бетони класу В 30...В 50;

– дрібнозернисті бетони класу В 30...В 40;

– суднобудівні легкі бетони;

– нафтонепроникний бетон;

Суднобудівний бетон класу В 40 об'ємною масою 2430 *кг/м*^{3}, приготовлений на сульфатостійкому портландцементі, з водоцементним відношенням 0,38...0,40 має найбільшу довговічність і корозійну стійкість після 20...25 років експлуатації в конструкціях збірних елементів (підданих пропарюванню по оптимальним режимам) і конструкціях стикових з'єднань (що твердіють у природних умовах) корпусів плавучих залізобетонних суден і доків, експлуатованих у суворих і особливо суворих умовах морів півночі і сходу.

Суднобудівний дрібнозернистий бетон класу В 40, об'ємною масою 2400 *кг/м*^{3}, приготовлений на сульфатостійкому портландцементі, з водоцементним відношенням 0,4, на чистому кварцовому піску і гранітному щебеню крупністю 3...10 *мм*, має велику корозійну стійкість і довговічність у конструкціях стиків з'єднань корпусів залізобетонних плавучих доків і суден, експлуатованих у морях півдня, півночі і сходу.

Суднобудівні бетони, об'ємною масою 2280 *кг/м*^{3}, приготовлені на сульфатостійкому портландцементі, з водоцементним відношенням 0,32...0,40 на чистому, промитому кварцовому піску, мають велику корозійну стійкість і довговічність у конструкціях стиків з'єднань корпусів залізобетонних плавучих доків і суден, експлуатованих у морях півдня, півночі і сходу.

Суднобудівний нафтонепроникний бетони, об'ємною масою 2430 *кг/м*^{3}, приготовлений на сульфатостійкому портландцементі з добавками розчинного скла і сульфітно-спиртової барди, з водоцементним відношенням 0,38...0,40, має високу щільність, міцність і водонепроникністю після 20...25 років експлуатації в конструкціях танків корпусів залізобетонних суден, призначених для зберігання і перевезення дизельного палива і мазуту.

Суднобудівні важкі бетони, з добавкою нітриту натрію, що твердіють у зимових умовах при температурі повітря від 0° до -15°С, мають високу міцність і корозійну стійкість у конструкціях стикових з'єднань корпусів залізобетонних доків, експлуатованих у морях півдня, півночі і сходу.

Суднобудівний керамзитобетон, об'ємною масою 2000 *кг/м*^{3}, приготовлений на сульфатостійкому портландцементі з водоцементним відношенням 0,4, на кварцовому піску і керамзитовому гравію крупністю 3...20 *мм*, має високу міцність і щільністю в конструкціях корпусів залізобетонних суден і плавучих споруд, експлуатованих у морях півдня, півночі і сходу.

Застосування нових видів високоміцних суднобудівних бетонів для будування залізобетонних суден замість важких бетонів марок 250-300 дозволить знизити вагу корпусу судна до 20 % за рахунок зменшення товщини елементів, знизити витрату арматурної сталі, а також підвищити водонепроникність і довговічність залізобетонних суден.

Багаторічні дослідження цих видів суднобудівних бетонів, а також дані експлуатації плавучих залізобетонних споруд у морях дозволили зробити вищевказані виводи. Це стало підставою для подальшого застосування суднобудівних бетонів як конструкційних матеріалів при проектуванні і будування корпусів нових типів залізобетонних суден, плавучих і підводних споруд, призначених для експлуатації в морях півночі, півдня і сходу.

Крім проектних вимог за міцністю, морозостійкістю і водонепроникністю для гідротехнічного бетону у відповідності до умов роботи та норм проектування можливе пред'явлення ряду додаткових вимог. Проектний вік, у

якому повинні бути забезпечені технічні вимоги, вказують у документації на конструкції. Він призначається згідно норм проектування залежно від умов до бетону, способів зведення та термінів фактичного завантаження конструкцій. Якщо проектний вік не зазначений технічні вимоги до бетону повинні бути забезпечені в 28 діб [7].

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення складу бетонної суміші з урахуванням з особливих вимог у зв'язку із екстремальними умовами роботи морських залізобетонних споруд

Задачею дослідження є скорочення часу, енергетичних та матеріальних витрат при виробництві бетону.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1) дослідження визначення залежності властивостей бетонних сумішей і бетонів від рецептурно-технологічних факторів із застосуванням методів математичного планування експерименту і моделювання;

2) використання методів факторного планування експериментів при випробуванні дослідних зразків і автоматизація цього процесу.

Матеріали та методи дослідження застосування нових модифікованих суднобудівних бетонів при побудові композитних плавучих доків. Методичною основою виконання досліджень є: математичне планування експерименту і моделювання, для визначення залежності властивостей бетонних сумішей і бетонів від рецептурно-технологічних факторів.

Об'єктом моделювання була міцність бетону на стискання у віці 28 діб, водовміст сумішей, їх життєздатність.

Предметом дослідження є характеристики матеріалу плавучих тонкостінних густоармованих конструкцій, з урахуванням фізико-механічнних вимог,які до них пред'являються: міцність на стискання, міцність на вигин, водонепроникність, морозостійкість у морській воді, середня щільність.

Підбор складу бетонної суміші є однієї з найбільш відповідальних операцій у технології бетонних робіт. Підібраний склад бетонної суміші з застосуванням наявних матеріалів повинен забезпечити одержання суднобудівного бетону проектної міцності, необхідної водонепроникності і морозостійкості, а також забезпечити одержання бетонної суміші необхідної рухливості для укладання в тонкостінні і густоармовані конструкції корпусу залізобетонного судна.

Розрахунок складу бетонної суміші проводиться на основі випробувань всіх матеріалів, що входять до складу бетону, відповідно до вимог галузевої нормалі «Бетон суднобудівний важкий» і «Рекомендацій з технології приготування та застосування важкого суднобудівного бетону при будуванні морських плавучих залізобетонних і композитних споруд» РНТЦ-37-501-04.

Таким чином, технологічний процес виробництва залізобетонних конструкцій складається з декількох етапів. На першому етапі виробляється підбор складу бетону, і другому – виготовлення і випробування виготовлених зразків бетону і на третьому етапі здійснюється безпосереднє виробництво готового продукту з наступним контролем його якості.

Операція підбору складу бетонної суміші за спрощеною схемою розрахунково-експериментального методу здійснюють щоразу, коли є відхилення від первісних значень в параметрах якості заповнювачів і самого бетону. Це займає багато часу, а якщо врахувати, що після підбору складу суміші необхідно провести випробування на зразках, а потім тільки запустити підібрану суміш у виробництво, то процес підбору затягується на багато днів. В ході випробувань зразків здійснюється корегування складу бетону, що також призводить до перерахування вихідного складу і повторних випробувань.

В умовах ринкової економіки виробники не мають постійних постачальників заповнювачів бетону (піску, щебеню, цементу і хімічних добавок) і при надходженні нових компонентів (при зміні постачальника) технологу і відповідним службам прихопиться знову здійснювати весь процес підбору складу бетону, виготовлення і випробування зразків.

Одним із шляхів скорочення часу, енергетичних та матеріальних витрат при виробництві бетону є використання методів факторного планування експериментів при випробуванні дослідних зразків і автоматизація цього процесу. Сутність планування факторних експериментів описується наступним виразом:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{j=1}^{k} b_{ij} x_i x_j \text{ при } i \neq j \qquad (1)$$

де Y_i ,Y_j – досліджувана властивість бетону; $x_1 \ldots x_k$ – вихідні фактори; $b_0 \ldots b_{ij}$, b_{ii} – коефіцієнти рівнянь; i,j – порядкові номери факторів.

Для планування факторного експерименту, по-перше, визначається кількість вихідних факторів, виходячи з чого визначають необхідну кількість дослідів. Далі всі фактори варіюються на трьох рівнях: середньому (основному), верхньому і нижньому, віддалених від основного на однакову величину інтервалу варіювання. Потім складають матрицю планування у вигляді таблиці, куди заносять усі можливі сполучення факторів на двох рівнях. Дана матриця і є планом проведення експерименту.

Виходячи із вищесказаного, наприклад, моделювалася міцність бетону в залежності від його складу. Об'єктом моделювання була міцність бетону на 28 добу. Як вихідні фактори були взяті маси цементу (x_1), щебеню (x_3), піску (x_4) хімічних добавок МБ10-01 (x_5) і ЩСПК (x_6) (*кг*), об'єм води (x_2) (*л*). При наявності такої кількості факторів повний факторний експеримент включає 64 досліди. Виробничими умовами було накладене обмеження на проведення експерименту. В зв'язку з чим був здійснений дробовий факторний експеримент із восьми дослідів, в результаті якого були отримані міцнісні характеристики бетону із середнім значенням рівним 200 $кГ/см^2$. Залежність міцності від вихідних факторів виразилася таким рівнянням:

$$R=151{,}5 + 3{,}5x_1 - 8{,}25x_2 - 5x_3 - 15{,}75x_4 - 8{,}25x_5 - 2{,}25x_6. \qquad (2)$$

Це рівняння і є експериментально-статистичною моделлю міцності бетону, вона може бути у виді програми закладено в комп'ютер з певним набором обмежень і тоді будь-які варіації параметрів компонентів будуть автоматично враховуватися в складанні прогнозів тих чи інших властивостей бетону. Крім того, автоматизація виразу (1) дозволить швидко перебудовувати самі моделі факторного планування, роблячи громіздкі обчислювальні операції розглянутого процесу. Для порівняння підбір складу за спрощеною схемою займає від 4 до 8 годин, а при наявності готових залежностей, отриманих методом факторного планування, на цей процес іде близько 1 години. При цьому результати другого методу будуть більш точними і об'єктивними. Маючи ж готову програму з планування експерименту, технолог затратить усього кілька хвилин.

Оскільки залізобетонні конструкції плавучих споруд знаходяться в жорстких умовах експлуатації, у зв'язку з цим до суднобудівного бетону, який застосовується при побудові подібних конструкцій пред'являються підвищені вимоги – для відповідальних плавучих тонкостінних густоармованих конструкцій матеріал повинен відповідати наступним фізико-механічннми характеристиками:

міцність на стискання – 40...50 *МПа*;

міцність на вигин – 4...6 *МПа*;

водонепроникність – *W*-10;

морозостійкість у морській воді – *F* = 400 циклів;

середня щільність – 2350...2400 $\underline{кГ/м^3}$.

Були виконані дослідження з оптимізації бетону для густоармованих тонкостінних (8...14 *см*) елементів конструкцій плавучих споруд. За умовами експериментальних досліджень були вибрані бетони, що мають рівне дозування (500 $кГ/м^3$) сульфатостійкого цементу марки 400 Новоамвросієвського заводу і однакове водоцементне відношення - 0,40. Застосовувався щебінь фракцій 5...10 *мм* (тому що матеріал був призначений для густоармованих тонкостінних конструкцій) і пісок з *М* = 1,2.

В натурному експерименті варіювалися такі фактори складу бетону: X_1 - співвідношення між великим і дрібним заповнювачами (щебінь/пісок) в межах від 3,25 до 4,41 по масі ($3,25 < X_1 = Щ/П < 4,41$), X_2 - дозування пластифікуючої добавки в межах від 0,5 до 1 % від маси цементу ($0,5 < X_2 = Д_{доб} < 1$). Підбор складів бетонів був виконаний за наведеною вище стандартною методикою. Нормалізація факторів бетону виконана за формулою:

$$x_i = \frac{X_i - 0,5\cdot\left(X_{i,\max} + X_{i,\min}\right)}{0,5\cdot\left(X_{i,\max} + X_{i,\min}\right)}.$$

Досліджувалися зручність укладання суміші і міцність на стискання бетону в ранні (3 доби) і марочні (28 діб) терміни.

Для величини осадки конусу бетонної суміші (*см*) отримана наступна експериментально-статистична (ЕС) модель із усіма значимими коефіцієнтами (похибка експерименту при розрахунку δ_e = 1,70 *см*):

$$ОК = 8,94 - 1,92\,X_1 - 2,71\,X_1 \cdot X_2 + 1,58 X_2 . \quad (3)$$

Дана модель має максимум $ОК_{max}$ = 15,2 *см* в точці з координатами $X_1 = X_2 = 1$ і мінімум $ОК_{min}$ = 5,9 *см* в точці з координатами X_1 = -1, X_2 = 1. На рис. 1 показана діаграма у вигляді квадрата, побудована за моделлю 2.

Як видно з діаграми, найбільш рухливі ($ОК > 10$ *см*) склади з низьким *Щ/П* ($X_1 < 0$, високопісчані бетони) і дозуванням добавки більше 0,75 % ($X_2 > 0$). Збільшення витрати добавки з 0,5 до 1 % підвищує рухливість сумішей з великим змістом піску, але практично не позначається на рухливості низькопісчаних сумішей (*Щ/П* > 4).

Вплив факторів складу на міцність бетону в ранньому віці (3 доби) описує експериментально-статистична модель (з похибкою δ_e = 2,5 МПа):

$$R_{c3} = 20,1 - 1,81 X_1 \cdot X_2 + 2,2\,X_2 . \quad (4)$$

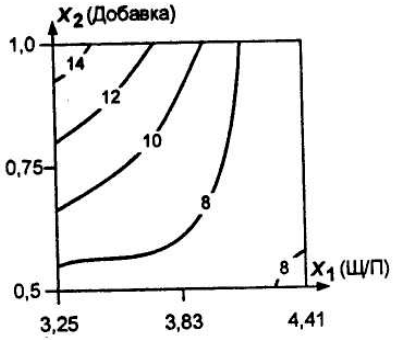


Рис. 1 – Вплив *Щ/П* і кількості добавки на величину осідання конуса бетонної суміші

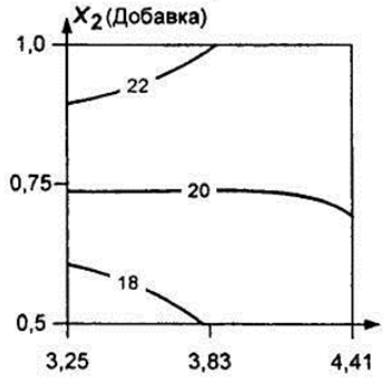
Дана модель має максимум $R_{c3\ max}$ = 24 *МПа* в точці з координатами $R_{c3\ max}$ = 24 *МПа* і мінімум $R_{c3\ min}$ = 16,2 *МПа* в точці з координатами $X_1 = X_2$ = -1. На рис. 2, а показана діаграма у вигляді квадрата, побудована по моделі 3. Ця діаграма показує, що на величину ранньої міцності найбільш істотно впливає дозування добавки і, у міру її росту з 0,5 до 1 %, міцність зростає від 4 *МПа* (при високому *Щ/П*] до 7 *МПа* (при низькому *Щ/П*). Даний ефект свідчить про прискорення пластифікуючими добавками твердіння бетону в ранньому віці, що найбільш істотно позначається на високопісчаних складах.

Вплив же факторів складу бетону на величину міцності на стискання в віці 28 діб (марочну міцність) адекватно описується приведеною нижче експериментально-статистичною моделлю (δ_e=2,5 *МПа*):

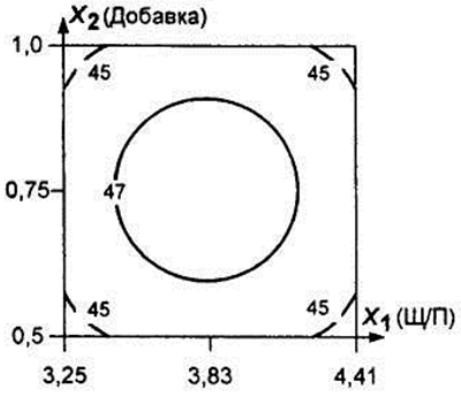
$$R_{c28} = 48,1 - 2,0 X_1^2 - 2,2\,X_2^2 \quad (5)$$

Дана модель показує максимум $R_{c28\ max}$ = 4,8 *МПа* в точці з координатами $X_1 = X_2 = 0$ і мінімум $R_{c28\ max}$ = 4,4 *МПа* одночасно в 4 точках (кути факторного простору). Діаграма у вигляді квадрата, побудована по даній модель, показана на рис. 2, б.

Можна зробити висновок, що у віці 28 діб вплив варійованих факторів складу на міцність бетону помітно слабшає в порівнянні з їх впливом у ранньому віці. За рахунок R_{c28} зміни *Щ/П* і дозування добавки в межах експериментальних значень змінюються не більш, ніж на 10 %, хоча у віці 3 доби міцність в окремих складів відрізнялася на 40 %.



а



б

Рис. 2 – Вплив *Щ/П* і кількості добавки на міцність бетону в віці : а – 3 доби, б – 28 діб

Аналіз всіх отриманих експериментально-статистичних моделей дозволяє графічним методом вибрати оптимальний склад бетону (рис. 3). Виходячи з умов бетонування, можливе застосування тільки достатньо рухливих сумішей, з *ОК* > 10 *см*. Тому зона складів, що не задовольнять даним вимогам, заштрихована. Суцільними ізолініями на малюнку показана міцність у віці 3 доби, пунктирними - у віці 28 діб.

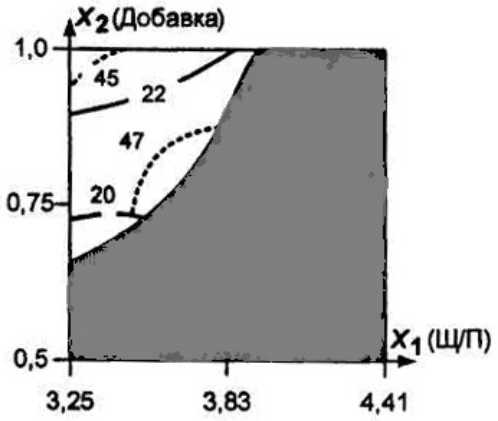


Рис. 3 – Підбір оптимального складу бетону

Як показує аналіз цієї діаграми, до застосування можна рекомендувати тільки склади з підвищеним (більше 0,7 %) витратою добавки і низьким (менше 3,8 %) співвідношенням *Щ/П*. При цьому, у тому випадку, коли необхідно підвищити ранню міцність бетону, дозування добавки треба збільшити до 0,9...1,0 %.

Величина зони оптимальних рішень може бути оцінена методом Монте-Карло. Для цього розраховується велике число випадкових рівномірно розподілених точок і відповідні значення аналізованого показника в цих точках (у даному випадку – для 10000]. Отримані в такий спосіб 10000 значень величини порівнюються з нормативом. Відсоток значень величини $Y_{роз}$, більшого нормативу, показує величину зони припустимих рішень *Р*. На рисунку 4 показана графічна реалізація алгоритму визначення величини зони припустимих рішень методом Монте-Карло на прикладі моделі для *ОК*. В даному випадку величина зони оптимальних рішень, у якій *ОК* > 10 *см*, складає 22,2 %.

У цілому, результати досліджень дозволяють рекомендувати до використання в плавучих гідротехнічних спорудах бетон на сульфатостійкому портландцементі М400 Новоамвросієвського заводу з пластифікуючою добавкою .

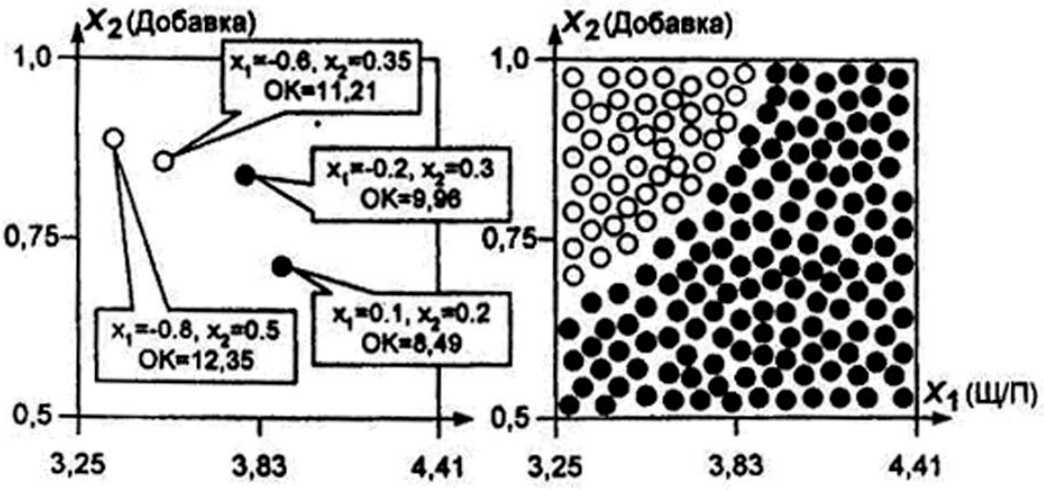


Рис. 4 – Реалізація алгоритму визначення величини зони припустимих рішень методом Монте-Карло

Для проведення інших експериментальних досліджень використовувались матеріали, що застосовуються в залізобетонному суднобудуванні: сульфатостійкий портландцемент марки 400, гранітний щебінь фракцій 3...10 і 10...20 *мм*, пісок з модулем крупності 1,8 і питна вода, а також хімічні добавки: суперпластифікатор С-3 (як ефективний пластифікатор), кремнійорганічна емульсія КЕ 12-35 (модифікатор гідрофобно-структуруючої дії), нітрит натрію (НН) як інгібітор корозії і ЛСТ, що застосовується на цей час в залізобетонному суднобудуванні.

Для визначення залежності властивостей бетонних сумішей і бетонів від рецептурно-технологічних факторів дослідження проводились із застосуванням методів математичного планування експерименту і моделювання.

Змінними факторами були прийняті:

–витрати цементу X_1 = 600±100 *кГ/м*^{3};

– рухливість бетонної суміші X_2 = 10...20 *см*;

– С-3 X_3 =0,24% ;

– КЕ X_4= 1

– НН= X_5=0,5±0,5.

Експеримент проведено за п’ятифакторним планом. Значення *ОК* відповідають рухливості суміші, необхідної для виготовлення різних елементів споруд. Широкий діапазон змінення сполучної речовини дозволяє виявити в досліджуваному факторному просторі необхідні марки бетону (400, 500, 600), дозування С-3 обмежене значенням 0,24 % в зв’язку з тим, що при збільшенні концентрації С-3 в складі комплексного модифікатора за дослідними даними спостерігається зниження його ефективності, дозування КЕ 12-35 і НН вибрані, виходячи з літературних даних і за результатами попередніх експериментів.

Водовміст сумішей підбирався для кожного рядка плану у відповідності до необхідної рухливості суміші.

Моделювалися:

– міцність бетону на стискання у віці 28 діб;

– водовміст сумішей;

– їх життєздатність (час зменшення рухливості суміші до *ОК* = 6 *см*).

По результатах експериментів на комп’ютері розраховувались п'ятифакторні поліноміальні моделі. Так, модель міцності на стискання має вигляд:

$$Y\{R_u\} = 47{,}1 + 11X_1 - 4X_2 + 1{,}7X_3 + 0{,}6X_4 + 0{,}6X_1^2 + 0{,}5X_5^2 + 0{,}5X_3X_4. \quad (5)$$

Результати оптимізації складу суднобудівних бетонів із заданими експлуатаційними і технологічними властивостями. Аналіз моделей показав, що добавка нітриту натрію не чинить істотного впливу на модельовані властивості, в той же час покращуючи збереження арматури при різних впливах на бетон, тому оптимальним дозуванням нітриту натрію було прийнято 0,5% від маси цементу. Додавання С-3 (при постійних рухливості і вмісті цементу) збільшує міцність на 2...3 *МПа* за рахунок зниження водовмісту. При постійному *В/Ц* збільшення концентрації С-3 без зміни міцності покращує рухомість суміші. Практично невідчутний вплив КЕ 12-35 на міцність бетону при її введенні до 0,03%, проте збільшення цього дозування викликає значне, уповільнення процесу тверднення, що технологічно недоцільно. Цікавий і той факт, що при постійній рухливості введення в суміш КЕ 12-35 викликає різке збільшення життєздатності в сполученні з постійною концентрацією С-3.

Обговорення результатів оптимізації складу суднобудівних бетонів із заданими експлуатаційними і технологічними властивостями. Використовуючи метод факторного планування експерименту, можна одержати багато залежностей досліджуваних властивостей бетону, аналогічних виразу (2), тим самим відкривається можливість за допомогою обчислювальної техніки прогнозувати ті чи інші властивості майбутньої бетонної суміші за короткий час з врахуванням зміни параметрів вхідних компонентів у широких межах, а автоматизація вибору і нагромадження самих моделей планування факторних експериментів за виразу (1) ще більше скорочує час і під-

вищує об'єктивність розглянутого процесу. Це і обумовлює економію часу, енергетичних і матеріальних витрат при розрахунку складу бетонних сумішей і проведенні їх випробувань.

Висновки. В результаті проведених досліджень:

1. Проведена оптимізація складу суднобудівного бетону із заданими експлуатаційними і технологічними властивостями.

2. Отримано рівняння, що є експериментально-статистичною моделлю міцності бетону, яке може бути представлено у вигляді комп'ютерної програми з певним набором обмежень, що дозволяє автоматично складати прогноз властивостей бетону при будь-яких варіаціях інгредієнтів.

3. Отримана можливість за допомогою обчислювальної техніки прогнозувати за короткий час властивості майбутньої бетонної суміші з урахуванням зміни в широкому діапазоні параметрів вихідних компонентів.

Список літератури:

1. *Маломан, В. Ф.* Впровадження у виробництво нових модифікованих суднобудівних бетонів при будівництві композитних доків та інших плавучих споруд [Текст] / *В. Ф. Маломан, В. М. Коннов, Г. П. Клебанов, О. В. Щедролосєв, К. В. Кириченко, О. С. Воробйов* // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв: НУК, 2017. – С. 63–64.
2. *Мишутин, Н. В.* Железобетонные плавучие сооружения и перспективы их использования [Текст] / *Н. В. Мишутин А. В. Мишутин* // Вісник ОДАБА. – 2002. – Вып. 6. – С. 181–187.
3. *Мишутин, А. В.* Повышение надежности и долговечности бетона тонкостенных железобетонных конструкций, эксплуатируемых в морской среде [Текст] / *А. В. Мишутин* // Сб. международной инженерной академии. – Одесса: «Астропринт», 2003. – С. 76–79.
4. *Мишутин, А. В.* Вплив комплексних добавок на водонепроникнення дрібнозернистих бетонів [Текст] / *А. В. Мишутин, С. О. Кровяков, О. А. Романов* // Вісник ОДАБА. – 2005. – № 20. – С. 273–278.
5. *Гофтарш, П. С.* Технологические требования к плавучим докам [Текст] / *П. С. Гофтарш*. – Л.: Судостроение, 1979. – 126 с.
6. *Егоров, Н. М.* Технология постройки железобетонных судов [Текст] / *Н. М. Егоров*. – Москва: Речной транспорт, 1961. – 310 с.
7. *Билянский, Ю. С.* Колебания плавучего дока при ветровом шквале на волнении [Текст] / *Ю. С. Билянский, Л. М. Дыхта, В. В. Козляков* // Сб. науч. трудов НКИ. Гидродинамика корабля. – 1966. – С. 19–27.
8. *Ловягин, М. А.* Плавучие металлические доки [Текст] / *М. А. Ловягин, В. М. Корсаков, Я. Б. Каганер*. – Л.: Судостроение, 1964. – 336 с.
9. *Абросимов, К. А.* Технология железобетонного судостроения [Текст] / *К. А. Абросимов, А. А. Мильто, А. М. Пасинский*. – Л.: Судостроение, 1965. – 348 с.
10. *Егоров, Н. М.* Справочник по железобетонному судостроению [Текст] / *Н. М. Егоров, А. А. Мильто, В. И. Миронов, В. Б. Протопопов, И. И. Рыбалов*. – Л.: Судостроение, 1978. – 356 с.
11. *Танхельсон, Г. В.* Железобетонные плавучие доки [Текст] / *Г. В. Танхельсон*. – Ленинград: Судпромгиз, 1960. – 316 с.
12. *Рашковський, О. С.* Проектування, технологія і організація побудови композитних плавучих доків [Текст]: навч. пос. / *О. С. Рашковський, О. В. Щедролосєв, Д. В. Єрмаков, О. М. Узлов*. – Миколаїв: НУК: РАЛ Поліграфія, 2015. – 254 с.
13. *Дворкін, Л. Й.* Проектування складів бетонів [Текст]: монографія / *Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін*. – Рівне: НУВГП, 2015. – 353 с.
14. *Слуцкий, Н. Г.* Разработка технологии долговечного модифицированного бетона для композитных плавучих доков [Текст] / *Н. Г. Слуцкий* // Вестник СевГТУ «Механика, энергетика, экология». – 2009. – № 97. – С. 133–136.
15. *Рашковский, А. С.* Оптимизация состава бетона для понтонов композитных плавучих доков [Текст] / *А. С. Рашковский, Н. Г. Слуцкий* // Зб. наук. праць НУК. – 2008. – № 5 (422). – С. 17–24.
16. *Слуцкий, Н. Г.* Строительство железобетонных плавучих сооружений в Украине [Текст] / *Н. Г. Слуцкий, В. Ф. Маломан, А. С. Рашковский* // Рыбное хозяйство Украины. Специальный выпуск «Морские технологии: проблемы и решения – 2004». – 2004. – № 7. – С. 11–14.
17. *Слуцкий, Н. Г.* Оптимизация железобетонных конструкций понтона композитного плавучего дока [Текст] / *Н. Г. Слуцкий* // Зб. наук. праць НУК. – 2009. – № 4 (421). – С. 78–83.
18. *Слуцкий, Н. Г.* Технологические особенности бетонов для понтонов композитных плавучих доков [Текст] / *Н. Г. Слуцкий* // Сб. научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований ‘2008». – Одесса: Черноморье, 2008. – С. 27–31.

Bibliography (transliterated):

1. Maloman, V. F., Konnov, V. M., Klebanov, Gh. P., Shchedrolosiev, O. V., Kyrychenk,o K. V., Vorobjov, O. S. (2017). Introduction of the production of new modified shipbuilding concrete in the construction of composite docks and other floating structures. Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference. Innovations in shipbuilding and ocean engineering. Mykolaiv, 63–64.
2. Mishutin, N. V., Mishutin, A. V. (2002). Ferro-concrete floating structures and prospects of their use. Bulletin of the Odessa State Academy Construction and Architecture, 6, 181–187.
3. Mishutin, A. V. (2003). Increase of reliability and durability of concrete thin-walled reinforced concrete structures exploited in the marine environment. Collection of the International Engineering Academy. Odessa: Astroprint, 76–79.
4. Myshutyn, A. V., Krovjakov, S. O., Romanov, O. A. (2005). Influence of complex additives on waterproofing fine-grained concrete. Astroprint, Bulletin of the Odessa State Academy Construction and Architecture, 20, 273–278.
5. Goftarsh, P. S. (1979). Technological requirements for floating docks. Leningrad: Shipbuilding, 126.
6. Egorov, N. M. (1961). Technology of building ferro-concrete vessels. Moscow: River transport, 310.
7. Bilyanskiy, Yu. S, Dyihta, L. M., Kozlyakov, V. V. (1966). Fluctuations of a floating dock with a wind squall on waves. Proceedings of Admiral Makarov Mykolayiv Institute of Shipbuilding. Hydrodynamics of the ship, 19–27.
8. Lovyagin, M. A., Korsakov, V. M., Kaganer, Ya. B. (1964). Floating metal docks. Leningrad: Shipbuilding, 336.
9. Abrosimov, K. A., Milto, A. A., Pasinskiy, A. M. (1965). Technology of ferro-concrete shipbuilding. Leningrad: Shipbuilding, 348.
10. Egorov, N. M., Milto, A. A., Mironov, V. I., Protopopov, V. B., Ryibalov, I. I. (1978). Reference book on reinforced concrete shipbuilding. Leningrad: Shipbuilding, 356.
11. Tanhelson, G. V. (1960). Reinforced concrete floating docks. Leningrad: Sudpromgiz, 316.
12. Rashkovskyi, O. S., Shchedrolosiev, O. V., Yermakov, D. V., Uzlov, O. M. (2005). Design, technology and organization of building composite floating docks. Nikolayev: Admiral Makarov National University of Shipbuilding – RAL Polygraphy, 254.
13. Dvorkin, L. J., Dvorkin, O. L. (2015). Design of concrete warehouse. Rivne: National University of Water Management and Nature Management, 353.
14. Slutsky, N. G. (2009). Development of the technology of durable modified concrete for composite floating docks. Bulletin of the SevSTU, 97, 133–136.
15. Rashkovskyi, A. S., Slutsky, N. G. (2008). Optimization of the composition of concrete for pontoons of composite floating docks. Proceedings of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 5 (422), 17–24.

16. Slutsky, N. G., Maloman, V. F., Rashkovskyi, A. S. (2004). Construction of ferroconcrete floating structures in Ukraine. Fisheries of Ukraine. Special issue "Marine technologies: problems and solutions – 2004", 7, 11–14.
17. Slutsky, N. G. (2009). Optimization of reinforced concrete pontoon structures of a composite floating dock. Proceedings of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 4 (421), 78–83.
18. Slutsky, N. G. (2008). Technological features of concrete for pontoons of composite floating docks. Collection of scientific papers on materials of the international scientific and practical conference "Modern Directions of Theoretical and Applied Research 2008". Odessa: Black Sea Coast, 27–31.

Надійшла (received) 02.12.2018

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оптимізація складу суднобудівного бетону із заданими експлуатаційними і технологічними властивостями/ Кириченко К. В., Щедролосєв О. В., Рашковський О. С. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.20-27. – Bibliogr.:18. – ISSN 2079-5459

Оптимизация состава судостроительного бетона с заданными эксплуатационными и технологическими свойствами/ Кириченко К. В., Щедролосев А. В., Рашковский А. С. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.20–27. – Bibliogr.:18. – ISSN 2079-5459

Optimization of the shipbuilding concrete with set points of operational and technological properties/ Kyrychenko K., Shchedrolosiev O., Rashkovskyi O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.20–27 . – Bibliogr.:18. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кириченко Костянтин Володимирович – аспірант кафедри «Будівництва та ремонту суден», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова; пр. Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна, 54025; E-mail: kostiantynkyrychenko@nuos.edu.ua.

Кириченко Константин Владимирович – аспирант кафедры «Строительства и ремонта судов», Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова; пр. Героев Украины, 9, г. Николаев, Украина, 54025; e-mail: kostiantynkyrychenko@nuos.edu.ua.

Щедролосєв Олександр Вікторович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Будівництва та ремонту суден», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова; пр. Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна, 54025; e-mail: aleksandr.schedrolosev@nuos.edu.ua.

Щедролосев Александр Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительства и ремонта судов», Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова; пр. Героев Украины, 9, г. Николаев, Украина, 54025; e-mail: aleksandr.schedrolosev@nuos.edu.ua.

Рашковський Олександр Саулович – доктор технічних наук, професор кафедри «Будівництва та ремонту суден», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова; пр. Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна, 54025; e-mail: olexandr.rashkovskyi@nuos.edu.ua.

Рашковский Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительства и ремонта судов», Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова; пр. Героев Украины, 9, г. Николаев, Украина, 54025; e-mail: olexandr.rashkovskyi@nuos.edu.ua**.**

Kyrychenko Kostiantyn – Postgraduate Student at the Department of «Construction and ship repair», Admiral Makarov National University of Shipbuilding; Heroes of Ukraine, 9, Mykolaiv, Ukraine, 54025; e-mail: kostiantynkyrychenko@nuos.edu.ua.

Shchedrolosiev Oleksandr – doctor of technical science, professor, head of the Department of «Construction and ship repair», Admiral Makarov National University of Shipbuilding; Heroes of Ukraine, 9, Mykolaiv, Ukraine, 54025; e-mail: aleksandr.schedrolosev@nuos.edu.ua.

Rashkovskyi Oleksandr – doctor of technical science, professor at the Department of «Construction and ship repair», Admiral Makarov National University of Shipbuilding; Heroes of Ukraine, 9, Mykolaiv, Ukraine, 54025; e-mail: olexandr.rashkovskyi@nuos.edu.ua.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 621.397.48 : 004.932.2

А. В. БЕЛЯЕВ, В. М. КАРТАШОВ

МОДЕЛИ СИГНАЛОВ В УНИВЕРСАЛЬНОМ МУЛЬТИМЕДИЙНОМ СТРЕЛКОВОМ ТРЕНАЖЕРЕ

Рассмотрены особенности построения моделей полезных сигналов в системах видеонаблюдения, лазерного трекинга, мультимедийных стрелковых тренажерах. Поставлена задача обнаружения мелкомасштабных неоднородностей как с высокой яркостной составляющей, так и с минимально возможной для данных систем на фоне движущегося фонового изображения. Предложены математические описания для моделей лазерного луча и пулевого отверстия с учетом основных мешающих факторов в рассматриваемых системах. Методом моделирования и с использованием натурного эксперимента была подтверждена актуальность предложенных моделей. Рассмотрены аспекты практического применения предложенных математических моделей в мультимедийных стрелковых тренажерах.

Ключевые слова: моделирование, определение координат пулевых отверстий, мультимедийные стрелковые тренажеры, обработка изображений.

Розглянуто особливості побудови моделей корисних сигналів в системах відеоспостереження, лазерного трекінгу, мультимедійних стрілецьких тренажерах. Поставлено завдання виявлення дрібномасштабних неоднорідностей як з високою складової яскравості, так і з мінімально можливою для даних систем на фоні рухомого фонового зображення. Запропоновано математичні описи для моделей лазерного п'ятна і кульового отвору з урахуванням основних чинників, що заважають в розглянутих системах. Методом моделювання та з використанням натурного експерименту була підтверджена актуальність запропонованих моделей. Розглянуто аспекти практичного застосування запропонованих математичних моделей в мультимедійних стрілецьких тренажерах.

Ключові слова: моделювання, визначення координат кульових отворів, мультимедійні стрілецькі тренажери, обробка зображень.

The features of constructing models of useful signals in video surveillance systems, laser tracking, multimedia shooting simulators are considered. The task is to detect small-scale inhomogeneities both with a high luminance component and with the minimum possible for these systems against the background of a moving background image. Mathematical descriptions are proposed for laser beam and bullet holes models taking into account the main interfering factors in the systems under consideration. Using the modeling method and using the full-scale experiment, the relevance of the proposed models was confirmed. The aspects of practical application of the proposed mathematical models in multimedia shooting simulators are considered.

Keywords: modeling, coordinates determination of bullet holes, multimedia shooting simulators, image processing.

Введение. Статья является продолжением публикаций, связанных с разработкой и внедрением универсальных мультимедийных стрелковых тренажеров (МСТ) для подготовки сотрудников силовых структур. В статьях проводился анализ основных подходов к определению яркостных перепадов [1], описан используемый в тренажере метод обработки изображений [3] и предложен алгоритм увеличения быстродействия описанных методов с использованием операции стробирования целей [3]. В завершение последней работы, связанной с применением алгоритмов контурного анализа в системах обработки видеопотоков [4], будут рассмотрены особенности моделей полезных сигналов в данных системах.

Принцип действия мультимедийного стрелкового тренажера (МСТ) схематически представлен на рис. 1. В МСТ используется система обработки изображений со статичной видеокамерой.

Как и любая другая система компьютерного зрения [5], мультимедийный стрелковый тренажер имеет в своем составе видеокамеру, осуществляющую мониторинг изменений на проекционном полотне мишени. Получаемый видеопоток обрабатывается на компьютере с использованием одного или нескольких методов обнаружения информационных объектов [6].

Искомым объектом поиска при обработке изображений в мультимедийных стрелковых тренажерах является пулевая пробоина на экране, в случае работы системы с боевым оружием, или лазерное пятно, если система работает с лазерными имитаторами, закрепленными на оружии.

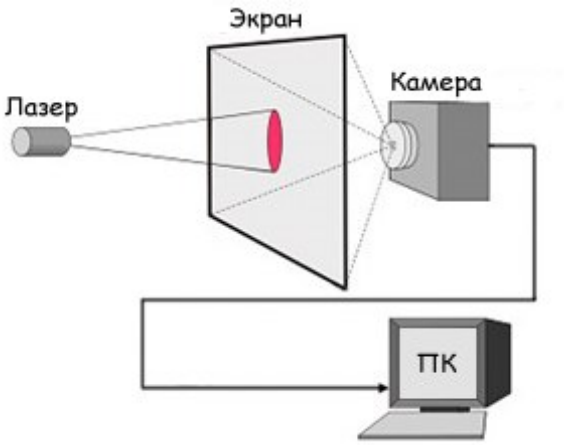


Рис. 1 – Упрощенная структура системы обработки сигналов мультимедийного стрелкового комплекса

Модели полезных сигналов в системе. Рассмотрим задачу обнаружения-измерения в применении к двумерному сигналу (изображению) *s(x,y)*. Пусть наблюдаемый сигнал является смесью полезного сигнала *e(x,y)*, аддитивной помехи *c(x,y)* и шума сенсора *n(x,y)*

$$s(x,y) = e(x,y) + c(x,y) + n(x,y). \quad (1)$$

© А. В. Беляев, В. М. Карташов. 2017

Задачу обработки сформулируем следующим образом: по реализации *s(x,y)*, доступной наблюдению, необходимо принять решение о наличии в составе *e(x,y)* искомого фрагмента и оценить пространственные координаты этого фрагмента в пределах изображения. Подобные задачи характерны для различных систем обработки, распознавания и анализа изображений – в частности, для мультимедийных лазерных стрелковых тренажеров и систем машинного зрения.

В данном случае искомым сигналом $s_0(x,y)$ является пятно от лазерного излучателя на мишени или пулевая пробоина, аддитивной помехой *c(x,y)* – видеоизображение, проецируемое на мишень, и фоновая засветка мишени посторонними источниками света. Компонент смеси *n(x,y)* представлен шумом регистрирующего устройства – видеокамеры.

Для решения задачи обнаружения искомого сигнала $s_0(x,y)$ необходимо описать его форму и размеры [7]. В случае работы стрелкового тренажера в боевом режиме необходимо придерживаться тех размеров пулевых отверстий, которые оставляет на полотне мишени конкретный вид патронов. Однако, форма пулевого отверстия может незначительно меняться от выстрела к выстрелу: в зависимости от угла попадания в мишень и материала полотна мишени. Кроме того, вероятность и точность определения пулевого отверстия зависит от разрешающей способности системы и выбранного алгоритма в случае попадания пули в непосредственной близости от одного из пулевых отверстий от предыдущих стрельб.

В режиме имитации стрельбы размер лазерного луча будет зависеть от расстояния. В идеальном случае лазерный луч оставляет на мишени отметку в виде точки. Такую отметку можно представить в виде двумерной дельта-функции $e(x,y) = \delta(x,y)$. Этот случай соответствует лазерному лучу бесконечно малого поперечного сечения, распространяющемуся в однородной изотропной среде и падающему на поверхность мишени под прямым углом. Очевидно, что в реальной системе подобные упрощения неприменимы. Реальный лазерный излучатель имеет оптическую систему с функцией рассеяния точки (ФРТ) $h_1(x,y)$. Изображение пятна на мишени может быть определено следующим образом

$$e_m(x,y) = \delta(x,y) \otimes h_1(x,y), \quad (2)$$

где $\otimes$ - символ свёртки. В то же время, регистрирующая видеокамера также имеет оптическую систему с некоторой ФРТ $h_2(x,y)$. В результате наблюдаемое камерой изображение получит вид

$$e(x,y) = e_m(x,y) \otimes h_2(x,y). \quad (3)$$

Тогда $e(x,y) = (\delta(x,y) \otimes h_1(x,y)) \otimes h_2(x,y)$.

Поскольку

$$\delta(x,y) \otimes h_1(x,y) = h_1(x,y), \quad (4)$$

то изображение искомого пятна на плоской поверхности мишени можно записать в виде

$$e(x,y) = h_1(x,y) \otimes h_2(x,y). \quad (5)$$

Следовательно, вид пятна определяется только характеристиками оптических систем лазера и регистрирующей камеры. В случае работы тренажера в боевом режиме нам необходимо учитывать только характеристики регистрирующей камеры и размеры пулевых отверстий в зависимости от калибра оружия.

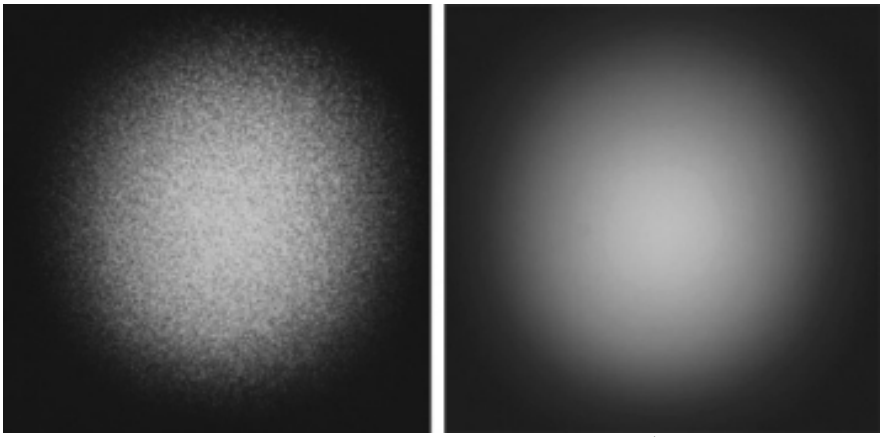
Модель лазерного пятна. В режиме стрельбы с лазерными имитаторами в МСТ полезным сигналом будет являться лазерное пятно на поверхности проекционного полотна мишени.

Полупроводниковые малогабаритные лазерные диоды имеют широкую диаграмму направленности. Поэтому для формирования узкого параллельного лазерного пучка перед диодом необходимо установить линзу-объектив на фокусном расстоянии от излучающей площадки. В случае невозможности непосредственной установки лазерного диода на имитатор оружия можно использовать волоконно-оптический световод. В этом случае имеем лазерный излучатель по схеме рис. 2

Рис. 2 – Схема лазерного излучателя с волоконно-оптическим световодом

Чтобы собрать в пучок больше энергии лазерного диода необходима линза относительно большого диаметра. В результате диаметр светового пучка на выходе лазерного излучателя должен быть порядка 10 мм. Так как не удается сформировать полностью параллельный пучок (в частности, из-за того, что излучающая площадка диода не точечная), получаем расходящийся пучок. Реально на дальности 5 м диаметр лазерного пучка составляет около 5 мм.

Анализ литературных источников привел к выводу, что источником погрешности в лазерной системе является так называемый спекл-эффект (рис. 3). Это явление, вызывающее случайное распределение интенсивности когерентного излучения, отраженного шероховатой поверхностью или прошедшего через матовое стекло [8]. Это случайное распределение приводит к случайному положению центра яркости излучения лазерного пятна, несмотря на равномерность излучения лазера в пределах светового пятна.



а б

Рис. 3 – Спекл-эффект: а – лазерное пятно; б – нормальное изображение

Теоретически уменьшить погрешность можно за счет уменьшения диаметра лазерного пятна. Однако практически это не удастся сделать из-за невозможности уменьшить диаметр световода и фокусное расстояние линзы (соответственно диаметр линзы) без существенных потерь излучаемой энергии.

Для определения минимального диаметра лазерного пятна воспользуемся соотношениями геометрической оптики [9]. При подборе расстояния *l* между линзой диаметром *2R* и выходным торцом световода диаметром *2r* каждая точка торца проецируется в соответствующую точку пятна на экране диаметром *2A*. При этом $2A = 2r\frac{L}{l}$. Расстояние *l* связано с фокусным расстоянием *f* по законам геометрической оптики соотношением $l = \frac{Lf}{L-f}$, так что в случае $L >> f$ имеем приближенное равенство $l = f$.

Размер объектива ограничен конструктивными соображениями, так как диаметр объектива *2R* не должен превышать диаметра дульного тормоза имитатора оружия. Также, объектив должен собирать все лучи с торца световода диаметром *2r* в пределах апертурного угла α, т.е. $\frac{R-r}{l} \geq tg\alpha = c$. При $R >> r$ имеем $R \geq lc$. Отсюда $l \leq \frac{R}{c}$ или $f \leq \frac{R}{c}$, и соответственно для относительного отверстия объектива имеем $O = \frac{D}{f} \geq 2c$. В случае $\alpha = 30^o$ имеем $c = tg\alpha = 0,57$ и $O \geq 1,14$, что можно реализовать на практике, так как имеются объективы с относительным отверстием до 1.5...2. В случае $R = 10$ см, $c = 0,57$, $r = 400$ мкм имеем $l_{min} = 17,5$ мм, $2A = 4,6$ мм.

Исходя из природы спекл-эффекта можно представить модель лазерного пятна в виде совокупности излучающих площадок, примыкающих друг к другу (например, прямоугольных), со случайной яркостью и случайным положением центра излучения в пределах каждой излучающей площадки [10]. То есть площадка пятна разбита на *2n+1* вертикальных и *2n+1* горизонтальных полос. Количество элементарных площадок равно $(2n+1)^2$. В модели положения геометрических центров яркости площадок приняты независимыми. Геометрический центр яркости элементарной площадки по оси *X* обозначим через x_{ij}. В случае постоянной яркости *I* элементарной площадки геометрический центр яркости по оси *X* определяется выражением

$$\overline{x} = \frac{\sum_i \sum_j I x_{ij}}{\sum_i \sum_j I} = \frac{\sum_i \sum_j x_{ij}}{(2n+1)^2}, \quad (6)$$

где суммирование распространяется на все $-n \leq i, j \leq n$.

Для математического ожидания и дисперсии геометрического центра яркости получим

$$M\left[\overline{x}\right] = 0; \quad (7)$$

$$\sigma_x^2 = M\left[\frac{\sum_i \sum_j \left(x_{ij} - \overline{x_{ij}}\right)}{(2n+1)^2}\right]^2 = \frac{1}{(2n+1)^4} \sum_i \sum_j M\left[x_{ij}\right]^2 = \frac{\sigma^2}{(2n+1)^2} \quad (8)$$

где σ^2 – дисперсия геометрического центра элементарной площадки.

В силу симметричности пределов сумм центрированные центры яркости заменены на нецентрированные, а в силу независимости дисперсия суммы взята равной сумме дисперсий. Следовательно, разброс положения геометрического центра яркости уменьшается с увеличением количества площадок, т.е. увеличением размеров лазерного пятна.

На практике, для видеомишеней, спекл-эффект оказывает незначительное влияние на погрешность измерений. Для минимизации его влияния необходимо использовать ровную, гладкую и непрозрачную поверхность в качестве материала мишени, благодаря чему им можно пренебречь.

Рассмотрим модель гауссового распределения энергии в пятне, характерного для лазерных пучков [11]. Из теории гауссового пучка известно, что его нормализованная интенсивность выражается следующей формулой

$$I(a)=\frac{1}{w}\exp\left(-2\frac{a^2}{w^2}\right), \quad (9)$$

где $a^2=x^2+y^2$, w – радиус пучка. На расстоянии w от центра интенсивность равна *exp(–2)* от максимального значения, то есть в пределах радиуса w содержится, как следует из свойств гауссовой функции, 86,5 % энергии пучка.

Как следует из выражения (9) и из рисунка 4, эффективный размер пятна δ при бинарной регистрации зависит как от радиуса пучка так и от некоторого уровня порога обнаружения I_b, причем, поскольку этот уровень может быть выбран в значительной мере произвольно, то эффективный размер также может быть сделан сколь угодно малым:

$$\delta = 2kw \quad (10)$$

где k – коэффициент, зависящий от уровня I_b и, следовательно, также принимающий любые значения.

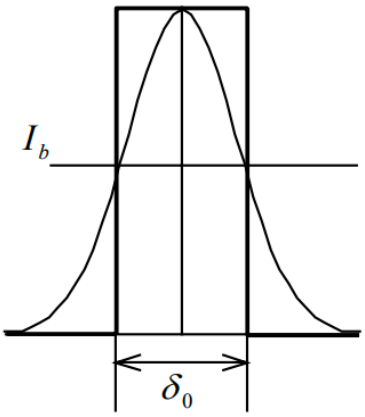


Рис. 4 – Размер лазерного пятна на оси

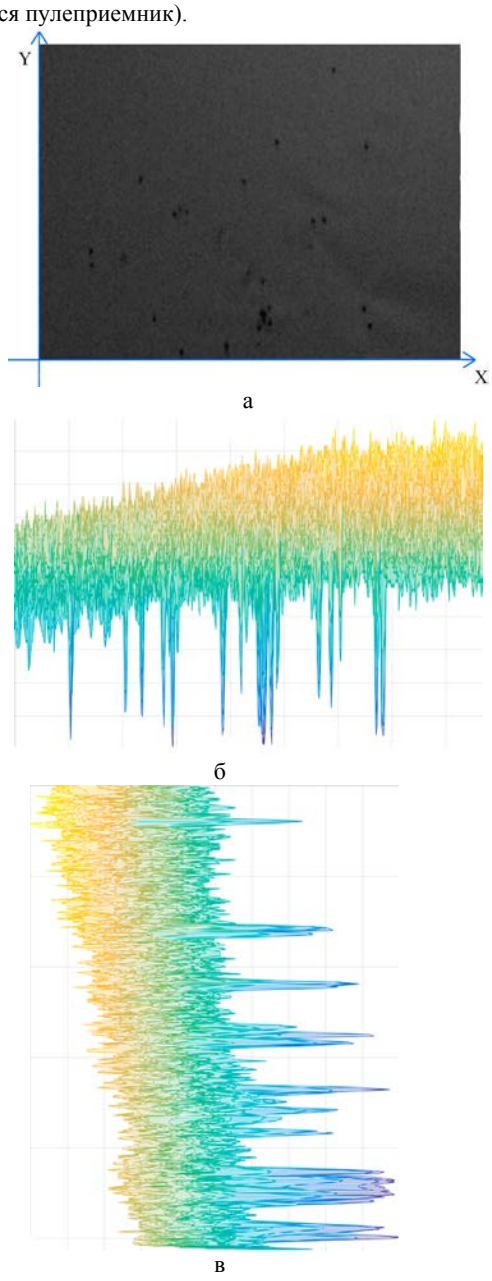
Однако, если мы выберем уровень I_b близким к значению максимальной интенсивности, чтобы получить малые значения коэффициента k, очевидно, что полученный малый размер пятна будет крайне неустойчивым по отношению к колебаниям этого уровня или изменениям интенсивности освещения. Аналогичные явления происходят в случае выбора I_b малым. Естественно, что оптимальный выбор уровня I_b должен быть таким, чтобы обеспечить максимальную устойчивость размеров пятна.

Легко увидеть, что оптимальный выбор соответствует точке максимального наклона графика распределения интенсивности в изображении для центральной (осевой) точки поля сканирования, где это изображение является наилучшим. При этом, $I_b = I_0\exp(-1/2)$, где I_b – интенсивность в максимуме пятна для центра поля сканирования; коэффициент k в этом случае равен 0,5, то есть эффективный размер бинарного пятна в два раза меньше, чем размер исходного изображения.

Следовательно, при проектировании алгоритмов системы обработки для режима имитации стрельбы необходимо придерживаться гауссовой модели распределения светового пятна, а порог обнаружения выбирать на уровне половины максимальной его интенсивности.

Модель пулевого отверстия. В случае работы МСТ в боевом режиме алгоритмы системы обработки должны принять иную модель полезного сигнала. Если в режиме имитации регистрировалось гауссово пятно на проекционном полотне, значение яркости центра которого среди всех пикселей изображения стремилось к максимальному I_{max}, то центр пулевого отверстия может обладать минимальным значением яркости I_{min}.

Это связано с тем, что проектор, при помощи которого воспроизводятся видеосюжеты, обладает некоторой минимальной яркостью для черного цвета L_{min} (рис. 5, 6), которая будет значительно ярче пространства за проекционным полотном (чаще всего там находится пулеприемник).



а

б

в

Рис. 5 – Яркость пулевых отверстий на фоне L_{min} проектора: а – исходное изображение, б – горизонтальная проекция, в – вертикальная проекция

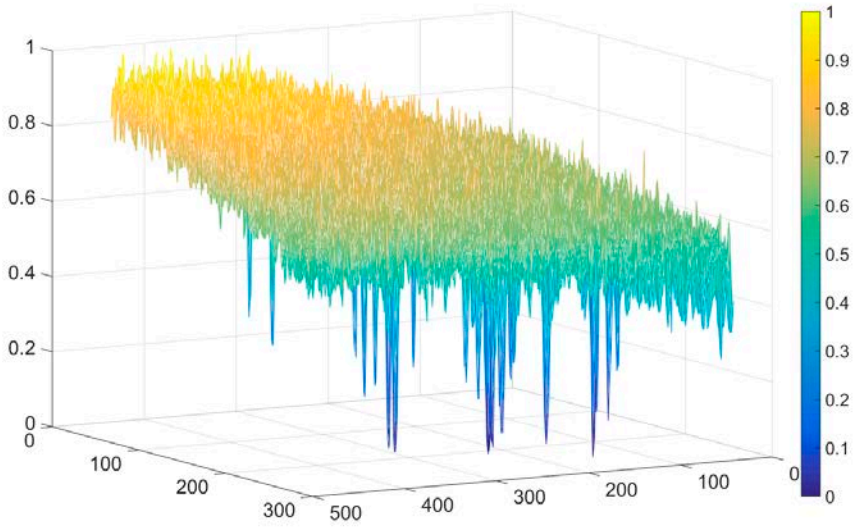


Рис. 6 – Представление яркости пулевых отверстий на фоне L_{min} проектора в трехмерном пространстве

В некоторых существующих системах обработки [12] пулевую пробоину стремились приблизить к лазерному пятну путем ее подсветки. Видеокамера регистрировала свет, проходящий сквозь образованные отверстия и, как и в случае с лазерным пятном, проводилось сканирование изображения и поиск I_{max}. Однако, этот способ требовал использование осветительной аппаратуры и светофильтров на видеорегистрирующем устройстве, что накладывало дополнительные финансовые затраты, усложняло конструкцию и делало невозможным использование данных тиров в портативном исполнении.

Использование видеокамер с высокой светочувствительностью позволяет отказаться от дополнительной осветительной аппаратуры и фиксировать значения минимальной яркости I_{min} на изображении. Следовательно, пулевое отверстие можно описать как некоторую матрицу NxM (рис. 7), размер которой будет определяться калибром патрона (рис. 8), разрешением видеокамеры и расстоянием между видеокамерой и проекционным полотном.

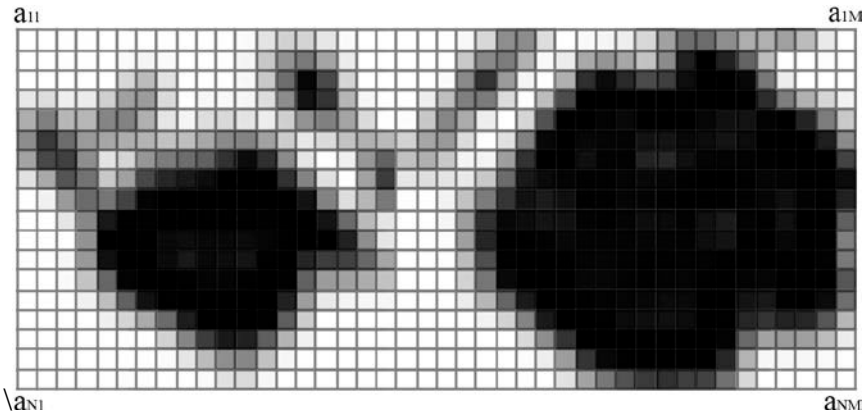


Рис. 7 – Визуализация матрицы яркостных значений пулевых отверстий двух разных калибров

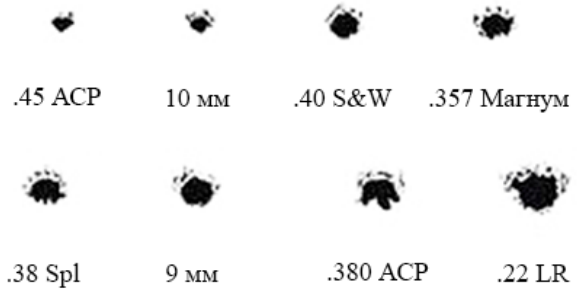


Рис. 8 – Пулевые отверстия различных калибров

Однако, наличие собственных шумов регистрирующей видеокамеры ухудшает характеристики правильного обнаружения и делает невозможным использование простой цвето-яркостной фильтрации видеопотока, что вынуждает применять дополнительные алгоритмы распознавания образов в системе обработки. Проектор также дает некоторую фоновую засветку и в случае комплексного видеосюжета с неоднородным фоном пулевые отверстия могут быть засвечены световым потоком разной интенсивности.

Чем большим количеством пикселей будет описано пулевое отверстие, тем большей будет вероятность правильного обнаружения. В идеальном случае, в отсутствии собственных шумов камеры, полезный сигнал может быть некоторой точкой на изображении, которую можно описать в виде двумерной дельта-функции $\delta(x, y)$. Однако, в реальных условиях необходимо куда большее количество точек для принятия решения об обнаружении.

Для упрощения работы алгоритмов обработки можно использовать, как и в случае с лазерным лучом, гауссову модель пулевого отверстия, проводя поиск или значения с минимальной яркостью, или осуществляя инверсию изображения. Стоит отметить, что в отличии от лазерного пятна, размер которого будет изменяться в зависимости от дистанции стрельбы, пулевые отверстия всегда будут обладать фиксированным размером, без учета случайных деформаций тканевой пробоины, и зависеть только от калибра.

Анализ эффективности предложенных моделей. Предложенные модели были применены и протестированы с использованием мультимедийного стрелкового тренажера кафедры «Медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем» Харьковского национального университета радиоэлектроники. Ранее в системе обработки тренажера применялся метод покадрового вычитания для определения новых объектов на слабо изменяющемся фоне. Полученное разностное изображение позволяло определить координаты точки попадания лазерного луча или пулевых отверстий. Однако, слабое освещение в тирах и собственные шумы камеры не позволяли определять пулевые отверстия на темных фонах, из-за чего было предложено применение инфракрасной подсветки за проекционном экраном и соответствующего светофильтра на видеокамере. Из-за этого технического решения приходилось использовать две разных камеры с разными светофильтрами, что увеличивало стоимость конструкции и усложняло ее.

Было предложено усовершенствование данной системы, путем применения контурного анализа изображения [4]. Рассмотренные в данной статье модели сигналов были использованы в блоке обработки изображений для алгоритма контурного анализа.

Контурный анализ изображений позволяет использовать всего один комплект видеоаппаратуры без применения дополнительной системы подсветки пулевых отверстий. Во время тестирования данного метода было выявлено, что он имеет лучшие характеристики правильного обнаружения в случае использования сцен с неоднородным динамическим фоном, тогда как метод покадрового вычитания показал неспособность отслеживания целей при быстро изменяющемся изображении.

Выводы

1. Предложены математические модели сигналов в видеосистеме МСТ, позволяющие улучшить работу функционирующих в ней алгоритмов обработки. Предложенные модели лазерного луча и пулевого отверстия положены в основу контурного анализа изображения, принимаемого со стационарной видеокамеры.

2. Путем моделирования выведены оптимальные параметры принимаемых сигналов для максимизации характеристики правильного обнаружения системы и минимизации ложного срабатывания.

3. Определено, что использование разработанной методики анализа изображений в МСТ позволяет обрабатывать изображения с динамически изменяющимся фоном, что позволяет расширить функционал новыми тренировочными видеосюжетами и использовать более сложные видеосюжеты с использованием уровневой структуры современной игровой индустрии.

Список литературы:

1. *Беляев, А. В.* Обнаружение объектов заданной формы и определение их координат на изображении в мультимедийном стрелковом тренажере [Текст] / *А. В. Беляев, В. М. Карташов* // Системы обработки информации. – 2015. – № 10 (135). – С. 16–21.
2. *Беляев, А. В.* Обработка сигналов в универсальном мультимедийном стрелковом тренажере [Текст] / *А. В. Беляев, О. В. Зубков, В. М. Карташов, К. С. Тарасов* // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2017. – № 16 (1238). – С. 23–29.
3. *Беляев, А. В.* Стробирование отметок движущихся объектов в системе обработки изображений со стационарной видеокамерой [Текст] / *А. В. Беляев, В. М. Карташов, Ф. А. Лутуангу* // ScienceRise. – 2017. – № 3 (32). – С. 66–71. doi: 10.15587/2313-8416.2017.96524
4. *Беляев, А. В.* Применение метода контурного анализа изображений в системе обработки мультимедийного стрелкового тренажера [Текст] / *А. В. Беляев, О. В. Зубков, В. М. Карташов* // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2017. – № 20 (1242). – С. 109–118.
5. *Burlachenko, I.* Devising a method for the active coordination of video cameras in optical navigation based on the multi-agent approach [Text] / *I. Burlachenko, I. Zhuravska, M. Musiyenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 9 (85). – P. 17–25. doi: 10.15587/1729-4061.2017.90863
6. *Sotnikov, A.* A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects [Text] / *A. Sotnikov, V. Tarshyn, N. Yeromina, S. Petrov, N. Antonenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, Issue 9 (87). – P. 68–74. doi: 10.15587/1729-4061.2017.101920
7. *Tsyporenko, V.* Development of direct method of direction finding with two-dimensional correlative processing of spatial signal [Text] / *V. Tsyporenko, V. Tsyporenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6, Issue 9 (84). – P. 63–70. doi: 10.15587/1729-4061.2016.85599
8. *Франсон, М.* Оптика спеклов [Текст] / *М. Франсон*. – М.: Мир, 1980. – 171 с.
9. *Бегунов, В. Н.* Теория оптических систем [Текст] / *Б. Н. Бегунов, Н. П. Заказнов*. – М.: Машиностроение, 1973. – 488 с.
10. *Корнилов, И. Г.* Модели лазерного пятна датчика координат стрелкового тренажера [Текст] / *И. Г. Корнилов, В. С. Казаков* // Материалы межд. НТК, посвященной 50-летию ИжГТУ. – 2002. – С. 82–85.
11. *Родионов, С. А.* Оптика негомоцентрических световых пучков [Текст] / *С. А. Родионов, Вон Дон Чжу, Ми Сук Чжун* // Оптический журнал. – 1997. – Т. 64, № 8. – С. 28–31.
12. Пат. № 95007 UA. Спосіб визначення координат точки влучення кулі у відеомішень при навчанні стрільби та пристрій для його здійснення. МПК F41 G 3/26 [Текст] / *Зубков О. В., Коритцев І. В., Сидоров Г. І., Сидоров Я. Г.* – № a200912569; заявл. 04.12.2009; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12. – 3 с.

Bibliography (transliterated):

1. Bieliaiev, O. V., Kartashov, V. M. (2015). Obnaruzhenie ob'ektov zadannoy formy i opredelenie ih koordinat na izobrazhenii v mul'timediynom strelkovom trenazhere [Objects detection and determination of their coordinates on the image in a multimedia shooting simulator]. Information processing systems, 10 (135), 16–21.
2. Bieliaiev, O. V., Zubkov, O. V., Kartashov, V. M., Tarasov, K. S. (2017). Signal processing in the universal multimedia shooting simulator. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 16 (1238), 23–29.
3. Bieliaiev, O. V., Kartashov, V. M., Loutouangou, F. A. (2017). Strobing the moving objects marks in the image processing system with stationary video camera. ScienceRise, 3 (32), 66–71. doi: 10.15587/2313-8416.2017.96524

4. Bieliaiev, O. V., Zubkov, O. V., Kartashov, V. M. (2017). Application of the method of contour analysis of images in the processing system of a multimedia shooting simulator. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 20 (1242), 109–118.
5. Burlachenko, I., Zhuravska, I., Musiyenko, M. (2017). Devising a method for the active coordination of video cameras in optical navigation based on the multi-agent approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (85)), 17–25. doi: 10.15587/1729-4061.2017.90863
6. Sotnikov, A., Tarshyn, V., Yeromina, N., Petrov, S., Antonenko, N. (2017). A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (9 (87)), 68–74. doi: 10.15587/1729-4061.2017.101920
7. Tsyporenko, V., Tsyporenko, V. (2016). Development of direct method of direction finding with two-dimensional correlative processing of spatial signal. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (9 (84)), 63–70. doi: 10.15587/1729-4061.2016.85599
8. Franson, M. (1980). Optica speclov. Moscow: Mir, 171.
9. Begunov, V. N., Zakaznov, N. P. (1973). Teoriya opticheskich system. Moscow: Mashinostroyenie, 488.
10. Kornilov, I. G., Kazakov, V. S. (2002). Modeli lasernogo pyatna datchika koordinat strelkovogo trenagera. Materials Int. NTK, dedicated to the 50-th anniversary of IzhSTU, 82–85.
11. Rodionov, S. A., Von Don Chgou, Mu Suk Chgun (1997). Optica negomocentrichnich svetovyh puchkov. Optical journal, 64 (8), 28–31.
12. Zubkov, O. V., Koryttsev, I. V., Sydorov, H. I., Sydorov, Ya. H. (2009). Pat. No. 95007 UA. Sposib vyznachennia koordynat tochky vluchennia kuli u videomishen pry navchanni strilby ta prystriyi dlia yoho zdiysnennia. MPK F41 G 3/26. No. a200912569; declareted: 04.12.2009; published: 25.06.2011, Bul. No. 12, 3.

Поступила (received) 08.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделі сигналів в універсальному мультимедійному стрілецькому тренажері/ О. В. Бєляєв, В. М. Карташов //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.28–34. – Bibliogr.:12. – ISSN 2079-5459

Модели сигналов в универсальном мультимедийном стрелковом тренажере/ А. В. Беляев, В. М. Карташов //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.28–34. – Bibliogr.:12. – ISSN 2079-5459

Models of signals in a universal multimedia shooting simulator/ O. Bieliaiev, V. Kartashov//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.28–34 . – Bibliogr.:12. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бєляєв Олексій Володимирович – аспірант, асистент кафедри Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166e-mail: oleksii.bieliaiev@nure.ua.

Карташов Володимир Михайлович – доктор технічних наук, завідуючий кафедри Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: volodymyr.kartashov@nure.ua.

Беляев Алексей Владимирович – аспирант, ассистент кафедры Медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: oleksii.bieliaiev@nure.ua.

Карташов Владимир Михайлович – доктор технических наук, заведующий кафедры Медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: volodymyr.kartashov@nure.ua.

Bieliaiev Oleksii – postgraduate student, assistant of the Department of Media Engineering and Information Radioelectronic Systems, Kharkov National University of Radio Electronics, 14 Nauka Avenue, Kharkov, Ukraine, 61166; E-mail: oleksii.bieliaiev@nure.ua.

Kartashov Volodymyr – Doctor of technical sciences, professor, Head of the Department of Media Engineering and Information Radioelectronic Systems, Kharkov National University of Radioelectronics, 14 Nauka Avenue, Kharkov, Ukraine, 61166; E-mail: volodymyr.kartashov@nure.ua.

УДК 519.7:616.8

О. К. БІЛОШИЦЬКА

КЛАСИФІКАЦІЯ ПАТОЛОГІЧНИХ ЕЕГ-СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Робота присвячена застосуванню методів машинного навчання при створенні моделі класифікації патологічних сигналів ЕЕГ. Сформовано ефективний набір ознак, які є пріоритетними під час класифікації сигналів з епілептиформною та нормальною активністю головного мозку. Встановлено, що застосування методу опорних векторів дає точність класифікації 80 %, методу лінійного дискримінантного аналізу – 91 %, методу випадкового лісу – 96 % та методу Extra trees – 91 %. Побудована комплексна модель на основі даних методів дала результуючу точність 89 %.

Ключові слова: ЕЕГ, машинне навчання, метод опорних векторів, лінійний дискримінантний аналіз, випадковий ліс, Extra trees.

Работа посвящена применению методов машинного обучения при создании модели классификации патологических сигналов ЭЭГ. Сформирован эффективный набор признаков, которые являются приоритетными во время классификации сигналов с эпилептиформною и нормальной активностью головного мозга. Установлено, что применение методу опорных векторов дает точность классификации 80 %, методу линейного дискриминантного анализа – 91 %, методу случайного леса – 96% и методу Extra trees – 91 %. Построенная комплексная модель на этих методах дала результирующую точность 89 %.

Ключевые слова: ЭЭГ, машинное обучение, метод опорных векторов, линейный дискриминантный анализ, случайный лес, Extra trees.

Epilepsy is the fourth most common neurological problem in the world. When diagnosing epilepsy, the most informative is the registration of EEG, which helps distinguish epileptic seizures from non-epileptic seizures and classify them.

As a result of the preliminary processing of raw data of EEG signals, segments of signals with epileptic activity were isolated separately, and signals without pathological rhythms were divided into segments of 30 seconds duration. A database of 194 signals with epileptiform activity and 194 signals of normal brain activity was obtained.

Performed preprocessing of EEG, an effective set of characteristics has been generated for the classification of signals with epileptiform and normal activity of brain; a model for the classification of pathological EEG signals was created and based on methods of machine learning.

An effective set of characteristics has been generated for the classification of signals with epileptiform and normal activity of brain.

A model for classifying pathological EEG signals was created in the software environment Python 2.7.5. Model consisted of methods Support Vector Machine, Linear Discriminant Analysis, Random Forest and Extra trees. The constructed complex model on these methods has shown the resulting accuracy of 89 %.

Keywords: EEG, machine learning, Support Vector Machine, Linear Discriminant Analysis, Random Forest and Extra trees.

Вступ. Епілепсія є четвертим найбільш поширеним неврологічним захворюванням людини в світі. Кожного року вперше епілептичні напади реєструють близько в 1000 людей. Такі напади істотно обмежують соціальну активність та можливості людей. Проте своєчасне діагностування, детектування та попередження нападів можуть значно полегшити перебіг захворювання та, навіть, врятувати життя [1]. Так, наприклад, знаючи, що за декілька хвилин або годин може відбутись епілептичний напад, людина може зупинити машину, відпроситись з роботи і прийняти ліки, щоб полегшити симптоми.

При діагностуванні епілепсії найбільш інформативною є реєстрація ЕЕГ, яка допомагає відрізнити епілептичні напади від неепілептичних та класифікувати їх.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Класифікація електроенцефалограм є одним з важливих процесів в біомедичній інженерії. Втома водія – одна з основних причин ДТП у всьому світі, і вважаються серйозною проблемою в останні десятиліття [2]. Hybrid Deep Generic Model (DGM) реалізована в [3] на основі методу опорних векторів SVM (Support Vector Machine) і застосовується для точного виявлення втоми водія.

У запропонованій системі, DGM використовується для вилучення ознак, в той час як SVM – для їх класифікації. Експериментальні результати показали, що запропонована система моніторингу втоми водія забезпечує точність тестування на 73,29 %.

У роботі [4] автори порівнюють ефективність класифікації ЕЕГ-сигналів в системі BCI (Інтерфейс «мозок-комп'ютер» (Brain-Computer Interface)) методами ELM (Екстремальне навчання (Extreme Learning Machine)), LDA і SVM. Експериментальні результати показали, що більш високу точність класифікації демонструє метод ELM.

Для того, щоб вирішити проблему нестабільних результатів прогнозування, коли один метод ELM трактується як класифікатор, в цій роботі [5] автори пропонують метод класифікації з використанням ансамблю ELM та LDA (Лінійний дискримінантний аналіз – Linear Discriminant Analysis). Основна ідея, це застосування LDA на кожній підмножині навчальних наборів даних. Таким чином, можна отримати вибірку з великими відмінностями, що збільшує різноманітність даних і зменшує можливі помилки ансамблю.

Дослідження [6, 7] спрямоване на виявлення взаємозв'язку між ЕЕГ-сигналами і емоційним станом людини. В якості стимулів, щоб викликати позитивні, нейтральні та негативні емоції суб'єктів, використовувались відеоролики.

У дослідженні [8] автори пропонують систему (рис. 1) для ідентифікації людини з використанням ЕЕГ-сигналів, отриманих від таких недорогих пристроїв. Сигнал ЕЕГ спочатку проходить попередню обробку для видалення шумів і артефактів за допомогою смугового фільтра. Потім ці сигнали розділяються на окремі відрізки.

© О. К. Білошицька. 2017

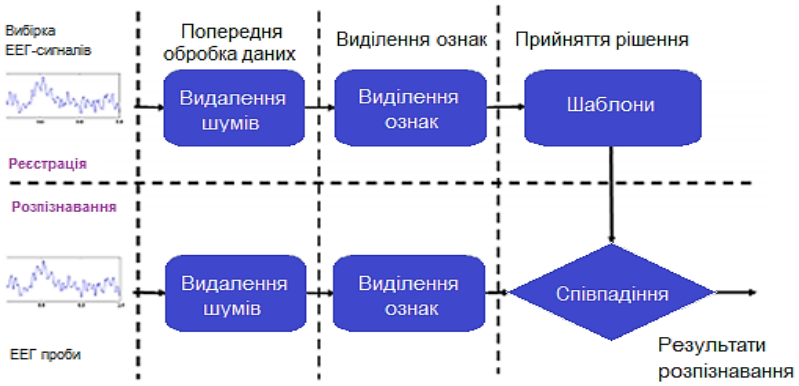


Рис. 1 – Блок-схема системи розпізнавання ЕЕГ-сигналів

Ціль та задачі дослідження. Епілепсія може діагностуватись в будь-якому віці. Ідентифікація можлива шляхом дослідження сигналів електроенцефалограми. У роботі [8] автори пропонують метод обробки ЕЕГ-сигналів для розпізнавання епілептичних нападів, який складається з вейвлет-аналізу та системи машинного навчання. Використовувалася значна кількість класифікаторів, але найбільшу точність показав LDA-класифікатор (приблизно 93 %), а також метод опорних векторів SVM (70 %).

В дослідженні [9] автори пропонують контрольований метод машинного навчання для класифікації ЕЕГ-сигналів нормальної активності мозку, перед епілептичним нападом і під час нападу (рис. 2).

Виходячи з вищезазначеного, було сформульовано мету нашого дослідження, яка полягає в створенні моделі класифікації патологічних ЕЕГ-сигналів на основі методів машинного навчання.

Рис. 2 – Блок-схема системи класифікації епілепсії

Матеріали та методи дослідження патологічних сигналів ЕЕГ. База ЕЕГ-сигналів з епілептичними нападами була отримана від 24-х пацієнтів: 5 чоловіків, віком від 22 до 36 років, та 19 жінок, віком від 20 до 40 років. Тривалість реєстрації сигналу складає 1 годину. ЕЕГ-сигнали були отримані від 16 каналів, із міжнародною системою накладання електродів 10-20 і оцифровані з частотою 256 значень за секунду. Також була надана інформація, для кожного пацієнта, про кількість епілептичних нападів в одному сигналі, час їх початку і закінчення.

На етапі попередньої обробки даних були виділені відрізки сигналу, в яких зареєстрована епілептиформна активність. Тривалість нападів варіюється від десятків секунд до декількох хвилин [10]. Були видалені всі наявні пропуски в сигналі та артефакти. Сигнали без патологічної активності були поділені на дві групи: відрізки тривалістю 30 та 60 секунд.

В результаті було отримано базу даних з 194 сигналів з епілептиформною активністю та 194 сигналів нормальної активності мозку, з рівною кількістю каналів для кожного сигналу

Використовуючи «плаваюче вікно» тривалістю 10 секунд, сигнал попередньо поділявся на епохи.

Набір ознак розраховувався для кожної епохи:

– спектральна та ентропія Шеннона на шести частотних смугах (дельта, тета, альфа, бета та гама-ритм);
– частота спектрального краю;
– ентропія Шеннона для діадних частотних смуг;
– матриця кореляції між частотними смугами та її власні значення;
– матриця кореляції між каналами ЕЕГ-сигналу та її власні значення;
– кореляція між каналами;
– фрактальна розмірність [10];
– параметри Hjorth (активність, мобільність, і складність);
– статистичні характеристики (асиметрія, коефіцієнт ексцесу, середнє значення для кожного каналу);
– перетин нуля (Zero Crossing).

Для дослідження були обрані методи машинного навчання, що безпосередньо вирішують задачу класифікації, а саме метод опорних векторів, лінійний дискримінантний аналіз, випадковий ліс та Extra trees.

Метод опорних векторів заснований на ідеї поділу простору об'єктів, на підпростори, відповідні класам. У разі бінарної класифікації навчання методу зводиться до пошуку гіперплощини з деякою товщиною, яка є математичною сутністю методу, що розділяє об'єкти різних класів навчальної вибірки.

Лінійний дискримінантний аналіз – це метод пошуку лінійної комбінації змінних, яка найкращим чином розділяє два або більше класів.

Основна ідея алгоритму випадкового лісу полягає в використанні ансамблю дерев прийняття рішень. Дерева в ансамблі будуються один від одного незалежно. Фінальна класифікація проводиться за допомогою «голосування», тобто підсумковим класом оголошується той клас, за який проголосувало найбільша кількість дерев.

В екстремально випадкових деревах Extra trees при поділі вузла вибирається випадкова підмножина ознак пороги вибираються випадково для всіх ознак, і вже серед них вибирається найкращий.

Результати дослідження методів машинного навчання під час вирішення задачі класифікації. Задача класифікації полягає в тому, що є безліч

об'єктів, в даному випадку сигналів, розділених деяким чином на класи (епілептична та нормальна активність) – двокласова класифікація. Визначена скінченна множина об'єктів, для яких відомо, до яких класів вони належать, - навчальна вибірка. Класова приналежність інших об'єктів не відома – тестова вибірка. Потрібно побудувати алгоритм, здатний класифікувати довільний об'єкт з тестової вибірки. У машинному навчанні завдання класифікації відноситься до розділу навчання з учителем. На рис. 3 зображена блок-схема такої системи класифікації.

Всі дослідження були проведені за допомогою програмного забезпечення Python 2.7.5, з використанням бібліотек.

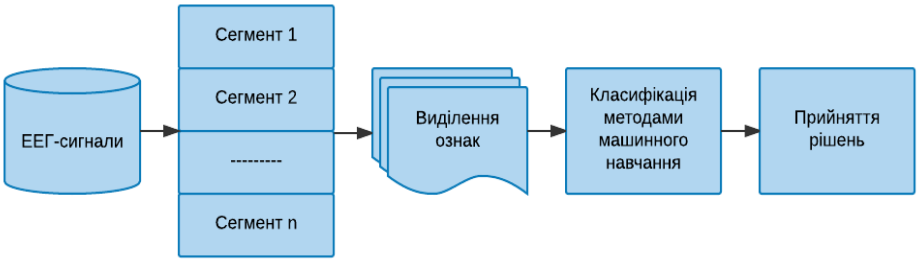


Рис. 3 – Блок-схема системи класифікації епілептичних нападів

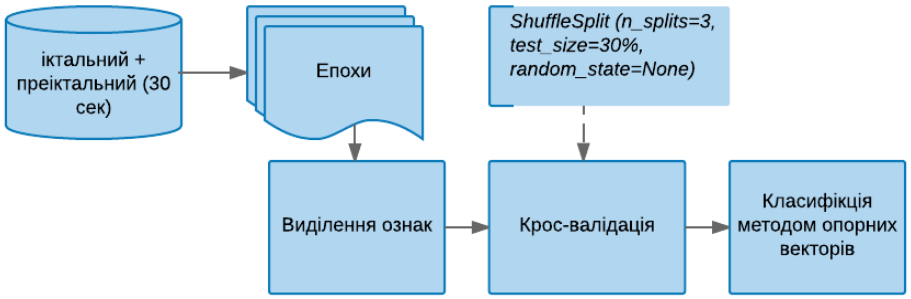


Рис. 4 – Блок-схема поетапного виконання моделювання

Обговорення результатів моделі класифікації патологічних ЕЕГ-сигналів. Під час подальшого підбору методів машинного навчання для поділу даних на навчальну та тестову вибірку використовувалась функція крос-валідації train_test_split. Параметр ядра класифікатора був змінений з лінійного на поліноміальний (poly). Точність класифікації зросла до 78,23 %.

Для підвищення якості роботи алгоритмів, був проведений відбір оптимальних характеристик сигналу, поступово видаляючи набір ознак, по одному за раз. В результаті чого, були видалені такі ознаки: фрактальна розмірність, ентропія Шеннона на шести частотних смугах та для діадних частотних смуг і матриця кореляції між каналами. Після чого кількість ознак зменшилась від 232 до 186. Точність класифікації склала для методу опорних векторів – 78 %, лінійного дискримінантного аналізу – 88 %, випадкового лісу – 89 % та Extra trees – 84 %. Показники покращились для всіх класифікаторів, окрім методу опорних векторів, значення точності для якого залишись незмінним.

На цьому ж наборі ознак була протестована вибірка сигналів з нормальною активністю головного мозку тривалістю 60 секунд. Послідовність аналізу сигналів не змінилась, поділ вибірки так само здійснювався за допомогою функції train_test_split. Точність склала для методу опорних векторів – 79 %, лінійного дискримінантного аналізу – 86 %, випадкового лісу – 71 % та Extra trees – 66 %. Отримані значення значно знизились, що показує кращу ефективність у використанні сигналів без патологічної активності головного мозку тривалістю в 30 секунд.

Після здійсненого відбору ознак, набір характеристик має такий склад:

– частота спектрального краю;
– матриця кореляції між частотними смугами;
– кореляція між каналами ЕЕГ-сигналу;
– параметри Hjorth (активність, мобільність, і складність);
– статистичні характеристики (асиметрія, коефіцієнт ексцесу, середнє значення для кожного каналу);
– перетин нуля.

Однією із можливостей алгоритмів класифікації є оцінювання важливості ознак. Тож для зменшення кількості ознак та виділення найінформативніших, була використана функція SelectFromModel, яка трансформує вибірку на основі важливості ознак, оцінених методом Extra trees. З її допомогою було

відфільтровано 47 ознак з найкращим показником вагового коефіцієнта. Чим вище ваговий коефіцієнт, ти важливіша ознака. В результаті відбору найважливішою ознакою для класифікації сигналів з епілептиформною активністю стала частота спектрального краю, з іншого боку, найгірші показники мають ознаки асиметрії та середнє значення, які були видалені.

В результаті оцінювання важливості ознак, точність класифікації підвищилась для всіх методів. Цей результат свідчить про те, що «якість» та «унікальність» даних дуже важлива для їх ефективного аналізу.

На основі отриманих результатів, була реалізована модель для автоматичної класифікації ЕЕГ-сигналів. На рис. 5 зображена структура даної системи класифікації.

Рис. 5 – Блок-схема результуючої моделі класифікації

Фінальна точність класифікації склала 89% і була розрахована за формулою:

$$P = 1/4 \cdot (\text{Алгоритм 1} + \text{Алгоритм 2} + \text{Алгоритм 3} + \text{Алгоритм 4})$$

де Алгоритм 1 – точність класифікації за допомогою методу SVM; Алгоритм 2 – точність класифікації за допомогою LDA; Алгоритм 3 – точність класифікації за допомогою методу RF; Алгоритм 4 – точність класифікації за допомогою методу Extra trees.

Висновки. За допомогою оцінювання важливості ознак функцією SelectFromModel, був відібраний найефективніший набір ознак для детектування епілептиформної активності, а саме: частота спектрального краю, кореляція між каналами, матриця кореляції між частотними смугами, параметри Hjorth (активність, мобільність, і складність), коефіцієнт екс-
ексцесу, перетин нуля.
Класифікація була здійснена методом опорних векторів, лінійного дискримінантного аналізу, випадкового лісу та Extra trees та отримані такі показники точності: 80 %, 91 %, 96 %, 91 % відповідно.
На основі проведених експериментів була побудована модель для автоматичної класифікації ЕЕГ-сигналів за допомогою ансамблю таких методів машинного навчання. Результуюча точність склала 89 %.

Список літератури:

1. *Білошицька, О. К.* Нелінійна динаміка як інструмент прогнозування патологічних змін на електроенцефалограмі [Текст] / *О. К. Білошицька* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – № 50 (1222). – С. 79–83.
2. *Доля, В. К.* Вплив інформаційного навантаження на параметри основної діяльності водіїв (збуджувальні процеси) [Текст] / *В. К. Доля, І. П. Енглезі, І. А. Афанасьєва* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – Т. 1, № 2 (49). – С. 65–68. – Режим доступу: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1887/1782
3. *San, P. P.* EEG-based driver fatigue detection using hybrid deep generic model [Text] / *P. P. San, S. H. Ling, R. Chai, Y. Tran, A. Craig, H. Nguyen* // 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). – 2016. doi: 10.1109/embc.2016.7590822
4. *Tan, P.* Applying Extreme Learning Machine to classification of EEG BCI [Text] / *P. Tan, W. Sa, L. Yu* // 2016 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). – 2016. doi: 10.1109/cyber.2016.7574827
5. *Han, M.* EEG Signals Classification Based on Wavelet Packet and Ensemble Extreme Learning Machine [Text] / *M. Han, Z. Sun, J. Wang* // 2015 Second International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI). – 2015. doi: 10.1109/mcsi.2015.30
6. *Liu, Q.* Multi-scale wavelet kernel extreme learning machine for EEG feature classification [Text] / *Q. Liu, X. Zhao, Z. Hou, H. Liu* // 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). – 2015. doi: 10.1109/cyber.2015.7288175
7. *Zhu, J.-Y.* EEG-based emotion recognition using discriminative graph regularized extreme learning machine [Text] / *J.-Y. Zhu, W.-L. Zheng, Y. Peng, R.-N. Duan, B.-L. Lu* // 2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – 2014. doi: 10.1109/ijcnn.2014.6889618
8. *Dilber, D.* EEG based detection of epilepsy by a mixed design approach [Text] / *D. Dilber, J. Kaur* // 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). – 2016. doi: 10.1109/rteict.2016.7808067
9. *Bashar, M. K.* Epileptic seizure classification from intracranial EEG signals: A comparative study EEG-based seizure classification [Text] / *M. K. Bashar, F. Reza, Z. Idris, H. Yoshida* // 2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES). – 2016. doi: 10.1109/iecbes.2016.7843422
10. *Білошицька, О. К.* Дослідження показників епілептичних ЕЕГ-сигналів за допомогою методів нелінійної динаміки [Текст] / *О. К. Білошицька, Т. А. Клименко* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2017. – № 19 (1241). – С. 30–34.

Bibliography (transliterated):

1. Biloshytska, O. K. (2016). Neliniyna dynamika yak instrument prohnozuvannia patolohichnykh zmin na elektroentsefalohrami. Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 50 (1222), 79–83.
2. Dolia, V. K., Enhlezi, I. P., Afanasieva, I. A. (2009). Influence of information load on the basic parameters of drivers activity (exciting process). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (2 (49)), 65–68. Available at: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1887/1782
3. San, P. P., Ling, S. H., Chai, R., Tran, Y., Craig, A., Nguyen, H. (2016). EEG-based driver fatigue detection using hybrid deep generic model. 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). doi: 10.1109/embc.2016.7590822

4. Tan, P., Sa, W., Yu, L. (2016). Applying Extreme Learning Machine to classification of EEG BCI. 2016 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). doi: 10.1109/cyber.2016.7574827

5. Han, M., Sun, Z., Wang, J. (2015). EEG Signals Classification Based on Wavelet Packet and Ensemble Extreme Learning Machine. 2015 Second International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and in Industry (MCSI). doi: 10.1109/mcsi.2015.30

6. Liu, Q., Zhao, X., Hou, Z., Liu, H. (2015). Multi-scale wavelet kernel extreme learning machine for EEG feature classification. 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). doi: 10.1109/cyber.2015.7288175

7. Zhu, J.-Y., Zheng, W.-L., Peng, Y., Duan, R.-N., Lu, B.-L. (2014). EEG-based emotion recognition using discriminative graph regularized extreme learning machine. 2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). doi: 10.1109/ijcnn.2014.6889618

8. Dilber, D., Kaur, J. (2016). EEG based detection of epilepsy by a mixed design approach. 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). doi: 10.1109/rteict.2016.7808067

9. Bashar, M. K., Reza, F., Idris, Z., Yoshida, H. (2016). Epileptic seizure classification from intracranial EEG signals: A comparative study EEG-based seizure classification. 2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES). doi: 10.1109/iecbes.2016.7843422

10. Biloshytska, O. K., Klymenko, T. A. (2017). Doslidzhennia pokaznykiv epileptychnykh EEH-syhnaliv za dopomohoiu metodiv neliniinoi dynamiky. Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 19 (1241), 30–34.

Надійшла (received) 14.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Класифікація патологічних ЕЕГ-сигналів за допомогою методів машинного навчання/ Білошиць-ка О. К. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.35–39. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Классификация патологических ЭЭГ-сигналов с помощью методов машинного обучения/ Белошицкая О. К. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.35–39. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Classification of pathological EEG signals using machine learning methods/ Biloshytska O. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.35–39 . – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Білошицька Оксана Костянтинівна – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Факультет біомедичної інженерії, старший викладач кафедри біомедичної інженерії; м. Київ, проспект Перемоги, 37, тел.: 099-606-19-75, 044-204-96-84; e-mail: o.biloshytska@kpi.ua.

Белошицкая Оксана Константиновна – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Факультет биомедицинской инженерии, старший преподаватель кафедры биомедицинской инженерии; г. Киев, проспект Победы, 37 e-mail: o.biloshytska@kpi.ua.

Biloshytska Oksana – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Faculty of Biomedical Engineering, Senior Lecturer of department of Biomedical Engineering; Peremogy ave., 37, Kyiv; e-mail: o.biloshytska@kpi.ua.

УДК 656.615.078.111/.117

А. О. МУРАДЬЯН

МЕХАНІЗМ УЗГОДЖЕНОГО УПРАВЛІННЯ РЕГУЛЮВАННЯМ СТРОКІВ ДОСТАВЛЕННЯ ВАНТАЖІВ У ТРАНСПОРТНИЙ ВУЗОЛ

У статті досліджуються найбільш приваблива концепція розробки механізму оперативного регулювання строків доставлення вантажів, а також подавання рухомого складу у транспортні вузли.Механізм узгодження управління процесом перевалки вантажів в режимі оперативного регулювання цілком відповідає практично актуальним варіантам взаємодії суб'єктів транспортного вузла з логістичним оператором, що беруть участь в організації та здійсненні процесу обслуговування вантажів і рухомого складу в межах транспортних вузлів і на підходах до них.

Ключові слова: транспортний вузол, процес перевалки вантажів, транспортні засоби, стивідорна компанія, управління залізниць, вантажовласник, логістичний оператор.

В статье исследуются наиболее привлекательная концепция разработки механизма оперативного регулирования сроков доставки грузов, а также подачи подвижного состава в транспортные узлы.Механизм согласования управления процессом перевалки грузов в режиме оперативного регулирования полностью соответствует практически актуальным вариантам взаимодействия субъектов транспортного узла с логистическим оператором, участвующих в организации и осуществлении процесса обслуживания грузов и подвижного состава в пределах транспортных узлов и на подходах к ним.

Ключевые слова: транспортный узел, процесс перевалки грузов, транспортные средства, стивидорная компания, управление железных дорог, грузовладелец, логистический оператор.

In the article the most attractive concept of working out of the mechanism of operational regulation of terms of delivery of cargoes, and also feeding of rolling stock into transport nodes is investigated.The mechanism of management coordination of cargo handling process in the mode of operational regulation fully corresponds to virtually actual variants of interaction between the entities of the transport hub with the logistics operator involved in the organization and implementation of the process of servicing freight and rolling stock within the transport nodes and approaches to them.

It was found that the proposed approach should be realized in two stages: first it is necessary to coordinate cargo transshipment process parameters, and then ensure optimal implementation of this process.The provisions set forth in the paper have theoretical significance since they are characterized by scientific novelty and are useful in practical terms as they improve operation efficiency both of transport hubs, and their customers.

Keywords: transport hub, process of cargo handling, vehicles, stevedoring company, railways management, cargo owner, logistics operator.

Вступ. З концепції системного підходу до управління випливає, що у випадку транспортних процесів всі їх стадії, етапи і «стики» суміжних видів транспорту повинні бути взаємопов'язані по всьому логістичному ланцюгу доставлення вантажів. У додатку до процесу перевалки вантажів (ППВ) ця вимога реалізується шляхом оперативного планування і регулювання строків прибуття у транспортний вузел (ТВ) рухомого складу суміжних видів транспорту [1-5]. Покажемо, що адекватну цій ситуації задачу при формулюванні її в ринковій постановці слід розглядати як безкоаліційну гру з непротилежними інтересами.

Постановка проблеми. Для додання конкретності міркуванням слід розглядати задачу, прийнявши в якості транспортних засобів (ТРЗ) залізничні вагони, що прямують у ТВ у завантаженому стані.

Досліджуємо задачу, вважаючи, що ТВ розглядається як система, що складається з двох підприємств – управління залізниць (УЗ) та стивідорна компанія (СК), що взаємодіють як між собою, так і з логістичним оператором (ЛОП) при оперативному регулюванні просування до ТВ залізничних вагонів. При цьому будемо вважати, що зміст регулювання руху вагонів полягає в забезпеченні узгоджених між ЛОП, УЗ і СК термінів подавання рухомого складу у ТВ під обслуговування (або з мінімальними відхиленнями від цих термінів) [6-9].

Умовимося вважати, що ЛОП наділений правом призначати бонуси (надбавки до тарифів) за відповідно транспортування і перевалку вантажів у вигідні для вантажовласника (ВНВ) терміни.

Зазначимо, що при такому підході до ринкового управління взаємовідносинами суб'єктів ТВ і ЛОП щодо здійснення процесу доставлення вантажів, вигода учасників цього процесу визначається наступним чином:

• для транспортних підприємств – у вигляді бонусів від ЛОП за збільшення обсягів обслуговуваних вантажів в узгоджені терміни;

• для ВНВ – як приріст прибутку за рахунок скорочення витрат завдяки збільшенню обсягів перевезень і виключення затримок проходження вантажів через ТВ;

• для ЛОП – у вигляді бонусу від ВНВ за зменшення транспортної складової їх витрат на доставлення вантажів.

Покажемо, що рішення сформульованої задачі може бути виконано у формі безкоаліційної гри з непротилежними інтересами, учасниками (гравцями) якої є ЛОП, УЗ і ТВ як носій інтересів функціонуючих у ньому транспортних підприємств. При цьому гра повинна здійснюватися за схемою покрокового регулювання процесу доставлення вантажів, коли на кожному кроці передбачається виконання наступних дій:

1. УЗ і СК повідомляють ЛОП за його запитом прогнозні строки здійснення процесу обслуговування вантажів та вагонів в зонах їх відповідальності;

2. ЛОП на основі цих даних визначає для кожного підприємства вигідні, з точки зору ВНВ, терміни виконання операцій обслуговування вантажів і вагонів;

3. УЗ і СК у разі згоди з пропозицією ЛОП реалізують «свої» етапи процесу доставлення вантажів, прагнучи до дотримання призначених термінів.

При цьому взаємодія між ЛОП і кожним його контрагентом за дуальною парою повинна здійснюватися в інтерактивному режимі з частотою, що визначається за погодженням між гравцями.

© А. О. Мурадьян. 2017

Логічно припустити, що стратегії транспортних підприємств як учасників (гравців) характеризуємої гри будуть ґрунтуватися на їх прагненні досягати максимально можливого виграшу (вигоди) у «своїх» зонах обслуговування вантажів і транспортни засобів особисто для себе. У той же час ЛОП буде переслідувати іншу мету, яка полягає в максимізації виграшу (вигоди) на користь ВНВ, тобто з процесу доставлення вантажів в цілому. В обох випадках вигоду гравців слід пов'язувати з приростом їх прибутку.

Звернемося до необхідних, для подальшого аналізу розглянутої задачі показників, і введемо для них умовні позначення.

Виробничі показники транспортних підприємств: i – індекс підприємства ($i = \overline{1,m}$); Π_i – виробнича потужність (провізна/пропускна здатність) i–го підприємства; Q_i– кількість вантажів, планованих до обслуговування i–м транспортним підприємством на етапах перевезення та перевалки; p_i – поточна оцінка виробничої потужності i–го підприємства.

Економічні показники процесу доставлення вантажів в цілому: α_i – тариф за обслуговування вантажів i–м транспортним підприємством; β_i – доплата до тарифу (бонус) за економію часу обслуговування вантажів i–м підприємством.

Відзначимо, що значення зазначених економічних показників можуть прийматися в якості усереднених величин, що, однак, не впливає на спільність обґрунтувань і висновків.

Виходячи з ігрової суті досліджуваної задачі, її можна сформулювати у вигляді бікритеріальної задачі оптимізації з наступними функціями виграшу ВНВ (F_0) татранспортних підприємств (F_i):

$$\min F_0 = \beta \sum_{i=1}^{m} \frac{Q_i^2}{2\Pi_i} \quad (1)$$

$$\max F_i \approx Q_i + \beta \frac{Q_i^2}{2\Pi_i} \quad i = \overline{1,m}. \quad (2)$$

Наведені цільові функції змістовно означають мінімізацію витрат вантажовласників (F_0), яка забезпечується завдяки активності ЛОП і максимізацію прибутку підприємств ТВ (F_i).

Підкреслимо, що при вирішенні даної задачі важливо враховувати необхідність суворого дотримання обмеження на допустиму величину скорочення терміну доставлення вантажів (T), зафіксованого у відповідності з принципом забезпечення доставлення вантажів «точно в строк»:

$$\frac{Q_1}{p_1} + \frac{Q_2}{p_2} + \ldots + \frac{Q_i}{p_i} + \ldots + \frac{Q_m}{p_m} = T. \quad (3)$$

Механізм управління процесом доставки вантажів на окремому етапі його здійснення реалізується наступним чином:

- транспортні підприємства повідомляють ЛОП оцінки p_i своєї виробничої потужності для розглянутого етапу, причому ці величини можуть задаватися деяким інтервалом $\left(\underline{p}_i \le p_i \le \overline{p_i} = \Pi_i\right)$;

- ЛОП, маючи вектор $p=(p_1, p_2, \ldots, p_i, \ldots, p_m)$, встановлює для транспортних підприємств показники $\{\alpha_i\}$ і плани $\{Q_i\}$, використовуючи певний закон $\{\psi_k(p), k = 0, 1, \ldots m\}$:

$$\alpha_i = \psi_0(p), \quad Q_i = \psi_i(p), \quad i = \overline{1,m}; \quad (4)$$

- ЛОП визначає транспортним підприємствам плату за виконуваний обсяг обслуговування вантажів та вагонів або їх виграш як учасників гри в розмірі F_i.

Для обґрунтування і моделювання стратегій поведінки транспортних підприємств в переговорах з ЛОП, необхідно попередньо встановити характер їх поведінки як учасників гри. Видається цілком ймовірним, що на кожному кроці взаємодії ЛОП з транспортними підприємствами можуть дотримуватися гіпотези про повну інформованість і раціональної (в сенсі відмови від маніпулювання) тактики гравців. За таким посиланням можна вважати, що транспортні підприємства як учасники гри віддадуть перевагу, по–перше, змінювати свої оцінки p_i, по–друге, робити це досить повільно і, по–третє, всі зміни зазначених оцінок приймати завжди в бік їх збільшення. У підсумку можна стверджувати, що ділова поведінка транспортних підприємств буде здійснюватися в індикативному режимі, в силу чого розглянуту задачу можна сформулювати наступним чином: визначити закон управління $\{\psi_k^{(0)}(p)\}$, для якого система «ЛОП – УЗ – СК» має стійку рівноважну точку, в якій управління цією системою є квазіоптимальним (внаслідок наближеного завдання оцінок p_i).

У припущенні про дотримання згаданої вище гіпотези правомірно вважати, що в досліджуваній системі оптимальним є наступний закон управління:

$$\psi_0^{(1)}(p) = \beta\gamma(\Pi), \quad \psi_i^{(1)}(\Pi) = \gamma(\Pi)\Pi_i, \quad i = \overline{1,m}, \quad (5)$$

де

$$\gamma(\Pi) = \frac{Q}{\sum_{i=1}^{m} \Pi_i}. \quad (6)$$

Для оцінки ступеня оптимальності закону (5) досить зіставити його наступні модифікації $\{\psi_\kappa^{(2)}\}$ та $\{\psi_\kappa^{(3)}\}$:

$$\psi_0^{(2)}(p) = \tilde{\alpha} = const, \quad \psi_i^{(2)}(p) = \gamma(p)\, p_i, \quad i = \overline{1,m}; \quad (7)$$

$$\psi_0^{(3)}(p) = \beta\gamma(p), \quad \psi_i^{(3)}(p) = \gamma(p)\, p_i, \quad i = \overline{1,m}, \quad (8)$$

сформовані шляхом заміни в (7) вектора виробничої потужності транспортних підприємств Π вектором її поточних оцінок p.

Як зазначається в [10], теоретичне дослідження законів виду $\{\psi_\kappa^{(2)}\}$ та

$\{\psi_\kappa^{(3)}\}$ приводить до наступних висновків:

- при законі $\{\psi_\kappa^{(2)}\}$ розглянута система не має стійкої рівноважної точки внаслідок великої похибки в оцінках поточних значень виробничої потужності транспортних підприємств;
- при законі $\{\psi_\kappa^{(3)}\}$ система має стійку рівноважну точку $p^* = (p_1^*; p_2^*, \ldots, p_i^*, \ldots, p_m^*)$;

- при досить великому $\boldsymbol{m}$ з високим ступенем точності

$$\boldsymbol{p^* = \Pi}. \quad (9)$$

І зіставлення (5), (7) та (8) випливає, що зако управління $\{\psi_k^{(3)}\}$ дозволяє отримати «майже оптимальне рішення розглянутої задачі в силу того, що у випадку дослідження процесу доставлення вантажів по мірі наближення до його завершення точність прогнозних оцінок $\boldsymbol{p_i}$ підвищується.

Висновки. Охарактеризований вище механізм узгодження управління ППВ в режимі оперативного регулювання цілком відповідає практично актуальним варіантам взаємодії суб'єктів ТВ з ЛОП (або з спільнотою експедиторських компаній), що беруть участь в організації та здійсненні процесу обслуговування вантажів і рухомого складу в межах транспортних вузлів і на підходах до них.

Формування методичних засад забезпечення реалізації узгодженого управління ППВ у ТВ повинно здійснюватися, як і у випадку досягнення згоди в управлінні цим процесом, з позицій системного підходу на модельно–передбачуваній основі, виходячи з вимоги дотримання взаємопов'язаності процесів перевезення та перевалки вантажів у зонах відповідальності контактуючих транспортних підприємств. Показано, що ця вимога може бути задоволена в максимально можливій мірі шляхом вирішення задачі, оперативного регулювання строків прибуття в транспортний вузол транспортних засобів з (за) вантажами. Цю задачу необхідно розглядати в ринковій постановці і інтерпретувати її в якості безкоаліційної гри з непротилежними інтересами, учасниками якої є УЗ, ПСК і ЛОП, які у взаємодії повинні прагнути до максимізації обсягів завезених у ТВ вантажів і/або вивезених вантажів із ТВ в попередньо узгоджені терміни, або при мінімальних відхиленнях від них. Встановлено, що при реалізації запропонованого ігрового підходу до управління взаємовідносинами суб'єктів транспортних підприємств і ЛОП, спрямованими на узгодження термінів прибуття транспортних засобів під обслуговування, вигода (виграш учасників гри у формальному сенсі) повинна визначатися у вигляді надбавок до тарифів за перевезення/перевалку вантажів відповідно для власників рухомого складу і ПСК і спеціального бонуса для ЛОП від ВНВ за прискорення термінів доставлення вантажів.

Список літератури:

1. *Прокофьева, Т. А.* Логистика транспротно-распределительных систем [Текст] / *Т. А. Прокофьева, О. М. Лопаткин.* – М.: Рконсульт, 2003. – 390 с.
2. *Правдин, Н. В.* Взаимодействие различных видов транспорта в узлах [Текст] / *Н. В. Правдин, В. Я. Негрей*. – Мн.: Высш. школа, 1983. – 247 с.
3. *Ritchey, T.* Scenario Development and Risk Management using Morphological Field Analysis [Text] / *T. Ritchey* // Proceedings of the 5th European Conference on Information Systems (Cork: Cork Publishing Company). – 1997. – Vol. 3. – P. 1053–1059.
4. Logistics Processes and Motorways of the Sea II – ENPI Contract No. 2011/264 459 [Electronic resource]. – Available at: http://www.traceca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/65ta/Master_Plan/MPA1.pdf
5. *Ботнарюк, М. В.* Организационно-экономический механизм повышения конкурентоспособности морских транспортных узлов на принципах маркетинга взаимодействия [Текст]: дис. ... д-ра экон. наук / *М. В. Ботнарюк*. – Пенза, 2015. – 299 с.
6. *Мурад'ян, А. О.* Методичні основи узгодженого управління процесом перевалки вантажів у загальнотранспортних вузлах [Текст]: дис. канд. техн. наук / *А. О. Мурад'ян*. – Одеса, 2016. – 166 с.
7. *Мурад'ян, А. О.* Моделювання та оптимізація процесу перевалки вантажів у загальнотранспортних вузлах [Текст] / *А. О. Мурад'ян* // Вісник Одеського національного морського університету. – 2014. – Вип. 3 (42). – С. 148–158.
8. *Мурадьян, А. О.* Оптимизация процесса перевалки грузов в общетранспортных узлах [Текст] / *А. О. Мурадьян* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2014. – Вип. 26 (1069). – С. 64–73.
9. *Клепиков, В. П.* Методология комплексного развития транспортных систем в проектах взаимодействия железнодорожного и морского транспорта [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / *В. П. Клепиков*. – М.: МГУПС (МИИТ), 2007. – 352 с.
10. *Бурков, В. Н.* Как управлять проектами [Текст] / *В. Н. Бурков, Д. А. Новиков*. – М.: Синтег-ГО, 1997. – 188 с.

Bibliography (transliterated):

1. Prokof'eva, T. A., Lopatkin, O. M. (2003). Logistika transprotno-raspredelitel'nyh sistem. Moscow: Rkonsul't, 390.
2. Pravdin, N. V., Negrey, V. Ya. (1983). Vzaimodeystvie razlichnyh vidov transporta v uzlah. Minsk: Vysshaya shkola, 247.
3. Ritchey, T. (1997). Scenario Development and Risk Management using Morphological Field Analysis. Proceedings of the 5th European Conference on Information Systems (Cork: Cork Publishing Company), 3, 1053–1059.
4. Logistics Processes and Motorways of the Sea II – ENPI Contract No. 2011/264 459. Available at: http://www.traceca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/65ta/Master_Plan/MPA1.pdf
5. Botnaryuk, M. V. (2015). Organizacionno-ekonomicheskiy mekhanizm povysheniya konkurentosposobnosti morskih transportnyh uzlov na principah marketinga vzaimodeystviya. Penza, 299.
6. Muradian, A. O. (2016). Metodychni osnovy uzghodzhenoho upravlinnia protsesom perevalky vantazhiv u zahalnotransportnykh vuzlakh. Odessa, 166.
7. Muradian, A. O. (2014). Modeliuvannia ta optymizatsiia protsesu perevalky vantazhiv u zahalnotransportnykh vuzlakh. Visnyk Odeskoho natsionalnoho morskoho universytetu, 3 (42), 148–158.
8. Muradyan, A. O. (2014). Optimizaciya processa perevalki gruzov v obshchetransportnyh uzlah. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI», 26 (1069), 64–73.
9. Klepikov, V. P. (2007). Metodologiya kompleksnogo razvitiya transportnyh sistem v proektah vzaimodeystviya zheleznodorozhnogo i morskogo transporta. Moscow: MGUPS (MIIT), 352.
10. Burkov, V. N., Novikov, D. A. (1997). Kak upravlyat' proektami. Moscow: Sinteg-GO, 188.

Поступила (received) 07.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Механізм узгодженого управління регулюванням строків доставлення вантажів у транспортний вузол/ Мурад'ян А. О. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.40–43. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Механизм согласованного управления регулированием сроков доставки грузов в транспортный узел/ Мурадьян А. О. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.40–43. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Modelling and optimization of cargo transfer process in transport hubs/ Muradian A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P. 40–43. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мурад'ян Арсен Олегович – кандидат технічних наук, Одеський національний морський університет, доцент кафедри "Експлуатація портів і технологія вантажних робіт"; вул. Мечнікова, 34, Одеса, Одеська область, 65000; e-mail: fhcty1@rambler.ru

Мурадьян Арсен Олегович – кандидат технических наук, Одесский национальный морской университет, доцент кафедры "Эксплуатация портов и технология грузовых работ ул. Мечникова, 34, Одесса, Одеская область, 65000; e-mail: fhcty1@rambler.ru

Arsen Muradian – candidate of technical sciences, Odessa National Maritime University; associate professor of the department « Port operation and cargo handling technology»; 34 Mechnikova, Odessa, 65000; e-mail: fhcty1@rambler.ru

УДК 621.375:621.396.62

Т. Д. ГУЦОЛ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНОГО ПРИ ЕГО ТЕРМОГРАФИРОВАНИИ

В статье рассматривается распределение собственных и возможных внешних электромагнитных полей в организме животного, что позволит в дальнейшем создать методику проведения электромагнитного картографирования его органов. Исследованы характеристики этих полей в органах цилиндрической и сферической формы. На основании полученных аналитических выражений проведен численный анализ, который показал возможность электромагнитного зондирования внутренних органов с возможными патологиями.

Ключевые слова: электромагнитное поле, информационное воздействие, математическая модель, термографирование, цилиндрическая и сферическая форма, коэффициенты рассеяния.

У статті розглядається розподіл власних і можливих зовнішніх електромагнітних полів в організмі тварини, що дозволить в подальшому створити методику проведення електромагнітного картографування його органів. Досліджено характеристики цих полів в органах циліндричної та сферичної форми. На підставі отриманих аналітичних виразів проведено чисельний аналіз, який показав можливість електромагнітного зондування внутрішніх органів з можливими патологіями.

Ключові слова: електромагнітне поле, інформаційний вплив, математична модель, термографування, циліндрична і сферична форма, коефіцієнти розсіювання.

The article deals with the distribution of its own and possible external electromagnetic fields in the animal's body, which will allow creating a method for conducting electromagnetic mapping of its organs in the future. The characteristics of these fields in bodies of cylindrical and spherical shape are investigated. The obtained analytical expressions allowed carrying out a numerical analysis, which showed the possibility of electromagnetic probing of internal organs with possible pathologies.

A numeral study of dispersion of the modulated electromagnetic vibrations is in-process undertaken on the considered objects of different form. Super high frequency demodulation of electromagnetic radiation was examined with single pulse string with frequency of the following 1 Hertzsand by duration 0,01 s. Frequency of the following ofiules changed on a sinewave law with frequency 10 Hertzs. Deviation of circular frequencies of spectral constituents from bearing is equal approximately 31,83 Hertz's. For evry case, someone bearing frequency most full characterizing what be going on into a bject processes is considered. It is necessary to mark that research of curves shows for the different spectral constituents of the modulated field, that they not always appearimir to each other in distribution on the radius of object, id est different spectral constituents can, obviously, to render the different affecting organism.

Keywords: electromagnetic field, information effect, mathematical model, thermography, cylindrical and spherical shape, scattering coefficients.

Введение. Одним из перспективных направлений развития новых ветеринарных технологий, привлекающих внимание в последнее время, является использование собственных и внешних электромагнитных излучений сверхвысоких частот в организме животного для проведения его термографирования с целью определения возможных патологий. Следует при этом отметить, что во многих существующих работах отсутствует разработка методологических принципов изучения влияния специфических электромагнитных полей на биологические объекты; недостаточно изучается вопрос создания математических моделей, способных дать аналитическое описание происходящих при этом процессов; отсутствует достоверная методика расчета температурных полей; нет достоверных подходов в изучении нетеплового (информационного) воздействия электромагнитного излучения на организм животного; нет методологии определения численных значений биотропных параметров, способных вызвать

оптимальный (в соответствии с выбранными критериями) отклик биологических объектов.

Литературный обзор. В связи с широким распространением разнообразных электромагнитных и информационных технологий, во всех странах мира большой интерес исследователей привлекает необхо-

© Т. Д. Гуцол.2017

димость моделирования распределения этих полей в биологических объектах живой природы. Поскольку электромагнитные излучения могут оказывать существенное влияние на организм, как человека, животных, так и растения, возникла необходимость рассчитывать эти поля теоретически. Такие исследования позволяют не только предотвратить негативные последствия облучения, но и использовать эти поля в профилактических и лечебных целях.

Существует достаточно большой спектр публикаций по данному вопросу. В них рассматриваются и вопросы угнетения болезнетворных микробов, и вопросы лечения различных заболеваний человека и животных, и вопросы стимулирования развития растений, и вопросы диагностирования заболеваний [1–4]. Однако большинство этих публикаций посвящено экспериментальному исследованию вопроса и не дают ответа на вопрос, как теоретически смоделировать происходящие процессы [5, 6].

Объект, цель и задачи исследований. Объектом исследования является организм животного, в котором существует электромагнитное поле.

Целью работы является определение напряженности и других биотропных параметров электромагнитных полей в разных точках организма в зависимости от их свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Вычислить коэффициенты отражения и прохождения электромагнитных полей в биологических объектах разной формы.

2. Связать эти коэффициенты с электрофизическими характеристиками этих объектов.

Решение уравнений, описывающих внутренние электромагнитные поля в биологических объектах. В работе предлагается методика расчета собственных или внешних электромагнитных полей в биологических объектах различной формы, как с однородной, так и неоднородной структурой, что должно явиться основой при выборе частотных параметров ветеринарной аппаратуры, позволяющей проводить картографирование организма животного посредством СВЧ излучения.

При этом найдено решение для наиболее сложного случая, когда длина электромагнитной волны сравнима с размерами облучаемого объекта. С этой целью использовались уравнения Максвелла в дифференциальной форме [7, 8].

Биологические объекты, имеющие форму цилиндра, рассматривались однородными по длине, но неоднородными по радиусу, исходя из реальной физиологической структуры некоторых органов животного. В этом случае дифференциальные уравнения, описывающие внутренние поля, содержат нелинейность, что значительно усложняет их решение. Предложен метод решения указанных уравнений, основанный на описании функциональной зависимости диэлектрической проницаемости от радиуса объекта с помощью многочлена четырнадцатой степени. В частности, коэффициент проникновения a_n электрической составляющей электромагнитного поля внутрь органов животного, имеющих форму цилиндра, равен:

$$a_n = \frac{i^n E_0 k_1 \left[J_n(k_1 R) H_n^{(2)\prime}(k_1 R) - J_n'(k_1 R) H_n^{(2)}(k_1 R) \right]}{k_1 E_{zn} H_n^{(2)\prime}(k_1 R) - k E_{zn}' H_n^{(2)}(k_1 R)}, \quad (3)$$

где $i = \sqrt{-1}$; E_0 – амплитуда электрической составляющей падающего поля; k_1 – волновое число, характеризующее внешнюю по отношению к рассеивателю среду; R – радиус поперечного сечения цилиндрического объекта; $J_n(k_1 R)$; $H_n^{(2)}(k_1 R)$ – функции Бесселя первого рода и Ханкеля второго рода, соответственно; E_{zn} – решение уравнения:

$$\frac{d^2 E_{zn}}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dE_{zn}}{dr} + \left(k^2 - \frac{n^2}{r^2} \right) E_{zn} = 0,$$

где волновое число k, характеризующее среду рассеивателя, является переменной величиной.

В случае биологических объектов, имеющих форму сферы, непостоянство диэлектрической проницаемости тканей по радиусу также значительно усложняет задачу определения внутренних электромагнитных полей.

В работе использован метод поперечных сечений, позволяющий линеаризовать дифференциальные уравнения и, в конечном итоге, определить амплитуды внутренних составляющих электромагнитного поля при вышеуказанных условиях. Коэффициенты проникновения для электрической и магнитной составляющих в этом случае имеют вид:

где ω – круговая частота падающего электромагнит-

$$a_{11} = -i E_0 \sqrt{6\pi k k_1}\, \omega \mu_0 \left(J_{\frac{1}{2}}(k_1 R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) - H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) \right) \times$$
$$\times \left\{ k_1 J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) - k H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) J_{\frac{1}{2}}(k R) + \right. \quad (1)$$
$$\left. + \frac{3}{2\sqrt{R^3}} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_1} \right) \right\}^{-1}$$

и

$$b_{11} = -i E_0 \omega \sqrt{\frac{6\pi R k}{k_1}} \left[J_{\frac{1}{2}}(k_1 R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) - H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) J_{\frac{3}{2}}(k_1 R) \right] \times$$
$$\times \left\{ \frac{1}{2\sqrt{R}} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) \left(\frac{1}{\varepsilon} - \frac{1}{\varepsilon_1} \right) + \sqrt{R} \left[\frac{k}{\varepsilon} J_{\frac{1}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) - \right. \right. \quad (2)$$
$$\left. \left. - \frac{k_1}{\varepsilon_1} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{1}{2}}^{(1)}(k_1 R) \right] + \frac{3}{2R} J_{\frac{3}{2}}(k R) H_{\frac{3}{2}}^{(1)}(k_1 R) \left(\frac{1}{k_1 \varepsilon_1} - \frac{1}{k \varepsilon} \right) \right\}^{-1}$$

ного поля; ε и ε_1 – диэлектрические проницаемости тканей организма животного и окружающей их среды, соответственно; остальные обозначения имеют тот же смысл, что и в случае цилиндрического рассеивателя.

Исследования показали, что для описания внутренних полей в органах животного, как цилиндрической, так и сферической формы, можно ограничиться, в основном, амплитудой нулевой гармоники, для которой определено ее значение.

На основании полученных выражений проведен численный расчет внутренних полей в органах животного различной формы с учетом их физиологической структуры при разных частотах падающего электромагнитного поля. Анализ полученных результатов показал, что:

– для биологических объектов с низким содержанием воды, соответствующих однородному цилиндру (кости ног), при частоте 400 МГц амплитуда электрического поля внутри биообъекта монотонно убывает от центра к его поверхности, а магнитного – наоборот возрастает. На частоте 1 ГГц уже наблюдаются резонансные явления. Дальнейшее увеличение частоты падающего поля до 3 ГГц сдвигает максимумы амплитуды внутреннего электрического поля от стенки цилиндра к оси, а затем и к появлению новых максимумов, то есть к все большему числу полуволн, укладывающихся на радиусе цилиндра;

– результаты, полученные для однородного биологического цилиндра с высоким содержанием воды аналогичны вышеописанным, однако высокое содержание воды приводит к повышению диэлектрической проницаемости и, как следствие, к возникновению резонанса на более низких частотах и к повышению потерь внутри биологического объекта. Действительно, появление первого резонанса происходит на частоте 400 МГц;

– для однородной биологической сферы с низким содержанием воды первые резонансы появляются на частоте 1 ГГц. На основании вышесказанного установлено, что органы животного, имеющие форму сферы, обладает более высокими резонансными частотами, чем органы с формой цилиндра;

– в биологической сфере с высоким содержанием воды на частоте 400 МГц появляются признаки резонансов всех составляющих внутреннего поля. Увеличение частоты до 1 ГГц вызывает рост числа резонансных пиков. На частоте 3 ГГц проявляется значительный эффект затухания внутри биообъекта у тангенциальной составляющей электрического поля, в то время как его радиальная составляющая в центре сферы и на ее поверхности имеет практически одинаковую величину, уменьшаясь в десять раз между этими крайними точками;

– ткани в сечении средины туловища животного, лежащие в направлении спины, характеризуются низким содержанием воды, а лежащие в сторону живота – высоким [9, 10].

В работе проведено численное исследование рассеяния модулированных электромагнитных колебаний на рассмотренных выше объектах. Рассматривалась модуляция СВЧ поля последовательностью единичных импульсов с частотой следования 1 Гц и длительностью 0,01 с. Частота следования импульсов менялась по синусоидальному закону с частотой 10 Гц. Отклонение круговых частот спектральных составляющих от несущей равно примерно $\pm 31{,}83$ Гц. Для каждого случая рассмотрена какая-то одна несущая частота, наиболее полно характеризующая происходящие внутри биообъекта процессы. Необходимо отметить, что исследование кривых для различных спектральных составляющих модулированного поля показывает, что они не всегда оказываются подобными друг другу в распределении по радиусу объекта, то есть различные спектральные составляющие могут, очевидно, оказывать различное воздействие на организм животного.

Выводы. В заключение следует отметить, что теоретическими исследованиями, проведенными в данной работе, доказана принципиальная возможность концентрации энергии электромагнитного поля в наперед заданной структуре биологического объекта в зависимости от частоты падающего поля. Этот результат позволяет определять частотные характеристики конструируемой ветеринарной аппаратуры, которая сможет воздействовать на заранее выбранные области организма животного с учетом спектрального состава облучающего сигнала.

Список литературы:

1. *Бецкий, О. В.* Лечение электромагнитными полями [Текст] / *О. В. Бецкий, Н. Д. Девятков, Н. Н. Лебедева* // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2000. – № 7. – С. 3–9.
2. *Kovacic, P.* Electromagnetic fields: mechanism, cell signaling, other bioprocesses, toxicity, radicals, antioxidants and beneficial effects [Text] / *P. Kovacic, R. Somanathan* // Journal of Receptors and Signal Transduction. – 2010. – Vol. 30, Issue 4. P. 214–226. doi: 10.3109/10799893.2010.488650
3. *Kesari, K. K.* Pathophysiology of Microwave Radiation: Effect on Rat Brain [Text] / *K. K. Kesari, S. Kumar, J. Behari* // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2011. – Vol. 166, Issue 2. – P. 379–388. doi: 10.1007/s12010-011-9433-6
4. *Григорьев, Ю. Г.* Новые данные для доказательств наличия значимых эффектов при хроническом электромагнитном облучении (к аутоиммунным изменениям у крыс) [Текст] / *Ю. Г. Григорьев, А. В. Шафиркин, А. М. Носовский* // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2011. – Т. 51, № 6. – С. 721–730.
5. *Кудряшов, Ю. Б.* Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения [Текст]: учеб. / *Ю. Б. Кудряшов, Ю. Ф Перов, А. Б. Рубин*. – М.: Физматлит, 2008. – 184 с.
6. *Бецкий, О. В.* Миллиметровые волны и живые системы [Текст] / *О. В. Бецкий, В. В. Кислов, Н.Н. Лебедева*. – М.: Сайнс-пресс, 2004. – 272 с.
7. *Зоммерфельд, А.* Электродинамика [Текст] / *А. Зоммерфельд*. – М.: Иностранная литература, 1958. – 657 с.
8. *Никольский, В. В.* Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / *В. В. Никольский, Т. И. Никольская.* – М.: Либроком, 2012. – 544 с.
9. *Березовский, В. А.* Биофизические характеристики тканей человека [Текст] / *В. А. Березовский, Н. Н. Колотилов.* – К.: Наукова думка, 1990. – 224 с.

10. *Ремизов, А. Н.* Медицинская и биологическая физика [Текст]: учеб. / *А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко*. – М.: Дрофа, 2003. – 560 с.

Bibliography (transliterated):

1. Betskiy, O. V., Devyatkov, N. D., Lebedeva, N. N. (2000). Lechenie elektromagnitnymi polyami [Treatment with electromagnetic fields]. Biomedical radio electronics, 7, 3–9.
2. Kovacic, P., Somanathan, R. (2010). Electromagnetic fields: mechanism, cell signaling, other bioprocesses, toxicity, radicals, antioxidants and beneficial effects. Journal of Receptors and Signal Transduction, 30 (4), 214–226. doi: 10.3109/10799893.2010.488650
3. Kesari, K. K., Kumar, S., Behari, J. (2011). Pathophysiology of Microwave Radiation: Effect on Rat Brain. Applied Biochemistry and Biotechnology, 166 (2), 379–388. doi: 10.1007/s12010-011-9433-6
4. Grigorev, Y. G., Shafirkin, A. V., Nosovskiy, A. M. (2011). Novye dannye dlya dokazatelstv nalichiya znachimykh effektov pri khronicheskom elektromagnitnom obluchenii (k autoimmunnym izmeneniyam u krys) [New data for evidence of significant effects in chronic electromagnetic radiation (to autoimmune changes in rats)]. Radiation Biology. Radioecology, 51 (6), 72–73.
5. Kudryashov, Yu. B., Perov, Yu. F., Rubin, A. B. (2008). Radiatsionnaya biofizika: radiochastotnye i mikrovolnovye elektromagnitnye izlucheniya [Radiation Biophysics: Radio Frequency and Microwave Electromagnetic Radiation]. Moscow: Fizmatlit, 184.
6. Betskiy, O. V., Kislov, V. V., Lebedeva, N. N. (2004). Millimetrovye volny i zhivye sistemy [Millimeter waves and living systems]. Moscow: Sayns-press, 272.
7. Zommerfeld, A. (1958). Elektrodinamika [Electrodynamics]. Moscow: Inostrannaya literatura, 657.
8. Nikolskiy, V. V., Nikolskaya, T. I. (2012). Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln [Electrodynamics and propagation of radio waves]. Moscow: Librokom, 544.
9. Berezovskiy, V. A., Kolotilov, N. N. (1990). Biofizicheskie kharakteristiki tkaney cheloveka [Biophysical characteristics of human tissues]. Kyiv: Naukova dumka, 224.
10. Remizov, A. N., Maksina, A. G., Potapenko, A. Ya. (2003). Meditsinskaya i biologicheskaya fizika [Medical and Biological Physics]. Moscow: Drofa, 560.

Поступила (received) 16.09.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделювання електромагнітних полів в організмі тварини при його термографу ванні/ Гуцол Т. Д. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.43–46. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Моделирование электромагнитных полей в организме животного при его термографировании/ Гуцол Т. Д. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.43–46. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Modeling of the electromagnetic fields in the animal organism at its thermography/ Hutsol T. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.43–46. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гуцол Тарас Дмитрович – кандидат технических наук, доцент, Подольский государственный аграрно-технический университет, ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., Украина, 32300, e-mail: tte.nniekt@ukr.net.

Гуцол Тарас Дмитриевич – кандидат технічних наук, доцент, Подольський державний аграрно-технічний університет, вул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольський, Хмельницька обл., Україна, 32300, e-mail: tte.nniekt@ukr.net.

Hutsol Taras – PhD, associate professor, Podolsky state agrarian and technical university, st. Shevchenko, 13, Kamyanets-Podolsky, Khmelnytsky region, Ukraine, 32300, e-mail: tte.nniekt@ukr.net.

УДК 658.7:656.2

Е. С. АЛЕШИНСКИЙ, В. В. МЕЩЕРЯКОВ, А. В. БОНДАРЕНКО

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ

Розглянуто підходи до функціонування систем транспортної логістики та управління запасами. Приведені деякі етапи формування системи управління запасами. Для підвищення рівня обслуговування систем, де одним з найбільш проблемних місць є низький рівень управління та відсутність міцних зв'язків, використовуються параметри логістики запасів, на які впливають транспортно-складські процеси. Використані параметри надійності перевізників, доступність необхідного кількості рухомого складу в регіоні, функціональний цикл виконання замовлення при заповненні запасів.

Ключові слова: інтеграція логістичних процесів, система запасів, логістичне управління, надійність перевізника, доступність рухомого складу.

Рассмотрены подходы к функционированию систем транспортной логистики и управления запасами. Приведены некоторые этапы формирования системы управления запасами. Для повышения уровня обслуживания систем, где одним из наиболее проблемных мест является низкий уровень управления и отсутствие прочных связей, использованы параметры логистики запасов, на которые оказывают влияние транспортно-складские процессы. Использованы параметры надежности перевозчиков, доступности необходимого количества подвижного состава в регионе, функциональный цикл выполнения заказа при пополнении запасов.

Ключевые слова: интеграция логистических процессов, система запасов, логистическое управление, надежность перевозчика, доступность подвижного состава.

The object of the research is the process of cooperation between the transport system and the inventory management system. One of the most problematic places of the research object is the low level of management and the lack of strong links between logistics systems, in particular: the lack of permanent transport company, ineffective distribution of own vehicles, and low reliability of transport.

For determining the locations of mutual integration of processes next scientific methods are used: classification of risks, theory of reliability, analysis of kinds and consequences of refuses, probability and queuing, system theory. During integration of processes of transport logistic in the system of purchases used: theory of making decision, theory of decision of inventor tasks, theory of optimization.

Identified points of mutual integration of processes the parameters of calculation - time of implementation and size of order became that are determined. These parameters are chosen by reason of account of time and expenses on transporting at their calculation. Through the terms of reliability and availability the technological process of work of transport is partly integrated. The relationship between some elements of systems is defined, such as the relationship between the point of order and availability, between the order size and reliability. We have the example shows that the cost of freight to carry 30,000 UAH. advantageous to use option 1, since this option has the lowest cost (23 760 UAH.), despite the high cost, and empty runs. Further possibilities of the use of similar syntheses are educed: methods of increase of cooperation of the systems, use of mutual advantages.

Keywords: integration of logistic processes, system of supplies, logistic management, reliability of transport company, availability of vehicle.

Введение. Сегодня свыше 95 % времени оборота товаров приходится на логистические операции. Проведенные в Великобритании исследования показали, что в стоимости продукта, попавшего к конечному потребителю, более 70 % составляют расходы, связанные с хранением, транспортировкой, упаковкой и другими операциями, обеспечивающими продвижение материального потока. Высокая доля расходов на логистику в конечной цене товара показывает, какие резервы улучшения экономических показателей субъектов хозяйствования содержит оптимизация управления материальными потоками [1].

Экономический эффект от применения логистики возникает также от снижения транспортных расходов. Оптимизируются маршруты движения транспорта, согласовуются графики, сокращаются холостые пробеги, улучшаются другие показатели использования транспорта. Применение однотипных средств механизации, одинаковой тары, использование аналогичных технологических приемов грузопереработки во всех звеньях логистической цепи образуют следующую составляющую экономического эффекта от применения логистики – сокращение затрат ручного труда и соответствующих расходов на операции с грузом [2].

Логистическое управление представляет собой разработку и внедрение комплекса решений для улучшения продвижения материального потока и ориентированного на минимизацию затрат и оптимизацию времени движения материального потока во всей логистической цепи. Так, применительно к транспортно-складским операциям существенную роль играет снижение затрат на транспортировку и хранение, повышение уровня надежности перевозчика и склада, увеличение оборачиваемости транспортно-складского комплекса, способность реагировать на изменения спроса услуг и т. д.

Существенную роль в логистическом управлении составляет интеграция и взаимодействие логистических процессов, которые повысят уровень надежности и функциональности системы. В частности, для повышения уровня управления возможно применение логистики запасов и закупок в сочетании с транспортной логистикой. Несмотря на то, что запасы – это затраты, их отсутствие приводит к еще большим потерям вследствие дефицита, колебания спроса и цены, а также ряда других факторов. В связи с этим актуальной проблемой становится уменьшение затрат на управление запасами и повышения уровня взаимодействия систем.

Объект исследования и его технологический аудит. Принимая решение о создании какого-либо вида запасов, предприятие основывается на глубоком сравнительном анализе создании запасов и их отсутствии. В большинстве случаев запасы создаются на стыке логистических систем разных уровней и направленностей, к примеру между производственной и дистрибуционной системой и т. д. Либо же внутри системы – внутрипроизводственные запасы, перемещение внутри кампании, запасы дистрибьютора и т. д.

© Е. С. Алешинский, В. В. Мещеряков, А. В. Бондаренко. 2017

В данном случае объектом исследования является процесс взаимодействия транспортной системы и системы управления запасами. Предмет исследования – повышение эффективности выполнения операций, в которые интегрированы процессы транспортной логистики.

Система управления запасами – это комплекс мероприятий по созданию и пополнению запасов, организации непрерывного контроля и оперативного планирования поставок.

Главный механизм системы управления запасами, который необходимо внедрить в работу всех элементов, состоит в реализации принципа обратной связи. Суть этого принципа заключается в том, что если руководящее звено системы оказывает управляющее воздействие на ее рабочий элемент, то в системе должна существовать «обратная связь». Данная связь обеспечивает поступление данных о новом состоянии всей системы и оценивает результативность ее функционирования.

Транспортная логистика – это система по организации доставки, а именно по перемещению каких-либо материальных предметов и товаров из одной точки в другую по оптимальному маршруту. Одно из основополагающих направлений науки об управлении информационными и материальными потоками в процессе движения товаров.

Оптимальным считается маршрут, по которому возможно доставить логистический объект в кратчайшие сроки (или предусмотренные сроки) с минимальными затратами, а также с минимальными рисками для объекта доставки.

Рисками считается наступление негативного воздействия на логистический объект под влиянием различных факторов.

Одним из наиболее проблемных мест является низкий уровень управления и отсутствие прочных связей между логистическими системами, в частности: отсутствие постоянных перевозчиков, малоэффективное распределение собственных транспортных средств, низкая надежность транспорта.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – внедрения доступных логистических процессов на транспорте для повышения уровня управления систем и уменьшения стоимости содержания запасов, в том числе и транспортных.

Для реализации цели ставятся следующие задачи:

-определение мест взаимной интеграции процессов.

-интеграция процессов транспортной логистики в систему закупок.

Исследование существующих решений проблемы. Система запасов будет управляема, если после воздействия на нее можно определить ее новое состояние, оценить его и с учетом полученных новых данных о системе, принять следующее корректирующее воздействие на нее [3].

На первом уровне системы размещаются модули складской программы и баз данных, в которых накапливаются сведения о движении товаров и работе с покупателями по отгрузке товаров [4].

Второй уровень системы состоит из различных моделей управления запасами, использующих необходимый математический аппарат для оценки текущего состояния запасов и разработки рекомендаций по их эффективному управлению [5].

На третьем уровне находится модель управления финансами и правила, которые позволяют контролировать финансовое состояние запасов. Здесь оценивается экономическая эффективность принимаемых правил по формированию запасов, определяются финансовые источники для их приобретения и общая финансовая стратегия управления запасами [6].

Таким образом, основу системы управления запасами составляют технологии анализа состояния запасов и внешней среды, а также правила принятия решений по формированию запасов [7].

Как правило, в управлении запасами и закупками используется ряд неизвестных, которые рассчитываются исходя из статистических данных, прогнозных значений с учетом особенностей предприятия. В процессе выполнения операций транспортною логистику и логистику запасов объединяет ряд параметров, и первый из них – суммарные затраты [8].

Обычно размер заказа определяется из условия минимизации суммарных затрат рассматриваемой системы управления запасами:

$$z = \sum_{i=1}^{n} (Cipr + Cipod + Cih + Cid), \qquad (1)$$

где z – суммарные затраты на приобретение всей партии товара; *Cipr* – затраты на приобретение единицы товара. Данные затраты применимы при наличии спроса на материальный ресурс, при условии его сбыта со склада; *Cipod* – затраты на подготовку заказа, грн. Это расходы, связанные с размещением заказа и проведение работ по транспортировке; *Cih* – затраты на хранение запасов, грн. Эти затраты представляют собой расходы на содержание запасов на складе (расходы на рабочую силу, арендную плату или налог на землю и недвижимость, отопление, освещение и т. п.); *Cid* – дефектура, грн. Применительно к транспортно-складскому комплексу данный параметр характеризует потери от невыполненных заявок в следствии дефицита материальных запасов и отсутствия транспорта.

Как видно из формулы (1) уже на первоначальном этапе расчетов от того на сколько эффективно работает транспортная логистика зависят затраты на подготовку и потери от дефицита.

Другим неизвестным параметром, влияющим на управление запасами и закупками, является точка заказа (D) – уровень складских остатков, когда должен быть размещен новый заказ на поставку для пополнения запасов [9]. Другими словами, это остаток на складе, который является достаточным для обеспечения бесперебойного производства до того момента, пока не проступит новая партия поставки [10]. Ввиду нежелания большинства организаций содержать страховые запасы, точка заказа определяется как

$$D = \sum_{i=1}^{n} \left(R_{pmax} \times F(t) \right), \qquad (2)$$

где R_{pmax} – максимальный объем расхода запасов, товара/день. R_{pmax} складывается из суммы среднего и

минимального объема расхода запасов на период; *F(t)* – функциональный цикл (дней) – время, через которое прибудет заказ, т. е. время доставки/

Особенностью данного расчета является параметр *F(t)*. Именно от этого параметра зависит, какой будет максимальный объем расхода запасов, следовательно на хранение которого потребуется дополнительные затраты, такие как: объем помещения и его содержание, увеличение штата, увеличение эксплуатационных затрат на хранение и т. д. Функциональный цикл, как правило, состоит из суммы нескольких компонентов:

1. Времени, необходимого для составления и подачи поставщику заказа на пополнение. Этот пункт включает в себя анализ запасов и спроса на материальные ценности, объем одной перевозки и т. д. Время, необходимое для проведения прогноза и составления плана, выбор поставщика и перевозчика.

2. Времени, необходимого поставщику для производства, упаковки и отгрузки товара. Применительно для транспорта включает в себя подачу необходимого количества подвижного состава, погрузку, оформление документов.

3. Времени транспортировки заказа от поставщика до склада – чистое время на перевозку.

4. Времени, необходимого для приемки заказа, распаковки и подготовки к использованию. Относительно транспорта, оно включает в себя подачу, выгрузку, оформление документов.

Таким образом, время выполнения заказа является показателем эффективности работы комплекса производственных, транспортных и складских мероприятий по выполнению заказа.

Как правило, комплекс производственных мероприятий является величиной постоянной, напрямую зависящий от мощностей и уровня производственной логистики, определяющих время и качество изготовления одной единицы заказа.

Комплекс транспортно-складских операций не представляет собой постоянную величину, зависящую от стоимости одной единицы ввиду различных условий, таких как:

– размер одной партии;
– количество рейсов;
– дальность перевозки;
– количество и виды транспорта;
– особенности перевозимого груза и пр.

При использовании логистического подхода показателями качества выполнения транспортно-складских операций является: надежность, функциональность и доступность.

В данном случае функциональность – это техническая возможность доставки одной партии заказа. Другими словами, параметр ограничивает выбор перевозчика через отсутствие у него необходимых средств или их количества в период времени [11–14].

Одним из многих способов определения надежности перевозчика является зависимость предполагаемого дохода от уменьшения цены из-за рисков:

$$N = \left((C - \Delta C)\cdot(Q - \Delta Q)\right)\cdot I_r - \\ -C_z \cdot Q - \left(R_{tr} + \Delta R\right) - \Delta R_{pr}, \quad (3)$$

где N – доход грузоотправителя, грн.; C – цена реализации груза, грн./т; ΔC – уменьшение цены реализации из-за потери времени и качества, грн.; Q – количество груза, т; ΔQ – уменьшение количества груза, т; I_r – стоимость потерянного, порченного груза, грн.; C_z – стоимость перевозки одной тонны груза железнодорожным транспортом, грн./т; R_{tr} – транспортные расходы на перевозку другими видами транспорта, грн.; ΔR – дополнительные затраты на транспортировку и хранение, грн.; ΔR_{pr} – штрафные санкции, грн.

Информацией для подобного расчета послужат статистические данные и отзывы о том или ином субъекте [15].

Методы исследований объекта. Для определения мест взаимной интеграции процессов использованы следующие научные методы: классификация рисков, теория надежности, анализ видов и последствий отказов, теория вероятности и системы массового обслуживания (СМО). При интеграции процессов транспортной логистики в систему закупок использованы: теория принятия решений, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), теория оптимизации.

Результаты исследований объекта. Как показывает статистический анализ, многие перевозчики хотят получить надбавку за перевозку для того, чтобы окупить порожний пробег, который образовался в процессе следования к месту погрузки. Или требуют больше плату ввиду неперспективного направления, где вероятность получить обратный груз ничтожно мала. Возможно, плата за перевозку слишком мала для загрузки полной партии, но подходит для перевозки частями. Учитываются и потери во времени следования к пункту погрузки, что повлечет за собой дополнительные затраты. В свою очередь, заказчик может предложить надбавку и ожидать определенное количество времени. Таким образом, подвижной состав должен находиться в определенном радиусе удаленности.

Другой особенностью является наличие подвижного состава, подходящего для перевозки. Так, подвижные единицы могут быть специализированы под перевозку определенного вида груза (зерновозы, цементовозы, минераловозы) или же быть предназначенными для перевозки разных типов грузов (крытые, тент, бортовые). В исключительных случаях подвижные единицы могут использоваться не по назначению, например, рефрижератор можно использовать как крытый. Для мониторинга вышеперечисленной информации необходим параметр, определяющий доступность как вероятность наличия нужного количества подвижных единиц в определенном радиусе от места загрузки в момент времени:

$$0 \le \sum C(P) \le C_м(P), \quad (4)$$

при $P \le P_{доп}$,

где $C(P)$ – затраты на транспортировку одной подвижной единицы, грн.; $C_м(P)$ – максимально допустимые затраты на транспортировку, грн.; P – время следования, час; $P_{доп}$ – допустимое время следования, час.

Приведенный в табл. 1 пример показывает, что для выполнения фрахта стоимостью 30000 грн. выгоднее использовать вариант 1, так как он имеет наименьшие затраты, несмотря на высокую себестоимость и порожний пробег. Менее выгодным по сравнению с остальными является вариант 2, несмотря на минимальный порожний пробег и среднее количество подвижных единиц.

Таблица 1 – Пример расчета доступности при постоянном количестве тонн и одинаковом объеме груза

№	Нужное количество единиц	Порожний пробег, км	Груженный пробег, км	Себестоимость 1 км пробега на 1 ед., C	Время порожнего пробега, P, час	Допустимое время порожнего пробега, $P_{доп}$, час	Стоимость фрахта, $C_м(P)$, грн.	Сумма затрат, $\sum C(P)$
1	3	80	800	9	2	2	25000	**23760**
2	5	20	800	7	0,5	2	30000	28700
3	12	70	800	2	3	2	40000	0
4	3	150	800	11	7	2	30000	0
5	8	40	800	4	2	2	27000	26880

Данный расчет показывает влияние затрат на перевозку вследствие отсутствия необходимого количества нужного подвижного состава. Как видно из варианта 3, при котором заказчик выставляет большую цену за тот же фрахт, но при этом необходимо задействовать больше подвижного состава. Таким образом, для повышения уровня обслуживания систем управления запасами используются процессы транспортной логистики:

$$F(t) = Tc + Tp + Ttr + Tic \to min,$$
$$\begin{cases} N \approx N_{max} \\ 0 \le \sum C(P) \le C_м(P), \\ C_{con} \to min \end{cases} \quad (5)$$

где $F(t)$ – функциональный цикл, дней; Tc – время, необходимое для составления заказа; Tp – время на производство и отгрузку; Ttr – время на транспортировку; Tic – время, необходимое для приема товара и подготовки к использованию; N, N_{max} – соответственно текущая и максимальная прибыль заказчика исходя из условий наступления риска при перевозке, грн.; $C(P)$ – затраты на транспортировку одной подвижной единицы, грн.; $C_м(P)$ – максимально допустимые затраты на транспортировку, грн.; C_{con} – сопутствующие затраты на логистику запасов, грн.

Исходя из данных табл. 2, наиболее выгодным вариантом выполнения заказа является вариант 3; из-за наименьших потер и затрат, наименее выгодным является вариант 1, из-за больших затрат на логистику запасов.

Таблица 2 – Определение наиболее выгодного функционального цикла выполнения заказа

№ варианта выполнения заказа	Параметры системы запасов					Параметры ТЛ			$F(t)$
	$Tc+Tp$	Tic	N_{max}	C_{con}	$C_м(P)$	Ttr	$\sum C(P)$	N	
1	3	1	70000	80000	10000	5	8000	60000	9
2	3	1	30000	60000	15000	7	12000	17000	11
3	3	1	50000	20000	7000	3	7000	43000	**7**
4	3	1	40000	10000	9000	8	8500	31000	12

Применение данных расчетов предоставляет возможность сопоставления двух разнопрофильных логистических систем. Одной из отличительных черт является сокращение затрат на закупку и хранение путем использования эффективной транспортной логистики.

SWOT-анализ результатов исследований. Strengths. К положительным сторонам исследования относятся повышение уровня взаимодействия логистических систем, уменьшение потерь, улучшение: точности прогнозирования, качества работы логистических систем, применение различных методов взаимодействия участников процесса, установление новых связей. Это все достигается за счет увеличения вариантности.

Weaknesses. К отрицательным сторонам исследования относятся увеличение уровня конкурентной борьбы, уменьшение вероятности сокрытия тайн, лишение монополии на перевозку, ослабевание долгосрочных связей. Данные отрицательные стороны возникают из-за отсутствия необходимых технических средств, наличия открытой базы данных перевозчиков и отправителей.

Opportunities. Перспективным является применение расчета к нахождению новых вариантов взаимодействия, создание статистической базы данных для исследований. Такие базы включают в себя определенный набор параметров, необходимых для расчета других критериев и устранения недостатков.

Threats. К угрозам относятся наличие зарубежных кампаний с большим опытом конкурентной борьбы и технологическая отсталость украинских перевозчиков, низкий уровень развития логистики.

Выводы.

1. Определены места взаимной интеграции процессов, которыми стали параметры расчета – время выполнения и размер заказа. Данные параметры выбраны по причине учета времени и затрат на транспортировку при их расчете.

2. При помощи условий надежности и доступности частично интегрирован технологический процесс работы транспорта. Определена взаимосвязь между некоторыми элементами систем, такими как зависимость между точкой заказа и доступностью, между размером заказа и надежностью. Выявлены дальнейшие возможности использования подобных синтезов: способы повышения взаимодействия систем, использование взаимных преимуществ.

Приведенный в табл. 1 пример показывает, что для выполнения фрахта стоимостью 30000 грн. выгоднее использовать вариант 1, так как этот вариант имеет наименьшие затраты (23760 грн.), несмотря на высокую себестоимость и порожний пробег. Исходя из данных табл. 2 – наиболее выгодным вариантом длительности выполнения заказа является вариант 3 (7 дней); из-за наименьших потер и затрат, наименее выгодным является вариант 1 (9 дней), из-за больших затрат на логистику запасов.

Список літератури:

1. Практическая взаимосвязь логистики и маркетинга [Электронный ресурс] // Элитариум. – Режим доступа: http://www.elitarium.ru/logistika-marketing-vzaimosvyaz-operaciya-process-zatraty-tovar-produkt-organizaciya-tovarodvizhenie/
2. *Алешинский, Е. С.* Повышение конкуретноспособности железнодорожного транспорта за счет создания транспортно-логистических кластеров [Текст] / *Е. С. Алешинский, В. В. Мещеряков, И. А. Лапушкин, Е. И. Рябовол* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5, № 3 (65). – С. 39–45. – Режим доступа: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18500/16295
3. *Kuei, C.-H.* Supply Chain – Logistics Management20021Bowersox, D.J., Closs, D.J. and Cooper, M.B.. Supply Chain – Logistics Management. Irwin/McGraw-Hill, 2002. 656 pp., ISBN: ISBN 0-07-235100-4 [Text] / *C.-H. Kuei* // International Journal of Quality & Reliability Management. – 2002. – Vol. 19, Issue 6. – P. 802–803. doi: 10.1108/ijqrm.2002.19.6.802.1
4. *Porter, M. E.* On Competition [Text] / *M. E. Porter*. – Harvard Business School Press, 1998. – 485 p.
5. *Hanne, T.* Introduction to Logistics and Supply Chain Management [Text] / *T. Hanne, R. Dornberger* // International Series in Operations Research & Management Science. – 2016. – P. 1–12. doi: 10.1007/978-3-319-40722-7_1
6. *Елова, И. А.* Формирование транспортно-логистической системы Республики Беларусь [Текст]: учеб.-метод. пособ. / *И. А. Елова, А. А. Овсюк, В. В. Ясинский*. – Гомель: Бел. ГУТ, 2007. – 155 с.
7. *Пантелеев, А. В.* Методы оптимизации в примерах и задачах [Текст] / *А. В. Пантелеев, Т. А. Летова*. – М.: Высшая школа, 2008. – 544 с.
8. *Крушевский, А. В.* Экономико-математические модели в планировании и управлении народным хозяйством [Текст] / *А. В. Крушевский, Е. В. Барков, А. Р. Поддубный.* – К.: Вища школа, 1973. – 310 с.
9. *Аникин, Б. А.* Логистика [Текст] / *Б. А. Аникин.* – М.: ИНФРА-М., 1997. – 327 с.
10. Эффективность логистического управления [Текст]: учеб. / под ред. *Л. Б. Миротина*. – М.: Экзамен, 2004. – 448 с.
11. *Наумов, В. С.* Распределение синергетического эффекта между субъектами рынка транспортных услуг [Текст] / *В. С. Наумов* // Транспортні системи та технології перевезень. – 2012. – Вип. 4. – С. 85–88.
12. *Бочарников, В. П.* Прогнозные коммерческие расчеты и анализ рисков [Текст] / *В. П. Бочарников*. – Киев, 2000. – 159 с.
13. Зарубежный опыт структурных реформ на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bestreferat.ru/referat-109381.html
14. Конкуретноспособная Украина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.feg.org.ua/indexes/
15. *Алешинский, Е. С.* Разработка методов для повышения показателей работы логистической цепи в пределах транспортно-логистического кластера [Текст] / *Е. С. Алешинский, В. В. Мещеряков, А. С. Руденко* // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – Т. 5, № 2 (31). – С. 48–52. doi: 10.15587/2312-8372.2016.80733

Bibliography (transliterated):

1. Praktycheskaia vzaymosviaz lohystyky y marketynha. Elytaryum. Available at: http://www.elitarium.ru/logistika-marketing-vzaimosvyaz-operaciya-process-zatraty-tovar-produkt-organizaciya-tovarodvizhenie/
2. Alechinsky, E., Meshcheryakov, V., Lapushkin, I., Riabovol, E. (2013). Increasing of rail transport competitiveness by forming transportation and logisticsclusters. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 5 (3 (65)), 39–45. Available at: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18500/16295
3. Kuei, C. (2002). Supply Chain – Logistics Management20021Bowersox, D.J., Closs, D.J. and Cooper, M.B.. Supply Chain – Logistics Management. Irwin/McGraw-Hill, 2002. 656 pp., ISBN: ISBN 0-07-235100-4. International Journal of Quality & Reliability Management, 19 (6), 802–803. doi: 10.1108/ijqrm.2002.19.6.802.1
4. Porter, M. E. (1998). On Competition. Harvard Business School Press, 485.
5. Hanne, T., Dornberger, R. (2016). Introduction to Logistics and Supply Chain Management. International Series in Operations Research & Management Science, 1–12. doi: 10.1007/978-3-319-40722-7_1
6. Elova, I. A., Ovsiuk, A. A., Yasinskii, V. V. (2007). Formirovanie transportno-logisticheskoi sistemy Respubliki Belarus. Gomel: Bel. GUT, 155.
7. Panteleev, A. V., Letova, T. A. (2008). Metody optimizatsii v primerah i zadachah. Moscow: Vysshaia shkola, 544.
8. Krushevskyi, A. V., Barkov, E. V., Poddubnyi, A. R. (1973). Ekonomiko-matematicheskie modeli v planirovanii i upravlenii narodnym hoziaistvom. Kyiv: Vishcha shkola, 310.
9. Anikin, B. A. (1997). Logistika. Moscow: INFRA-M, 327.
10. Mirotin, L. B. (Ed.) (2004). Effektivnost' logisticheskogo upravleniya. Moscow: Ekzamen, 448.
11. Naumov, V. S. (2012). Raspredelenie sinergeticheskogo effekta mezhdu subiektami rynka transportnyh uslug. Transportni systemy ta tekhnolohii perevezen, 4, 85–88.
12. Bocharnikov, V. P. (2000). Prognoznye kommercheskie raschety i analiz riskov. Kyiv, 159.
13. International experience of structural reforms in railway transport. Available at: http://www.bestreferat.ru/referat-109381.html
14. Competitive Ukraine. Available at: http://www.feg.org.ua/indexes/
15. Aleshinsky, E., Meshcheryakov, V., Rudenko, A. (2016). The development of methods to improve performance of the logistics chain within the transport and logistics cluster. Technology audit and production reserves, 5 (2 (31)), 48–52. doi: 10.15587/2312-8372.2016.80733

Поступила (received) 23.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Підвищення рівня обслуговування систем управління запасами шляхом інтеграції процесів транспортної логістики/ Альошинський Є. С., Мещеряков В. В., Бондаренко А.П. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).–

Р.47–52. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Повышение уровня обслуживания систем управления запасами путем интеграции процессов транспортной логистики/ Алешинский Е. С., Мещеряков В. В., Бондаренко А.П. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– Р.47–52. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Increasing service level of reserve management systems by integration of transport logistics processes/ Alechinsky E., Meshcheryakov V., Bondarenko A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– Р.47–52 . – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Альошинский Євгений Семенович – доктор технических наук, профессор, Кафедра транспортных систем и логистики, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61001; e-mail: aes-upp@mail.ru.

Мещеряков Василий Владимирович – аспирант, Кафедра транспортных систем и логистики, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61001; e-mail: vasyan98@ukr.net.

БондаренкоАнтон Павлович – оператор сортировочной горки станции Основа, Харьковская дирекция железнодорожных перевозок**,** улица Евгения Котляра, 7, г. Харьков, Украина, 61052;

Альошинський Євген Семенович – Доктор технічних наук, професор, Кафедра транспортних систем та логістики, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7 м. Харків, Україна, 61001; e-mail: aes-upp@mail.ru.

Мещеряков Василь Володимирович – Аспірант, Кафедра транспортних систем та логістики, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61001

Бондаренко Антон Павлович – оператор сортувальної гірки станції Основа, Харківська дирекція залізничних перевезень**,** вулиця Євгена Котляра, 7, м.Харків, Україна, 61052; e-mail: towa921@gmail.com

Alechinsky Evgeny – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Transport System and Logistic, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach sq., Kharkiv, Ukraine, 61001; e-mail: aes-upp@mail.ru.

Mescheryakov Vasyly – Postgraduate Student, Department of Transport System and Logistic, Ukrainian State University of Railway Transport, 7, Feuerbach sq., Kharkiv, Ukraine, 61001; e-mail: vasyan98@ukr.net.

Bondarenko Anton – Operator sorting hill station Osnova, Kharkov Railway Transportation Directorate, Street Eugenia Kotlyara, 7, Kharkov, Ukraine, 61052; e-mail: towa921@gmail.com

УДК 004.942:004.021

О. Л. СТАНОВСЬКИЙ, Ю. М. ХОМЯК, А. В. ТОРОПЕНКО, Є. О. НАУМЕНКО, О. І. ДАДЕРКО

УПРАВЛІННЯ НАПРУЖЕНІСТЮ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Показано, що рівнонапруженість систем, як стан, що забезпечує мінімальну вартість останніх, не може бути досягнений при звичайному проектуванні, оскільки внутрішні та зовнішні умови навантаження таких об’єктів цьому заважають. Розглянуто проблему створення смарт-систем, які за допомогою штучного інтелекту автоматично реагують на умови експлуатації та підлаштовуються під них, повертаючи при необхідності втрачену рівнонапруженість, а отже зберігають свою експлуатаційну надійність без нарощування зайвих витрат.

Ключові слова: смарт-системи, рівнонапруженість, мінімальна вартість, експлуатаційна надійність, штучний інтелект.

Показано, что равнонапряженность систем, как состояние, обеспечивающее минимальную стоимость последних, не может быть достигнуто при обычном проектировании, поскольку внутренние и внешние условия нагружения таких объектов этому препятствуют. Рассмотрена проблема создания смарт-систем, которые с помощью искусственного интеллекта автоматически реагируют на условия эксплуатации и подстраиваются под них, возвращая при необходимости утраченную равнонапряженность, а следовательно сохраняют свою эксплуатационную надежность без наращивания лишних затрат.

Ключевые слова: смарт-системы, равнонапряженность, минимальная стоимость, эксплуатационная надежность, искусственный интеллект.

It is shown that the equilibrium of systems, as a state, providing the minimum cost of the latter, cannot be achieved in conventional design, since the internal and external conditions of such objects loading do not prevent this.

A new notion of "uneven tension" as a numerical characteristic of the any complex object uneven resistance of the external environment influence was introduced, methods of its calculation were proposed, and the theorem on the coincidence of the minimum of uneven stress with the minimum cost of the object in the manufacture and operation.

The system "EQUTENS" (equal tension support) for artificial (with the help of expert decisions) or unauthorized (with the help of an intellectual attractor) of adaptation of the object's characteristics to turbulent external loading during its operation, which restores the object state, returning it as much as possible to equilibrium of individual elements, is proposed.

The problem of creation of smart systems, which with the help of artificial intelligence, automatically responds to the conditions of operation and adjusts to them, considering the lost voltage equilibrium if necessary, and therefore maintain their operational reliability without increasing the excess costs.

Keywords: smart systems, even tension, minimal cost, operational reliability, artificial intelligence.

© О. Л. Становський, Ю. М. Хомяк, А. В. Торопенко, є. О. Науменко, О. І. Дадерко. 2017

Вступ. Управління напруженістю елементів складних систем починається ще на етапі їхнього проектування і здійснюється в двох напрямках. По-перше, необхідно забезпечити такий стан елементів під час експлуатації системи, при якому в жодному з них напруженість не вийде за границю припустимих значень, – це проблема живучості системи в цілому. По-друге, необхідно забезпечити рівнонапруженість усіх елементів, і це вже, скоріше, техніко-економічна проблема.

Рівнонапруженість елементів систем – мета, до якої прагнуть проектувальники при створенні нових та корегуванні існуючих складних систем (механічних, електричних, комп'ютерних, тощо). Адже саме рівнонапруженість надає можливості зменшити без втрат працездатності витрати на систему в цілому: масу механічних конструкцій, потужність гідравлічних машин та апаратів, вартість компонентів комп'ютерних мереж, тощо. Відомо, що напруженість елементів систем «в роботі» є проявом двох основних чинників: внутрішньої будови та зовнішнього навантаження системи. Але, якщо внутрішня будова повністю «в руках» розробника, то зовнішні впливи на неї, як правило, неможливо передбачити повністю і заздалегідь. В цих умовах сам термін «рівнонапруженість» як характеристика системи втрачає сенс, – при одних навантаженнях деякий її елемент може бути рівнонапруженим відносно до будь-якого іншого, а при інших – вельми далеким від такого стану.

Рівнонапруженість систем на стадії завершення її проектування ще й стала характеристика, і взагалі невідомо, що залишиться від цієї рівнонапруженості, коли на перший план серед збурюючи чинників вийде час. Динамічна система може лише наближатися до рівнонапруженості, ніколи її не досягаючи.

Якщо до цих міркувань додати такі стохастичні фактори, як технологічні похибки виготовлення, нерівномірність (анізотропність) матеріалу деталей або розкид властивостей готових вузлів, тощо, то стає очевидним, що явище рівнонапруженості взагалі недосяжне при будь-якому, навіть отриманому за допомогою САПР, проекті. Таким чином, пошук методів та моделей, які дозволять якомога ближче наближатися до стану рівнонапруженості стає надзвичайно актуальним.

Для часткового розв'язання цієї проблеми в останній час з'явилися, наприклад, елементи машин, які автоматично змінюють своє розташування у просторі під впливом турбулентного зовнішнього навантаження. Але ці пристрої механічні, і область їхнього впливу на ситуацію в цілому дуже обмежена. Значно більш перспективними виглядають інтелектуальні комп'ютерні пристрої, – «розумні» системи з підтримкою технології обміну даними між машиною та середовищем, в якому остання працює, – так званий штучний інтелект.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми.Досягнення стану елементів систем, максимально наближеного до рівнонапруженості, може здійснюватися трьома шляхами:

– оптимізацією конструкції системи (конфігурації, архітектури, розмірів, властивостей елементів, матеріалів, тощо), забезпечуваною під час проектування [1–6];

– оптимізацією навантаження (місць прикладення, граничні значення кількості вантажів або запитів, обмеження руху, тощо), забезпечуваною під час планування (тобто, до початку) експлуатації [7–11];

– адаптацією під зовнішнє навантаження (зміни архітектури, просторової орієнтації, тощо), здійснюваною під час експлуатації [12–16].

Перший шлях застосовний в основному тоді, коли система статична: ані конструкції вузлів, ані навантаження на них суттєво не змінюються під час експлуатації машини або мережі, як це випливає з робіт [1, 3]. Прикладом таких об'єктів в механіці є судини, які працюють під тиском. Якщо рівнонапруженість забезпечується на етапі проектування для об'єктів, навантаження яких під час експлуатації може піддаватися значним коливанням (верстати, рухомі машини, системи масового обслуговування, будівельні споруди) [2, 4, 6], перший шлях застосовний лише із наданням об'єктам проектування значного запасу міцності, що нівелює головну перевагу рівнонапруженості – мінімальну вартість.

Другий шлях треба обирати, якщо заздалегідь можна скласти план роботи машини або мережі під навантаженням, і знайти відображення цього плану на їхню конструкцію. До опису таких об'єктів в механіці звертаються в роботах [7– 9] (багатошарові матеріали, ресори, тощо), а також при проектуванні корпусів колісної [11] та аеромобільної [10] техніки. Недоліки другого шляху проектування є продовженням недоліків першого: навіть в простих випадках неможливо на етапі проектування точно передбачити навантаження об'єкта під час експлуатації, а отже невідворотними будуть великі запаси міцності та потужності і, як наслідок, зайва вартість.

Третій шлях передбачає створення такого об'єкта, який під час експлуатації автоматично застосовує усі передбачені проектом внутрішні можливості для того, щоб запобігти надмірній концентрації напруження в будь-якій своїй частині. Прикладом такої конструкції із механічним «інтелектом» є поворотна підвіска балки моста колісної машини, описана в роботі [15]. Підвіска працює наступним чином. При русі транспортного засобу зусилля від балки моста передаються ресорі. У разі розгону або гальмування на шляху руху транспортного засобу балка від зовнішніх інерційних сил піддається дії моментів, що скручують. При повороті балки в сторону дії цих моментів додаткові напруження, що виникають в ній, зменшуються, що підтримує рівнонапруженість балки.

До адаптаційних методів можна також віднести проектування об'єкта за допомогою його віртуальної моделі, описане в роботах [12, 13], коли на проміжних етапах оптимізації рівнонапруженої конструкції моделі об'єкта виглядають як такі, що в реальному житті неможливі: деталь із матеріалу зі змінними механічними властивостями, одночасне прикладення різних

за значенням сил або запитів в одній точці, тощо.

Засоби комп'ютерного інтелекту використовуються для розв'язання більш складних задач адаптації навантаження до конструкції об'єкта (наприклад, при навантаженні платформи) [16], або, навпаки, конструкції до навантаження (шосе – автомобіль) [14]. В перелічених прикладах розв'язується ситуативне завдання проектування деякого конкретного об'єкта із передбачуваними майбутніми умовами експлуатації. Тільки в такому випадку відповідальна особа може піти на ризик створення рівнонапруженого облегшеного об'єкта. В інших випадках залишається підвищувати коефіцієнти запасу і працювати за підходом «напруження нерівномірні, але найбільше з них знаходиться в межах допуску» і, знову ж таки, як наслідок, підвищувати вартість об'єкта.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є зменшення вартості виготовлення та експлуатації складних систем на етапі їхнього проектування шляхом розробки та впровадження вдосконаленого методу підтримки рівнонапруженості елементів системи, який базується на принципах штучного інтелекту.

Для досягнення цієї мети в роботі були розв'язані наступні задачі:

– обґрунтовано поняття «нерівнонапруженість» в якості числової характеристики опору об'єкта впливу зовнішнього середовища, запропоновано метод його обчислення та доведено теорему про співпадіння мінімуму нерівнонапруженості із мінімумом вартості;

– розроблено систему штучного інтелекту для постійної адаптації характеристик об'єкта до турбулентного зовнішнього навантаження під час його експлуатації, яка відновлює стан об'єкта, максимально повертаючи його до рівнонапруженості окремих елементів.

«Нерівнонапруженість» як числова характеристика опору об'єкта впливу зовнішнього середовища. Якщо розглядати внутрішню напруженість деякого довільного об'єкта в якості опору впливу зовнішнього середовища, як це робиться, наприклад, в механіці, то поняття «нерівнонапруженість» (НРН) можна розповсюдити на будь-яку систему, яка такому впливу опирається [17]. Розглянемо деякий об'єкт оточуючого середовища як систему **Ω** (рис. 1) і виділимо в ній окремі малі елементи та зв'язки між ними, які дозволяють окреслити границі такого дискретного об'єкта та забезпечити його стан як єдиного цілого.

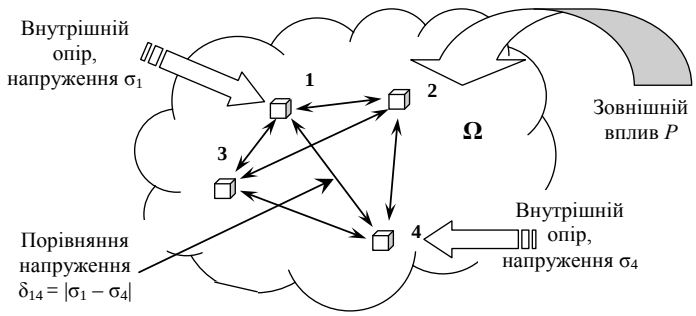


Рис. 1 – Схема до розрахунку НРН довільного об'єкта

Прикладом таких об'єктів можуть служити деякі окремі суцільні машинобудівні деталі (і тоді виділення елементів в них здійснюється умовно) [18] або початково дискретні мережеві конструкції, які розподіляються на елементи та зв'язки між ними природним шляхом.

При традиційному методі моделювання таких об'єктів зв'язками між умовними дискретними елементами завжди служить модель *передачі деякого ресурсу* (механічного навантаження, електричного струму, гідравлічного потоку, трафіку інформації, тощо). При цьому кожний зв'язок несе знання про вид ресурсу, інтенсивність та напрямок потоку, власні обмеження, тощо.

В нашому методі зв'язками між елементами системи є *різниця між напруженістю відповідних елементів* – тобто НРН об'єкта в цілому див. рис. 1. У випадку механічного навантаження на систему під «напруженістю» розуміли механічну напруженість в елементі (як правило – неоднорідну), у випадку комп'ютерної мережі мова може йти про завантаженість процесорів відповідних комп'ютерів, тощо.

Розрахунок НРН. Для розрахунку НРН дискретного об'єкта необхідно попарно порівняти напруженості усіх N елементів цього об'єкта, взяти їх по модулю та підсумувати:

$$\text{НРН} = \sum \left| \sigma_i - \sigma_j \right|, \qquad (1)$$

де i ; j – цілі числа; $1 \le i \le N$; $1 \le j \le N$.

Кількість таких різниць в (1) визначається з теорії комбінаторики:

$$K = N(N-1). \qquad (2)$$

Зрозуміло, що коли об'єкт нерівнонапружений, але при цьому в жодній своїй точці (елементі для дискретного об'єкта) напруження не перевищує максимально припустиме, частину «міцності» недонапружених елементів можна зменшити за рахунок видалення зайвої маси. Звідси використання панелей з отворами, труб замість суцільних прутків, овальних осей замість круглих, тощо.

Доведемо на прикладі механічної системи, що рівнонапруженість у всіх її точках відповідає мінімальному об'єму (масі) цієї системи. Хай при навантаженні вертикальних стрижнів власною вагою та поздовжньою силою P вони піддаються розтяганню (рис. 2) або стисканню (рис. 3).

Відомо, що умова рівнонапруженості таких стрижнів виконується, якщо площа їх поперечного перерізу змінюється за законом

$$F(z) = F_0 e^{\frac{\gamma z}{[\sigma]}}, \qquad (3)$$

де $F_0 = P/[\sigma]$ – мінімальний переріз стрижня в місці прикладення навантаження; γ – питома сила ваги; z – поточна координата; e – основа натуральних логарифмів. Така складна залежність для площ перерізів саме й забезпечує рівнонапруженість.

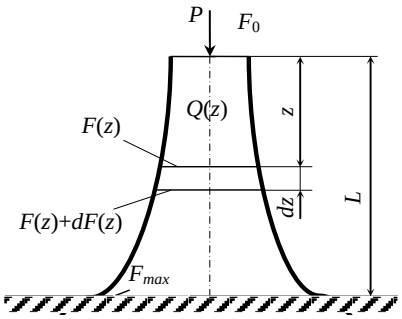


Рис. 2 – Стрижень рівного опору стисканню

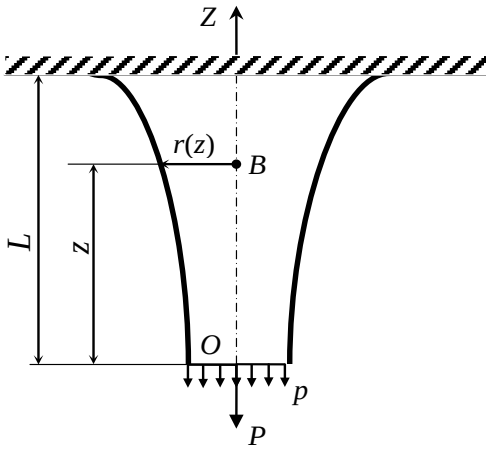


Рис. 3 – Стрижень рівного опору розтяганню

У стрижня рівного опору в кожному поперечному перерізі напруження однакові і дорівнюють допустимим, тобто виконується умова рівнонапруженості:

$$\sigma(z)=[\sigma]. \qquad (4)$$

Якщо до вільного кінця стрижня прикладене рівномірно розподілене навантаженням p з рівнодіючою P (див. рис. 3), то площа початкового перетину визначається з умови його рівнонапруженості $p = [\sigma]$ і дорівнює

$$F_0 = P/[\sigma] \ . \qquad (5)$$

Для визначеності будемо вважати, що всі перетини стрижня мають форму кола, тоді їх радіус

$$r(z) = \sqrt{F(z)/\pi} \ . \qquad (6)$$

Сила ваги ділянки стрижня довжиною z дорівнює

$$G(z) = \gamma V(z) = \gamma \int_0^z F(z)\,dz \ , \qquad (7)$$

де $V(z)$ – об'єм цієї ділянки:

$$V(z) = \frac{F_0}{\gamma}\left[\exp\left(\frac{\gamma z}{[\sigma]}\right)\right]. \qquad (8)$$

Теорему про співвідношення НРН та вартості доведемо методом «від противного» на прикладі співвідношення НРН та маси в механічній системі «стрижень» (див. рис. 3).

Теорема. Площа поперечного перерізу розтягнутого (стисненого) стрижня $F(z)$, що забезпечує рівнонапруженість у всіх точках стрижня, визначає одночасно й мінімальний об'єм (масу) цього стрижня.

Доведення. Припустимо, що можливе інше рішення цього завдання – існує ще один розподіл площі поперечних перерізів

$$F^*(z) = F(z) - f(z) \ , \qquad (9)$$

при якому також забезпечується рівнонапруженість при меншому об'ємі стрижня

$$V^*(L) < V(L) \ . \qquad (10)$$

Додаткова функція $f(z)$, яка визначає новий розподіл площ перетинів (9) повинна бути інтегрованою в усьому проміжку $[0, L]$ і набувати значень $f_0 \le f(x) \le f_1$. Тоді відповідно до теореми про середнє значення:

$$\int_0^L f(z)\,dz = \mu L \ , \qquad (11)$$

де

$$f_0 \le \mu \le f_1 \ . \qquad (12)$$

При прийнятому розподілі площ перетинів (9) сила ваги ділянки довільної довжини буде $G^*(z) = \gamma\left(\int_0^z F\,dz - \int_0^z f\,dz\right)$, а напруження в поперечних перетинах для забезпечення рівноміцності повинні задовольняти умові (4), тобто:

$$\sigma(z) = \frac{G^*(z)}{F^*(z)} = \gamma \frac{F_0 \int \exp\left(\frac{\gamma z}{[\sigma]}\right) dz - \int f(z)\,dz}{F_0 \exp\left(\frac{\gamma z}{[\sigma]}\right) - f(z)} = [\sigma] \ . \qquad (13)$$

Звідси випливає залежність, якій повинна задовольняти додаткова функція

$$f(z) = \frac{\gamma}{[\sigma]} \int f(z)\,dz \ . \qquad (14)$$

При передбачуваному розподілі площ перетинів (9) об'єм стрижня довжиною L буде

$$V^*(z)\big|_{z=L} = \left(\int F(z)\,dz - \int f(z)\,dz\right)\Big|_{z=L} = V(L) - \mu L \ . \qquad (15)$$

Параметр μ може приймати нульове, позитивні або негативні значення. Очевидно, при $\mu = 0$ об'єм буде дорівнює початковому, $V^*(L) = V(L)$.

При $\mu > 0$ матимемо $V^*(L) > V(L)$ – скоригований об'єм буде більше вихідного.

При $\mu < 0$ з умови міцності отримаємо обмеження

$$\int f(x)\,dx \le \frac{[\sigma]}{\gamma} f(z) \ , \qquad (16)$$

напруження будуть менші за допустимі і рівнонапруженості не буде. Умова (4) буде виконуватися при $f(z) \equiv 0$, тобто якщо $F^*(z) = F(z)$.

Умова (16) може також виконуватись, якщо додаткова функція має вигляд

$$f(z) = f_0 \exp\left(\frac{\gamma z}{[\sigma]}\right). \qquad (17)$$

Припустимо, що функція (17) знайдена. Тоді для нового розподілу площа перерізів (9) буде визначатися залежністю:

$$F^*(z) = (F_0 - f_0)\exp\left(\frac{\gamma z}{[\sigma]}\right), \quad (18)$$

при якій буде виконуватись умова (10):

$$V^*(L) = \frac{F_0 - f_0}{\gamma}[\sigma]\exp\left(\frac{\gamma L}{[\sigma]}\right) < V(L) = \frac{F_0}{\gamma}[\sigma]\exp\left(\frac{\gamma L}{[\sigma]}\right). \quad (19)$$

Однак при виконанні залежності (18) не буде виконуватись умова міцності. Наприклад, при $z = 0$ з врахуванням формули (5) отримуємо

$$\sigma(0) = \frac{P}{F^*(0)} = \frac{F_0 \cdot [\sigma]}{F_0 - f_0} > [\sigma]. \quad (20)$$

Звідси витікає, що умова міцності буде виконуватись лише якщо в формулі (17) $f_0 = 0$, тобто якщо розподіл площ перетинів (18) буде виглядати так: $F^*(z) = F(z)$.

Таким чином отримане протиріччя – при будь-якій іншій функції $F^*(z) = F(z) - f(z)$ об'єм $V^*(L)$ не буде меншим за $V(L)$, який відповідає функції $F(z)$. Відтак, мінімальність об'єму стрижня що розтягується (або стискається) забезпечується лише при розподілі перерізів за виразом (3), отже теорему доведено. У підсумку, з врахуванням доведеної теореми когнітивна модель залежності оптимальної маси *M* механічного виробу від НРН останнього наведена на рис. 4.

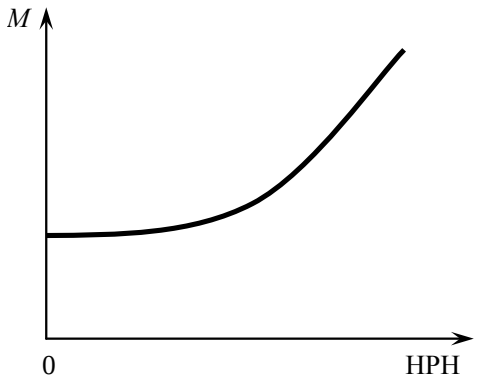


Рис. 4 – Когнітивна модель залежності оптимальної маси механічного виробу від його нерівнонапруженості

Аналогічно можна довести, що, наприклад, об'єкт у вигляді комп'ютерної мережі має найменшу сумарну потужність окремих комп'ютерів, якщо останні однаково та гранично навантажені. Під таким «навантаженням», на відміну від механічного, вважали завантаженість центрального процесора комп'ютера, обчислену або виміряну за однією з відомих методик [19–21].

Задача оптимізації форми або архітектури таких об'єктів нагадує багатокритеріальну оптимізацію за Парето: пошук такого стану системи, при якому значення кожного окремого критерію, що описує цей стан, не може бути покращене без погіршення становища інших елементів [22].

На жаль, відомі методи багатокритеріальної оптимізації тут не застосовні, оскільки внутрішня напруженість систем, про які йде мова в роботі, залежать від зовнішнього навантаження, взагалі, стохастичного та малопередбачуваного.

Система штучного інтелекту для адаптації конструкції об'єкта з метою протидії викликам оточуючого середовища, які впливають на рівнонапруженість. Виходом із зазначених проблем можна вважати процес створення таких об'єктів, що мають вбудовану підсистему управління, яка після кожного внутрішнього або зовнішнього впливу, що призводить до збільшення НРН, «розвертає» об'єкт таким чином, щоб знизити НРН до припустимого рівня. Під «розвертанням» розуміємо не фізичне повертання із зміною геометричних координат, а зміну параметрів системи (структури, властивостей елементів, тощо, які тим або іншим чином впливають на навантаженість). Умови, в яких плануються, розраховуються та здійснюються такі «розвертання» мають, згідно із [23], наступні особливості:

– складність і розмірність розв'язуваної задачі пов'язані з великою кількістю елементів складної системи (*N*) та різницевих (1) «зв'язків» між ними ($N(N-1)$);

– високий рівень представлення та маніпулювання знаннями обумовлений обізнаністю групи експертів про можливості об'єкта та його стан на поточний момент;

– здатність до самоаналізу, яка базується на можливості постійних розрахунків стану навантаженості окремих елементів в умовах неповної інформації про рівень внутрішніх та зовнішніх впливів;

– здатність навчатися та самонавчатися, яка створює умови для того, щоб стан із найменшим НРН був аттрактором у русі складного об'єкту в якості динамічної системи;

– здатність до переформатування задачі, тобто переходу від форми, в якій початково поставлена проблема до іншої форми, що відповідає моделі представлення знань.

Перелік наведених ознак відповідає поняттю «штучний інтелект», а система, яка його втілює у життя – інтелектуальна система [23]. Ця система поводиться як людина, розмірковує як людина, та діє цілеспрямовано й раціонально. Структура системи такого типу «EQUTENS» (*equal tension support*), створеної в рамках роботи, наведена на рис. 5.

Згідно з цією структурою, система штучного інтелекту містить такі блоки.

1. Блок збирання та первинної обробки вихідних даних про складний об'єкт (наприклад, механічну конструкцію, комп'ютерну мережу, тощо).

2. Блок виявлення та врахування зовнішніх впливів на об'єкт, що призводять до збільшення НТН.

3. Блок побудови дискретної моделі об'єкта, напруженість якого відслідковується.

4. Блок вимірювання зміни напруження елементів, якщо для цього є технічна та метрологічна можливість. Це можуть бути, наприклад, тензометричні або індуктивні датчики для вимірювання механічних напружень, спеціальні програми для розрахунку навантаження окремих елементів комп'ютерних мереж,

тощо.

5. Блок, де дані про поточний стан напруження елементів складних об'єктів не вимірюються, а розраховуються. Найбільш потужним інструментом для таких обчислень є САПР ANSYS – універсальна програмна система скінченно-елементного аналізу та рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій, завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів.

6. В цьому блоці інформація, отримана за допомогою блоків 4 або 5 перетворюється до тривимірного поля напружень або так званого «тривимірного зорового образу» за методиками, описаними в [24]. Відмітимо, що мова йде про віртуальний зоровий образ, оскільки він створюється не для взаємодії із зором людини. Натомість до нього застосовуються інтелектуальні методи розпізнавання (класифікації) зорових образів [25].

7. Створений образ перераховується до значення «зрушеної» НРН об'єкта, яке в подальшому використовується для розрахунків дій по її відновленню.

8. Блок експертної оцінки, на виході якого повинно бути прийняте рішення про безпосередні методи відтворення НРН: штучне (блок 9), за рахунок внесення змін до структури об'єкта, властивостей його елементів або характеристик зовнішнього навантаження, або автоматичне, у випадку коли об'єкт представляється як динамічний, а стан із найменшою НРН є його атрактором (блок 10).

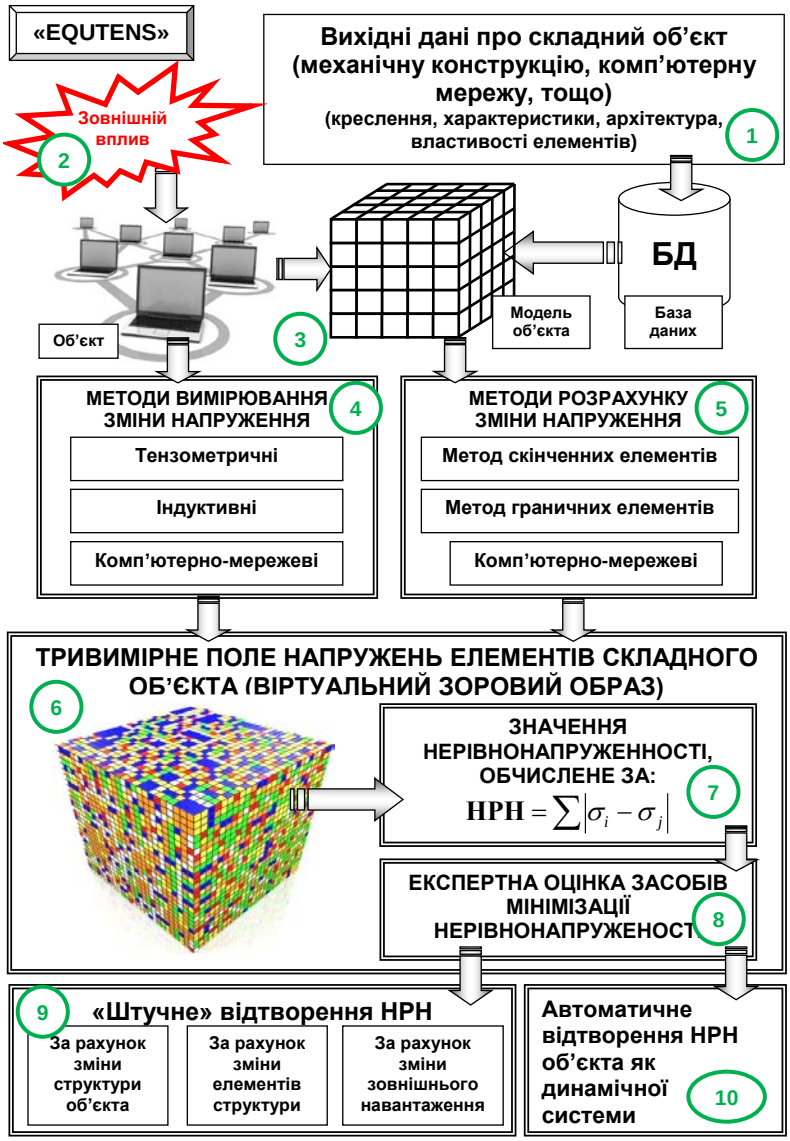


Рис. 5 – Структура системи «EQUTENS» (*equal tension support*) відновлення рівнонапруженого стану складних об'єктів

Висновки

1. Введено нове поняття «нерівнонапруженість» в якості числової характеристики нерівномірності опору будь-якого складного об'єкта впливу зовнішнього середовища, запропоновано методи його обчислення та доведено теорему про співпадіння мінімуму нерівнонапруженості із мінімумом вартості об'єкта у виготовленні та експлуатації;

2. Запропоновано систему «EQUTENS» (*equal tension support*) для штучної (за допомогою експертних рішень) або самовільної (за допомогою інтелектуального атрактора) адаптації характеристик об'єкта до турбулентного зовнішнього навантаження під час його експлуатації, яка відновлює стан об'єкта, повертаючи його окремі елементи до мінімальної нерівнонапруженості.

Список літератури:

1. *Сабитов, Л. С.* Разработка и численные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций из трубчатых стержней в энергетическом строительстве [Текст] / *Л. С. Сабитов* // Вестник Иркутского ГТУ. – 2015. – № 6 (101). – С. 108–117.
2. *Становский, А. Л.* Математическое моделирование и оптимизация в САПР равнонапряженных деталей машин [Текст] / *А. Л. Становский, Е. А. Науменко, О. Абу Шена* // Високі технології в машинобудуванні. – 2017. – № 1 (27). – С. 143–154.
3. *Daschenko, O.* Mathematical model of connections cylindrical shell with the bottom variable thickness [Text] / *O. Daschenko, O. Stanovskyi, Yu. Khomiak, E. Naumenko* // «Information technology and automation – 2016»: Proceedings IX Annual scientific conference. – Odessa, ONAFT, 2016. – P. 29–30.
4. *Новиков, В. В.* Математическое моделирование профиля равного сопротивления [Текст] / *В. В. Новиков, В. Г. Максимов, С. А. Балан, О. Е. Гончарова* // Оптимизация в материаловедении. – Одесса: АстроПринт, 1999. – 151 с.
5. *Bendsoe, M. P.* Topology optimization [Text] / *M. P. Bendsoe, O. Sigmund*. – Berlin: Springer, 2003. – 370 p. doi: 10.1007/978-3-662-05086-6
6. *Eves, J.* Topology optimization of aircraft with non-conventional configurations [Text] / *J. Eves, V. V. Toropov, H. M. Thompson, P. H. Gaskell, J. J. Doherty, J. C. Harris* // 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization. – Lisbon, 2009. – P. 1–9.
7. *Няшин, Ю. И.* Равнонапряженные листовые рессоры [Текст] / *Ю. И. Няшин, М. А. Осипенко, М. Б. Гитман* // Вестник Магнитогорского ГТУ им. Г. И. Носова. – 2017. – № 3. – С. 22–26.
8. *Янковский, А. П.* Единственность решения в малом задачи равнонапряженного армирования металлокомпозитных пластин, работающих в условиях установившейся ползучести [Текст] / *А. П. Янковский* // Вестник Самарского ГТУ. Сер.: Физ.-мат. науки. – 2014. – Вып. 4 (37). – С. 121–132.
9. *Сметанкина, Н. В.* Минимизация массы слоистых композитных пластин при импульсном нагружении [Текст] / *Н. В. Сметанкина, В. А. Сметанкин* // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара. – 2011. – Вип. 16. – С. 259–265.
10. *Oliveira, A.* Implementation of FEA in the minimum weight design process of aerostructures [Text] / *A. Oliveira, L. Krog* // Proceedings of NAFEMS World Congress. – Malta, 2005. – P. 115–124.
11. *Балан, С. А.* Учет перемещений при ударном механическом нагружении транспортных средств [Текст] / *С. А. Балан, О. С. Савельева* // Труды Одесс. политехнич. ун-та. – 1998. – Вып. 1. – С. 160–162.
12. *Stanovskyi, A.* The virtual models in equal-stressed machine parts desing [Text] / *A. Stanovskyi, Y. Naumenko, I. Saukh, O. Abu Shena* // Вестник Кременчугского национального университета имени М. Остроградского. – 2016. – № 6/2016 (101). – С. 59–60.
13. *Гончарова, О. Е.* Нечувствительный к асимметрии численный метод оптимизации конструкций [Текст] / *О. Е. Гончарова, В. Г. Максимов* // Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – Вып. 2 (8). – С. 41–44.
14. «Умные» дороги: каким будет дорожное покрытие будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tehnologii.eizvestia.com/full/2411-umnye-dorogi-kakim-budet-dorozhnoe-pokrytie-budushhego
15. *Становский, А. Л.* Компенсирующая подвеска транспортного средства [Текст] / *А. Л. Становский, В. Г. Максимов, О. Е. Гончарова* // Моделирование в прикладных научных исследованиях. – 1999. – С. 18–19.
16. *Кострова, Г. В.* Оптимизация переходных процессов механического нагружения [Текст] / *Г. В. Кострова, О. С. Савельева, А. Л. Становский* // Труды Одесс. политехн. ун-та. – 1998. – Вып. 1. – С. 53–56.
17. *Павский, В. А.* Вычисление показателей живучести распределенных вычислительных систем и осуществимости решения задач [Текст] / *В. А. Павский, К. В. Павский, В. Г. Хорошевский* // Искусств. интеллект. – 2006. – № 4. – С. 28–34.
18. *Нестеренко, С. А.* Метод діагностики стану структури складного об'єкта машинобудування [Текст] / *С. А. Нестеренко, А. О. Становський, А. В. Торопенко* // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2013. – Вип. 8. – С. 116–123.
19. *Walker, R.* Examining Load Average [Text] / *R. Walker* // Linux Journal. – 2006. – Vol. 2006, Issue 152. – Available at: http://www.linuxjournal.com/article/9001?page=0,0
20. What exactly is a load average? [Electronic resource]. – Linux Tech Support. – Available at: http://linuxtechsupport.blogspot.com/2008/10/what-exactly-is-load-average.html
21. *Ferrari, D.* An Empirical Investigation of Load Indices for Load Balancing Applications [Electronic resource] / *D. Ferrari, S. Zhou* // Available at: https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1987/CSD-87-353.pdf
22. *Ehrgott, M.* Approximative solution methods for multiobjective combinatorial optimization [Text] / *M. Ehrgott, X. Gandibleux* // Top. – 2004. – Vol. 12, Issue 1. – P. 1–63. doi: 10.1007/bf02578918
23. *Russell, S. J.* Artificial Intelligence: a modern approach [Text] / *S. J. Russell, P. Norvig*. – Prentice Hall, USA, 1995. – 931 p.
24. *Нестеренко, С. А.* Перетворення структури складної технічної системи із частково недоступними елементами до зорового образу [Текст] / *С. А. Нестеренко, А. О. Становський, А. В. Торопенко, П. С. Швець* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 5, № 3 (77). – С. 30–35. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51186
25. *Нестеренко, С. А.* Інтелектуальні методи оцінювання стану структури бездротових комп'ютерних мереж при їхньому проектуванні та експлуатації [Текст] / *С. А. Нестеренко, А. О. Становський, І. Хеблов* // Материалы XXIII научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 2015. – С. 51–53.

Bibliography (transliterated):

1. Sabitov, L. S. (2015). Razrabotka i chislennye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya (NDS) konstrukciy iz trubchatyh sterzhney v energeticheskom stroitel'stve. Vestnik Irkutskogo GTU, 6 (101), 108–117.
2. Stanovskiy, A. L., Naumenko, E. A., Abu Shen, O. Matematicheskoe modelirovanie i optimizaciya v SAPR ravnonapryazhennyh detaley mashin. Vysoki tekhnolohiyi v mashynobuduvanni, 1 (27), 143–154.
3. Daschenko, O., Stanovskyi, O., Khomiak, Yu., Naumenko, E. (2016). Mathematical model of connections cylindrical shell with the bottom variable thickness. «Information technology and automation – 2016»: Proceedings IX Annual scientific conference. Odessa, ONAFT, 29–30.
4. Novikov, V. V., Maksimov, V. G., Balan, S. A., Goncharova, O. E. (1999). Matematicheskoe modelirovanie profilya ravnogo soprotivleniya. Optimizaciya v materialovedenii. Odessa: AstroPrint, 151.
5. Bendsoe, M. P., Sigmund, O. (2003). Topology optimization. Berlin: Springer, 370. doi: 10.1007/978-3-662-05086-6
6. Eves, J., Toropov, V. V., Thompson, H. M., Gaskell, P. H., Doherty, J. J., Harris, J. C. (2009). Topology optimization of aircraft with non-conventional configurations. 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization. Lisbon, 1–9.
7. Nyashin, Yu. I., Osipenko, M. A., Gitman, M. B. (2017). Ravnonapryazhennye listovye ressory. Vestnik Magnitogorskogo GTU im. G. I. Nosova, 3, 22–26.
8. Yankovskiy, A. P. (2014). Edinstvennost' resheniya v malom zadachi ravnonapryazhennogo armirovaniya metallokompozitnyh plastin, rabotayushchih v usloviyah ustanovivsheysya polzuchesti. Vestnik Samarskogo GTU. Ser.: Fiz.-mat. nauki, 4 (37), 121–132.

9. Smetankina, N. V., Smetankin, V. A. (2011). Minimizaciya massy sloistyh kompozitnyh plastin pri impul'snom nagruzhenii. Problemy obchysliuvalnoi mekhaniky i mitsnosti konstruktsiyi. Dnipropetrovskyi natsionalnyi universytet im. O. Honchara, 16, 259–265.
10. Oliveira, A., Krog, L. (2005). Implementation of FEA in the minimum weight design process of aerostructures. Proceedings of NAFEMS World Congress. Malta, 115–124.
11. Balan, S. A., Savel'eva, O. S. (1998). Uchet peremeshcheniy pri udarnom mekhanicheskom nagruzhenii transportnyh sredstv. Trudy Odess. politekhnich. un-ta, 1, 160–162.
12. Stanovskyi, A., Naumenko, Y., Saukh, I., Abu Shena, O. (2016). The virtual models in equal-stressed machine parts desing. Vestnik Kremenchugskogo nacional'nogo universiteta imeni M. Ostrogradskogo, 6/2016 (101), 59–60.
13. Goncharova, O. E., Maksimov, V. G. (1999). Nechuvstvitel'nyy k asimmetrii chislennyy metod optimizacii konstrukciy. Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta, 2 (8), 41–44.
14. «Umnye» dorogi: kakim budet dorozhnoe pokrytie budushchego. Available at: http://tehnologii.eizvestia.com/full/2411-umnye-dorogi-kakim-budet-dorozhnoe-pokrytie-budushhego
15. Stanovskiy, A. L., Maksimov, V. G., Goncharova, O. E. (1999). Kompensiruyushchaya podveska transportnogo sredstva. Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovaniyah, 18–19.
16. Kostrova, G. V., Savel'eva, O. S., Stanovskiy, A. L. (1998). Optimizaciya perekhodnyh processov mekhanicheskogo nagruzheniya. Trudy Odess. politekhn. un-ta, 1, 53–56.
17. Pavskiy, V. A., Pavskiy, K. V., Horoshevskiy, V. G. (2006). Vychislenie pokazateley zhivuchesti raspredelennyh vychislitel'nyh sistem i osushchestvimosti resheniya zadach. Iskusstv. intellekt, 4, 28–34.
18. Nesterenko, S. A., Stanovskyi, A. O., Toropenko, A. V. (2013). Metod diahnostyky stanu struktury skladnoho obiekta mashynobuduvannia. Suchasni tekhnolohiyi v mashynobuduvanni, 8, 116–123.
19. Walker, R. (2006). Examining Load Average. Linux Journal, 2006 (152). Available at: http://www.linuxjournal.com/article/9001?page=0,0
20. What exactly is a load average? Linux Tech Support. Available at: http://linuxtechsupport.blogspot.com/2008/10/what-exactly-is-load-average.html
21. Ferrari, D., Zhou, S. An Empirical Investigation of Load Indices for Load Balancing Applications. Available at: https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1987/CSD-87-353.pdf
22. Ehrgott, M., Gandibleux, X. Approximative solution methods for multiobjective combinatorial optimization. Top, 12 (1), 1–63. doi: 10.1007/bf02578918
23. Russell, S. J., Norvig, P. (1995). Artificial Intelligence: a modern approach. Prentice Hall, USA, 931.
24. Nesterenko, S. A., Stanovskyi, A. O., Toropenko, A. V., Shvets, P. S. (2015). Transformation of the structure of complex technical systems with partially unusable elements to the visual image. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (3 (77)), 30–35. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51186
25. Nesterenko, S. A., Stanovskyi, A. O., Kheblov, I. (2015). Intelektualni metody otsiniuvannia stanu struktury bezdrotovykh kompiuternykh merezh pry yikhnomu proektuvanni ta ekspluatatsii. Materialy XXIII nauchno-tekhnicheskogo seminara «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovaniyah». Odessa, 51–53.

Надійшла (received) 01.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Управління напруженістю систем за допомогою штучного інтелекту/ Становський О. Л., Хомяк Ю. М., Торопенко А. В., Науменко Є. О., Дадерко О. І. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.52–60. – Bibliogr.:25 – ISSN 2079-5459

Управление напряженностью систем с помощью искусственного интеллекта/ Становский А. Л., Хомяк Ю. М., Торопенко А. В., Науменко Е. А., Дадерко О. И. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.52–60. – Bibliogr.:25. – ISSN 2079-5459

The systems tension control with the help of artificial intelligence/ Stanovskyi A., Khomjak Yu., Toropenko A., Naumenko Ie., Daderko O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.52–60. – Bibliogr.:25. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Становський Олександр Леонідович – доктор технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: ostanovskyi@gmail.com.

Становский Александр Леонидович – доктор технических наук, Одесский национальный политехнический университет, заведующий кафедрой нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044;; e-mail: ostanovskyi@gmail.com.

Stanovskyi Olexandr – Doctor of technical Science, Odessa National Polytechnic University, Chief of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044;

Хомяк Юрій Мефодійович – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044;

Хомяк Юрий Мефодиевич – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044;; e-mail: jomiak38@gmail.com.

Khomiak Yuriy Mefodijovych – candidate of technical Science, Odessa National Polytechnic University, Docent of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044

Торопенко Алла Володимирівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Украї-

на, 65044; e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Торопенко Алла Владимировна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044, e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Toropenko Alla – candidate of technical Science, Odessa National Polytechnic University, Docent of the Department of oil and gas and chemical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044

Науменко Євгенія Олександрівна – магістр, Одеський національний політехнічний університет, ст. викладач кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: naumenko.e.o@opu.ua

Науменко Евгения Александровна – магистр, Одесский национальный политехнический университет, ст. преподаватель кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044e-mail: naumenko.e.o@opu.ua.

Naumenko Ievgenija – master, Odessa National Polytechnic University, Senior Lecturer of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: naumenko.e.o@opu.ua.

Дадерко Олеся Ігорівна – магістр, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044;

Дадерко Олеся Игоревна – магистр, Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044;

Daderko Olesya – master, Odessa National Polytechnic University, Postgraduate of the Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: jqute1@gmail.com.

УДК 620.179.14

В. Г. БАЖЕНОВ, К. А. ГЛЬОЙНІК, С. В. ХОДНЕВИЧ

ОРТОГОНАЛЬНИЙ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВИХРОСТРУМОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

В даній статті розглянуті особливості використання ортогональних методів вимірювання параметрів сигналів при проектуванні вихрострумових дефектоскопів (ВД) на базі мікроконтролерів. Аналізується запропонована авторами нова структура дефектоскопа, яка має один вимірювальний канал, реалізує ортогональний метод вимірювання, має дуже мале енергоспоживання, малі габарити і відповідну вартість. Проведені експериментальні дослідження запропонованої структури ВД на спеціальному експериментальному макеті, де за допомогою високоточного синтезатора сигналів SDG102, фірми SIGLENT, проведено імітацією можливих дефектів які можуть призводити як до зміни фази так і амплітуди вимірювального сигналу, що підтвердило високі метрологічні можливості цієї структури.

Ключові слова: вихрострумовий дефектоскоп, ортогональний метод, синтезатор частоти, вихрострумовий перетворювач, прямий синтез, мікроконтролер, DSP процесор, LabVIEW, аналого-цифровий перетворювач, фільтр нижніх частот.

В данной статье рассмотрены особенности использования ортогональных методов измерения параметров сигналов при проектировании вихретоковых дефектоскопов (ВД) на базе микроконтроллеров. Анализируется предложенная авторами новая структура дефектоскопа, которая имеет один измерительный канал, реализует ортогональный метод измерения, имеет очень малое энергопотребление, малые габариты и соответствующую стоимость. Проведенные экспериментальные исследования предложенной структуры ВД на специальном экспериментальном макете, где с помощью высокоточного синтезатора сигналов SDG102, фирмы SIGLENT, проведено имитацию возможных дефектов, которые могут приводить как к изменению фазы, так и амплитуды измерительного сигнала, что подтвердило высокие метрологические возможности этой структуры.

Ключевые слова: вихретоковый дефектоскоп, ортогональный метод, синтезатор частоты, вихретоковый преобразователь, прямой синтез, микроконтроллер, DSP процессор, LabVIEW, аналого-цифровой преобразователь, фильтр нижних частот.

In this article has been considered features of the useing orthogonal methods for measuring signal parameters during the design of eddy-current flaw detectors based on microcontrollers. The proposed new structure of the flaw detector have been analyzing. The structure has one measuring channel, implements an orthogonal measurement method, has very low energy consumption, small size and low cost. Experimental investigations the proposed structure of eddy-current flaw detectors have been done in a special experimental model, where using the high-precision signal synthesizer SDG102, firm SIGLENT, conducted simulation of possible defects that can lead to phase and amplitude changes of the measurement signal. That confirmed the high metrological capabilities of this structure.

Keywords: eddy current defectoscope, orthogonal method, frequency synthesizer, eddy current converter, direct synthesis, microcontroller, DSP processor, LabVIEW, analog-to-digital converter, low pass filter.

Вступ. Вихрострумовий контроль є одним із найпоширеніших на даний час. Для отримання максимальної універсальності і достовірності контролю в сучасних вихрострумових дефектоскопах використовують амплітудно-фазовий метод, який потребує визначати амплітуду і фазу вимірювального сигналу.

На даний час відомі серійні, багатофункціональні вихрострумові дефектоскопи, на базі сучасних DSP процесорів, але вони мають високу вартість, великі габарити та енергоспоживання.

Мета роботи. Дослідити можливість створення вихрострумового дефектоскопу, точність якого не буде поступатися існуючим, але вартість та енергоспоживання будуть значно меншими.

Відомо[1], що вимірювачі амплітуди та фазового зсуву вимірювального сигналу, які використовують ортогональний метод виміру, являються найбільш точними. Враховуючи вищезазначене, а також сучасний стан електроніки, а саме: появу мікросхем синтезаторів частоти прямого цифрового синтезу (DDS) з малим енергоспоживанням, керованих мікроконтроле-

рами, а також мікросхем помножувачів сигналів, та мікроконтролерів з вбудованими аналого-цифровими перетворювачами (АЦП), вважаємо за доцільне при розробці ВД використовувати ортогональний метод виміру.

Функціональна схема ВД яка реалізує ортогональний метод виміру може мати такий вигляд представлений на рис. 1.

© В. Г. Баженов, К. А. Гльойнік, С. В. Ходневич. 2017

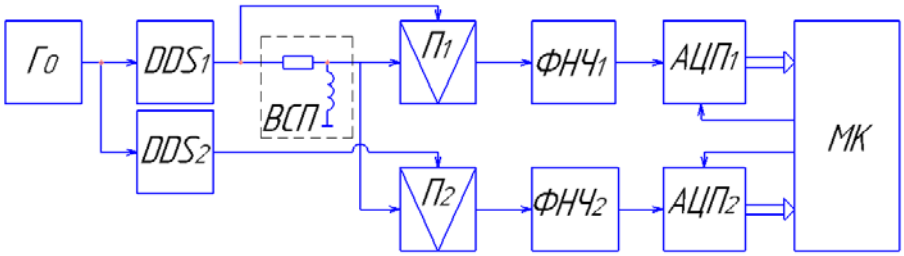


Рис. 1 – Схема вихрострумового дефектоскопу: Γ_0 – опорний генератор, DDS_1 – синтезатор частоти, DDS_2 – другий синтезатор частоти, ВСП – вихрострумовий перетворювач, $П_1$ – $П_2$ – два синхронні амплітудні детектори, $ФНЧ_1$ – $ФНЧ_2$ – фільтри нижніх частот, $АЦП_1$ – $АЦП_2$ - аналого-цифрові перетворювачі, МК – мікроконтролер

Дана схема працює наступним чином: два синтезатори частоти які синхронізуються від одного опорного генератора синхроімпульсів одночасно генерують опорні ортогональні сигнали $a_1(t) = A_1 \sin(\omega t)$ та $b_1(t) = B_1 \cos(\omega t)$. Після чого один із сигналів потрапляє на вихрострумовий перетворювач (ВП), який в свою чергу взаємодіє з об'єктом контролю.

Амплітуда і фаза на виході ВСП буде залежати від об'єкту контролю та наявності в ньому дефектів. Отримавши певні зміни вимірюваний сигнал $a_1(t) = A_1 \sin(\omega t + \varphi)$ буде потрапляти на синхронні амплітудні детектори. Де одночасно буде відбуватись перемноження опорних сигналів з вимірюваним. Після перемноження, сигнали з подвоєною частотою відфільтровується, а постійні складові цих сигналів подаються на входи АЦП.

Цифрові коди з АЦП поступають на МК, де значення амплітуди та фази буде визначатись за наступними формулами:

$$A = \sqrt{a_s^2 + a_c^2}, \quad (1)$$

$$\varphi = arctg \frac{a_s}{a_c}, \quad (2)$$

де $a_c = \frac{1}{2} k A_1 B_1 \cos(\varphi)$ – значення постійної косинусної складової, $a_s = \frac{1}{2} k A_1 B_1 \sin(\varphi)$ – значення постійної синусної складової, k – коефіцієнт перетворення помножувачів (синхронних амплітудних детекторів).

Недоліком такої схеми приладу є апаратурна складність виконання, (використовується два АЦП, два помножувача тобто два вимірювальних канали). Крім того не ідентичність каналів вимірювання може знизити чутливість та достовірність контролю.

Авторами пропонується функціональна схема [2–4] вихрострумового дефектоскопу (представлена на рис. 2) на мікроконтролері з використанням синтезаторів частоти, яка значно спрощена та має лише один вимірювальний канал, і фактично реалізує квазіортогональний метод вимірювання. Задача вирішується тим що, у вихрострумовому амплітудно-фазовому способі неруйнівного контролю, який включає в себе перемноження вимірювального і опорного сигналів з подальшим визначенням амплітуди отриманої постійної складової. Фазу одного із сигналів (DDS_1 або DDS_2) періодично змінюють на 90 градусів.

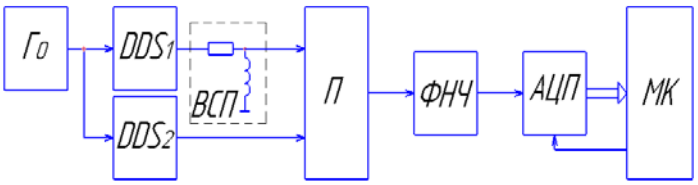


Рис. 2 – Схема вихрострумового дефектоскопу на базі синтезаторів частоти: Γ_0 - опорний генератор, DDS_1 - синтезатор частоти, DDS_2 – другий синтезатор частоти, ВСП – вихрострумовий перетворювач, П – синхронний амплітудний детектор, ФНЧ – фільтри нижніх частот, АЦП – аналого-цифрові перетворювачі, МК – мікроконтролер

Метод може бути реалізований за допомогою структурної схеми, яка представлена на рис. 2.

Алгоритм роботи схеми запропонованого вихрострумового дефектоскопу полягає в наступному. За допомогою мікроконтролеру задаються параметри сигналів на виході синтезаторів частоти DDS_1 та DDS_2. В регістр фази одного із синтезаторів попередньо одноразово загружаються такі коди, щоб сигнал на виході цього синтезатора змінював значення своєї початкової фази на 90^0, по сигналу маніпуляції, який надходить на вивід «pselect» синтезатора з мікроконтролера. Сигнал з виходу синтезатора частоти – DDS_1 надходить на вихрострумовий перетворювач – ВСП, який взаємодіє з об'єктом контролю.

Амплітуда і фаза на виході вихрострумового перетворювача буде залежати від параметрів об'єкту контролю, а також від наявності в ньому дефектів. Сигнал з виходу вихрострумового перетворювача подається на один із входів синхронного амплітудного детектора – П, на другий вхід синхронного амплітуд-

ного детектора подається сигнал такої ж частоти з синтезатора DDS_2.

Математично синхронний амплітудний детектор реалізує собою операцію множення. Тому на його виході перед фільтром нижніх частот результуючий сигнал набуде вигляду:

$$a(t)\cdot b(t) = A\sin(\omega t)\,B\cos(\omega t+\varphi) =$$
$$= \frac{1}{2}AB\left[\cos(\omega t-\omega t+\varphi)-\cos(\omega t+\omega t+\varphi)\right] = \quad (3).$$
$$= \frac{1}{2}AB\left[\cos(\varphi)-\cos(2\omega t+\varphi)\right]$$

Результат має дві складових, одна з яких залежить від амплітуди та фазового зсуву помножених сигналів і фізично являє собою постійний струм, інша – змінний струм подвійної частоти.

Фільтр нижніх частот відфільтровує складову $\cos(2\omega t+\varphi)$ і результуючий сигнал має, лише постійну складову :

$$U = 0.5AB\cos(\varphi). \quad (4)$$

За допомогою мікроконтролеру періодично здійснюють 90^0 маніпуляцію фази сигналу одного з синтезаторів частоти шляхом подачі сигналу з одного із виводів мікроконтролера на вивід «pselect» синтезатора. Це буде означати, що постійна складова буде змінюватися на $U = 0.5AB\sin(\varphi)$. Таким чином періодично з частотою маніпуляції на виході синхронного амплітудного детектора (з урахуванням його коефіцієнта перетворення k) отримують постійні складові сигналів пропорційні відповідним проекціям: $a_c = \frac{1}{2}kA\cos(\varphi)$ і $a_s = \frac{1}{2}k\sin(\varphi)$, які відфільтровують і кодують за допомогою АЦП, та обробляються мікроконтролером. Результат вимірювання амплітуди та фази визначають згідно відповідним виразам (1), (2).

Зміна амплітуди і зміна фазового зсуву визначається як різниця двох вимірів амплітуди і фазового зсуву до знаходження дефекту і після.

Для дослідження дієздатності та потенційних можливостей роботи ВД на базі ортогонального методу було складено експериментальний макет приладу із серійних приладів, функціональна схема якого представлена на рис. 3.

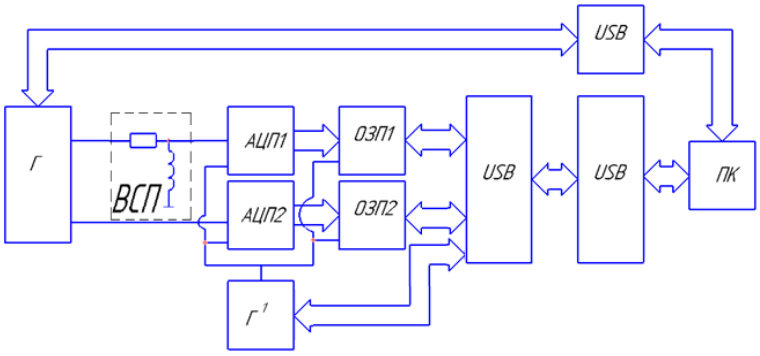
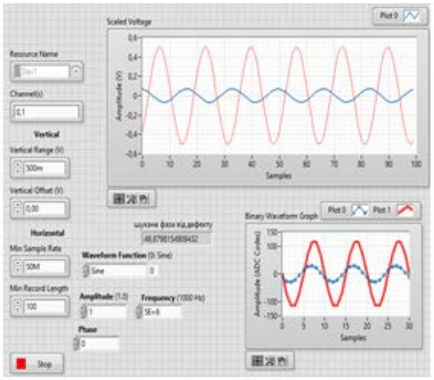


Рис. 3 – Функціональна схема приладу: Г – генератор сигналів. ВСП – вихрострумовий перетворювач, $Г^1$ – опорний генератор, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій USB – шина передачі даних, ПК – персональний комп'ютер

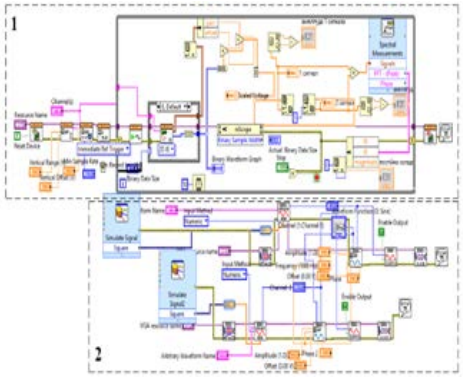
В якості генератора сигналів використано двухканальний синтезатор частоти SDG102, фірми SIGLENT з можливістю зміни його параметрів, а також фазового зсуву між виходами за допомогою ПК через USB інтерфейс. В якості АЦП використано модуль двухканального 8-ми бітного АЦП фірми National Instrument NI5132 з USB інтерфейсом. Коди отриманих сигналів накопичуються в пам'яті модуля АЦП, причому довжина масивів накопичених даних може змінюватися за допомогою комп'ютера.

За допомогою комп'ютеру задаються параметри сигналів на виході генератора, а також виконується періодична маніпуляція початкової фази сигнала на 90^0 по одному із виходів двухканального синтезатора сигналів. Сигнал з одного виходу генератора поступає на вихрострумовий перетворювач, який взаємодіє з об'єктом контролю. Вимірюваний сигнал з виходу перетворювача подається на перший АЦП1. Сигнал з другого виходу генератора сигналів, такої ж частоти, поступає безпосередньо на аналоговий вхід другого АЦП2.

Після накопичення даних в пам'яті ОЗП1 та ОЗП2 масив через порт USB передається в ПК, де здійснюється цифрове перемноження та цифрова фільтрація цих даних. Крім того ПК виконує управління генератором сигналів, АЦП, реалізацію алгоритму ортогонального методу вимірювання згідно приведених виразів (1), (2), визначення значень змін амплітуди та фазового зсуву вимірювального сигналу та візуалізацію результатів контролю за допомогою програми розробленої в пакеті програм labview 2016. Інтерфейс та блок схема програми приведені на рис. 4.



а



б

Рис. 4 – Програма приладу розроблена в

labview 2016: а – інтерфейс програми, б – блока-схема програми.

Програма складається з двох основних частин. У першій частині реалізоване управління АЦП, обробка даних та візуалізація результатів. Друга частина реалізує управління генератором сигналів.

Опис експерименту. Для визначення потенційних можливостей амплітудно-фазового ВД на базі ортогонального методу були проведені наступні випробування експериментального макету представленого на рис. 3:

1. Вимірювалися початкові установлені фазові зсуви сигналів 10^0; 45^0; 75^0; згідно вищезазначеного алгоритму 90^0 маніпуляції фазового зсуву, які попередньо встановлювалися на синтезаторі SDG102. Потім результати порівнювалися.

2. Вимірювалися різниці фазових зсувів (1^0-5^0), які задавалися за допомогою синтезатора (імітувалося знаходження дефекту) при початкових фазових зсувах 10^0; 45^0; 75^0 .

3. Вимірювалися різниці амплітуд вхідних сигналів, які задавалися за допомогою синтезатора (імітувалося знаходження дефекту) при початкових фазових зсувах 10^0; 45^0; 75^0 .

4. Вимірювалися різниці амплітуд вхідних сигналів, які задавалися за допомогою синтезатора (імітувалося знаходження дефекту) при початкових фазових зсувах 10^0; 45^0; 75^0 .

Частота вхідного сигналу f = 3МГц, частота дискретизацій АЦП1 і АЦП2 складала 25 МГц, довжина масиву вибірок складала 100.

Висновки

1. Запропонована схема може бути реалізована на мікросхемах DDS синтезаторів частоти AD9834 фірми Analog-devices (енергоспоживання яких не перевищує 50 мвт, а розміри складають 5Х5мм) , мікроконтролерах AVR типу ATmega 64 фірми Atmel, які також мало споживають енергії. Вищезазначене свідчить про те що запропонована схема ВД може мати дуже мале енергоспоживання, мати малі габарити, і відповідно малу вартість.

2. Використання такого способу реалізації вихрострумових дефектоскопів на базі синтезаторів частоти дозволяє значно підвищити точність і швидкодію дефектоскопу, тому що використовується один вимірювальний канал, похибки якого при визначенні фази повністю компенсуються. Зміна фази на 90^0 потребує виконання однієї команди для зміні значення одного біта на виході мікроконтролера. (на відміну від відомих [4] де для визначення фази сигналу потребується виконання багатокрокових алгоритмів).

3. В результаті проведених експериментальних досліджень, можна зробити висновки, що найменші похибки вимірів різниці фазових зсувів (імітація дефекту) не перевищували 01^0 це відбувалося при умові, коли початкова фаза вимірювального сигналу знаходилася приблизно на 45^0.

4. Крім того встановлено, що похибки вимірювань амплітуди менше 1 %, що цілком достатньо і відповідає сучасним ВД на базі DSP процесорів.

5. Запропоноване програмне забезпечення на базі пакета програм labview 2016 показало свою працездатність і дієздатність запропонованої структури ВД.

Список літератури:

1. *Пестряков, В. Б.* Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) [Текст] / *В. Б. Пестряков*. – М.: Сов. Радио, 1968. – 468 с.
2. Пат. № 118164 UA. Вихрострумовий амплітудно-фазовий спосіб неруйнівного контролю. МПК (2017.01) G01N27/01 [Текст] / *Баженов В. Г., Гльойнік К. А.* – № u2017 01264; опубл. 25.07.2017, Бюл. № 14.
3. *Bazhenov, V.* Increasing of operation speed of digital eddy current defectoscopes based on frequency synthesizer [Text] / *V. Bazhenov, A. Protasov, K. Gloinik* // 2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS). – 2017. doi: 10.1109/mrrs.2017.8075051
4. Пат. № 45908 UA. Цифровий багатофункціональний вихрострумовий дефектоскоп. МПК G01N27/00 [Текст] / *Баженов В. Г., Климашевская В. М., Гльойнік К. А.* опубл. – 25.11.2009, Бюл. № 14.
5. *Учанін, В. М.* Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання [Текст] / *В. М. Учанін*. – Львів: СПОЛОМ, 2013. – 268 с.
6. *Уолт, К.* Проектирование систем цифровой и смешаной обработки сигналов [Текст] / *К. Уолт*. – Москва: Техносфера, 2010. – 328 с.
7. *Мёрфи, Е.* Всё о синтезаторах DDS [Текст] / *Е. Мёрфи, К. Слэттери* // Компоненты и Технологии. – 2005. – № 1.
8. *Евстифеев, А. В.* Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «Atmel» [Текст] / *А. В. Евстифеев*. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.
9. *Bazhenov, V. H.* Design features of eddy current flaw detectors on the microcontrollers [Text] / *V. H. Bazhenov, K. A. Hloinik* // Scientific proceedings NDT days 2016 XXXI International Conference «Defectoscopia 16». – Sozopol, Bulgaria, 2016.
10. *Герасимов, В. Г.* Неразрушающий контроль. Кн. 3. Электромагнитный контроль [Текст]: практ. пос. / *В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков; под ред. В. В. Сухорукова*. – М.: Высшая школа, 1992. – 312 с.

Bibliography (transliterated):

1. Pestryakov, V. B. (1968). Fazovye radiotekhnicheskie sistemy (osnovy statisticheskoy teorii). Moscow: Sov. Radio, 468.
2. Bazhenov, V. H., Hloinik, K. A. (2017). Pat. No. 118164 UA. Vykhrostrumovyi amplitudno-fazovyi sposib neruinivnoho kontroliu. MPK (2017.01) G01N27/01. No. u2017 01264; published: 25.07.2017, Bul. No. 14.
3. Bazhenov, V., Protasov, A., Gloinik, K. (2017). Increasing of operation speed of digital eddy current defectoscopes based on frequency synthesizer. 2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS). doi: 10.1109/mrrs.2017.8075051
4. Bazhenov, V. H., Klymashevskaia, V. M., Hloinik, K. A. (2009). Pat. No. 45908 UA. Tsyfrovyi bahatofunktsionalnyi vykhrostrumovyi defektoskop. MPK G01N27/00. published: 25.11.2009, Bul. No. 14.
5. Uchanin, V. M. (2013). Nakladni vykhrostrumovi peretvoriuvachi podviinoho dyferentsiiuvannia. Lviv: SPOLOM, 268.
6. Uolt, K. (2010). Proektirovanie sistem cifrovoy i smeshanoy obrabotki signalov. Moscow: Tekhnosfera, 328.
7. Merfi, E., Sletteri, K. (2005). Vse o sintezatorah DDS. Komponenty i Tekhnologii, 1.
8. Evstifeev, A. V. (2004). Mikrokontrollery AVR semeystv Tiny i Mega firmy «Atmel». Moscow: Izdatel'skiy dom «Dodeka-XXI», 560.
9. Bazhenov, V. H., Hloinik, K. A. (2016). Design features of eddy current flaw detectors on the microcontrollers. Scientific proceedings NDT days 2016 XXXI International Conference «Defectoscopia 16». Sozopol, Bulgaria.

10. Gerasimov, V. G., Pokrovskiy, A. D., Suhorukov, V. V.; Suhorukov, V. V. (Ed.) (1992). Nerazrushayushchiy kontrol'. Kn. 3. Elektromagnitnyy kontrol'. Moscow: Vysshaya shkola, 312.

Надійшла (received) 09.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Ортогональний амплітудно-фазовий метод вимірювання при проектуванні вихрострумових дефектоскопів на базі мікроконтролерів/ Баженов В. Г., Гльойнік К. А., Ходневич С. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.60–64. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Ортогональный амплитудно-фазовый метод измерения при проектировании вихретокового дефектоскопа на базе микроконтроллеров/ Баженов В. Г., Гльоник К. А., Ходневич С. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.60–64. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Orthogonal amplitude-phase method of measurement in design of extrusion defectoscopes on the basis of microcontrollers/ Bazhenov V., Gloinik K., Khodnevych S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.60–64 . – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Баженов Віктор Григорович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри Приладів та систем неруйнівного контролю; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; email: vgbazhenov@gmail.com.

Баженов Виктор Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», доцент кафедры Приборов и систем неразрушающего контроля; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056; email: vgbazhenov@gmail.com.

Bazhenov Viktor – PhD, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", associate professor of the Department of Nondestructive Testing Systems; Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056; email: vgbazhenov@gmail.com.

Гльойнік Костянтин Анатолійович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», аспірант кафедри Приладів та систем неруйнівного контролю; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056.

Гльоник Константин Анатольевич – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», аспирант кафедры Приборов и систем неразрушающего контроля; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056.

Gloinik Konstsntin – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute of the City of Sikorsky", postgraduate of the Chair of Priladiv and non-verified control systems; Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056

Ходневич Сергій Васильович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», магістрант кафедри Приладів та систем неруйнівного контролю; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; email: pbf.pk61m@gmail.com.

Ходневич Сергей Васильевич – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», магистрант кафедры Приборов и систем неразрушающего контроля; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056; email: pbf.pk61m@gmail.com.

Khodnevych Serhii – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute of the City of Sikorsky", magistrant of the Chair of Priladiv and non-verified control systems; Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056; email: pbf.pk61m@gmail.com.

УДК 615.849.19

В. В. ШЛИКОВ

3D-МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО ОБМІНУ В МІОКАРДІ ТА КОРОНАРНИХ СУДИНАХ СЕРЦЯ

Запропоновано математичну 3D-модель теплового обміну в міокарді та коронарних судинах серця, що враховує теплопровідність і вільну конвекцію тепла в шарі міокарда для двох біофізичних станів тканин шлуночків серця – з нормальною щільністю розподілу коронарних судин у міокарді, а також за наявності зон ішемії у міокарді, які збіднені коронарними судинами. Таким чином, модулювання теплових процесів у міокарді підтверджує клінічні прояви хвороби серця, які вказують на невідповідність коронарного кровотоку метаболічним потребам серцевого м'яза. Отримані для теплової моделі температурні залежності дозволяю оцінити ступінь коронарної обструкції й ступінь звуження коронарних артерій у шлуночках серця, що є величиною пропорційною до змін температури.

Ключові слова: 3D-модель, міокард, розподіл температури, MSC Sinda.

Предложена математическая 3D-модель теплового обмена в миокарде и коронарных сосудах сердца, которая учитывает теплопроводность и свободную конвекцию тепла в слое миокарда для двух биофизических состояний тканей желудочков сердца – с нормальной плотностью распределения коронарных сосудов в миокарде, а также при наличии зон ишемии в миокарде, которые обеднены коронарными сосудами. Таким образом, моделирование тепловых процессов в миокарде подтверждает клинические проявления болезни сердца, которые указывают на несоответствие коронарного кровотока метаболическим потребностям сердечной мышцы. Полученные для тепловой модели температурные зависимости позволяют оценить степень коронарной обструкции и степень сужения коронарных артерий в желудочках сердца, является величиной пропорциональной к изменениям температуры.

Ключевые слова: 3D-модель, миокард, распределение температуры, MSC Sinda.

A mathematical 3D model of heat exchange in the myocardium and coronary vessels of the heart is proposed, which takes into account the thermal conductivity and free convection of heat in the myocardium layer for two biophysical states of the ventricular tissues of the heart – with a normal density of coronary artery distribution in the myocardium, and also in the presence of ischemic zones in the myocardium impoverished coronary vessels. Thus, modeling of thermal processes in the myocardium confirms clinical manifestations of heart disease, which indicate a discrepancy between coronary blood flow and metabolic needs of the heart muscle. The temperature dependences obtained for the thermal model make it possible to assess the degree of coronary obstruction and the degree of narrowing of the coronary arteries in the ventricles of the heart, being proportional to changes in temperature.

Keywords: 3D model, myocardium, temperature distribution, MSC Sinda.

Вступ. Тепловий режим організму контролюється в організмі різними відділами нервової системи, головним чином вегетативними. На сучасному етапі передбачається існування цілого ряду нервових центрів, в тій чи іншій мірі відповідальних за підтримання теплового балансу організму [1]. Вони розташовуються на рівні гіпоталамічних, таламічних, стріарних, коркових і спінальних ядер і в нормі працюють злагоджено. З балансу кількості тепла, що передається через шкірний покрив в одиницю часу і кількості тепла, вироблюваного усередині організму, можна оцінити величину часу прогріву тканини тіла τ до температури T_0 ^oC [2]:

$$\tau = \frac{c\rho l^2}{\lambda}, \qquad (1)$$

де $c = (2,2-4)\cdot 10^3$ $Дж/(кг\cdot{}^oK)$ – вагова питома теплоємність шкірного покриву; $\rho = 1,02\cdot 10^3$ $кг/м^3$ – питома вага шкірного покриву; $l = (5-10)\cdot 10^{-3}$ – товщина шкіри, включаючи жировий прошарок; $\lambda = (0,2-2)$ $кДж/(м\cdot ч\cdot{}^oK)$ – теплопровідність.

При аналізі балансу кількості тепла звертають особливу увагу на виявлення зон гіпер- і гіпотермії і порушення структури судинного малюнку, оцінюють протяжність ділянки гіпер- або гіпотермії (обмежений, протяжний, дифузний), його локалізацію, розміри, форму, контури. В умовах штучного кровообігу на термограмах проявляються ефекти нерівномірного розподілу температури в тканинах організму людини під час керованого охолодження і зігрівання [3]. При запальних процесах визначається зона гіпертермії, що відповідає області інфільтрації, що має неоднорідну структуру, при цьому відзначається різниця температур з навколишніми тканинами $0,7-1^oC$ при хронічному запаленні, $1-1,5^oC$ при гострому і понад $1,5-2^oC$ – при деструктивному процесі [4, 5]. В експериментальних та хірургічних ситуаціях, пов'язаних з серцем, дані термографії можуть допомогти визначити ступінь ішемічного пошкодження міокарду, серця і кровоносних судин під час операції [6, 7].

Рівняння теплопровідності в системі MSC Sinda. Для знаходження температурного поля в системі MSC Sinda використовується диференціальне рівняння теплопровідності, отримане на основі узагальненого рівняння теплопровідності [8, 9]:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = -div(\vec{q}) + q_v, \qquad (2)$$

де C_p – питома теплоємність міокарда, $\frac{Дж}{кг\cdot K}$, ρ – щільність тканин міокарда, $\frac{кг}{м^3}$, $\vec{q} = \vec{q}_c + \vec{q}_R$ – швидкість зміни температури в одиниці об'єму міокарда, q_R – щільність теплового потоку за рахунок тепловідачі, $\frac{Вт}{м^2}$, q_v – щільність розподілу в міокарді структур коронарних судин.

Якщо величина коефіцієнта теплопровідності є постійної, тоді теплопередача в міокарді визначається у вигляді:

$$div(\vec{q}_c) = -\lambda_p\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right), \qquad (3)$$

де x, y, z – просторові координати, λ_p – коефіцієнт теплопровідності міокарда, $\frac{Вт}{м\cdot K}$.

© В. В. Шликов. 2017

В окремому випадку, для ділянок міокарда, що збіднені коронарними судинам, внутрішні джерела тепла в міокарді можуть бути відсутніми, що означає $q_v = 0$.

При цьому, для різних ступенів неоднорідності температурного поля, вектор швидкості потоку повинен задовольняти закону збереження маси отриманого тепла, або рівнянню нерозривності, яке має вигляд:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div(\rho \vec{u}) = 0, \quad (4)$$

де $\vec{u}$ – вектор швидкості теплового потоку, $\frac{м}{с}$.

Таким чином, узагальнене диференціальне рівняння теплопровідності для розрахунку конвекційного потоку в міокарді має вид:

$$\begin{cases} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + div(\rho \vec{u} \frac{\partial T}{\partial t}) = -div(\vec{q}_c) - div(\vec{q}_R), \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + div(\rho \vec{u}) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

У тензорній формі в декартовій системі координат рівняння будуть виглядати відповідним чином:

$$\begin{cases} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho S_p (\frac{\partial (uT)}{\partial x} + \frac{\partial (uT)}{\partial y} + \frac{\partial (uT)}{\partial z}) = -\lambda_p (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) - \alpha (T - T_0), \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho (\frac{\partial (uT)}{\partial x} + \frac{\partial (uT)}{\partial y} + \frac{\partial (uT)}{\partial z}) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

де $\alpha = \frac{\lambda_p}{l} N_u$ – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні міокарда, l – товщина стінки міокарда, $м$, N_u – критерій Нуссельта, який характеризує процеси теплопереносу на границі між міокардом і коронарними судинами.

Коефіцієнт тепловіддачі характеризує інтенсивність конвекційного теплообміну між міокардом і кров'ю, що рухається в коронарних судинах, за рахунок переносу теплоти між міокардом і коронарними судинами.

Для ламінарного руху крові в системі штучного кровообігу критерій Нуссельта можна представити у вигляді рівняння:

$$N_{u\,Г} = 0{,}15 R_e^{0{,}33} \cdot P^{0{,}43} \cdot G_l^{0{,}1} \cdot \left[\frac{P_Г}{P_{Г,st}} \right]^{0{,}5} \cdot E, \quad (7)$$

де $R_e = \frac{v_{liq} \cdot l \cdot \rho_{liq}}{\mu_{liq}}$ – критерій Рейнольдса, який характеризує співвідношення сил інерції та грузлого тертя потоку,

$P_Г = \frac{C_{liq} \cdot \mu_{liq}}{\lambda_p}$ – критерій Прандтля, який характеризує фізико-хімічні властивості теплоносія – крові,

$G_Г = \frac{l^3 g \beta_{liq} \Delta T}{\nu_{liq}}$ – критерій Грасгофа, який характеризує рух крові в системі у вільному режимі,

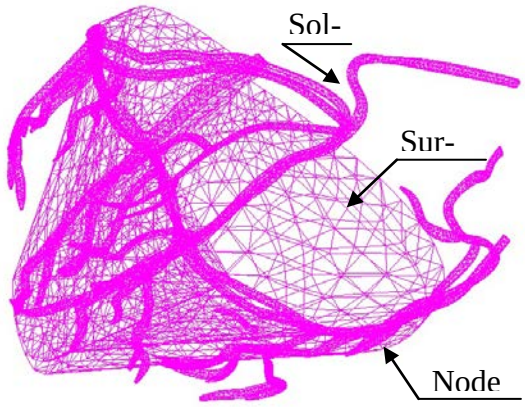
$\Delta T = T_{heart} - T_{liq}$ – температурний напір між стінкою міокарда й кров'ю в коронарних судинах серця,

λ_{pc} – теплопровідність стінки міокард-коронарні судини, $\frac{Вт}{м \cdot К}$, $\nu_{liq} = \frac{\mu_{liq}}{\rho_{liq}}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості крові, $\frac{м^2}{с}$, ρ_{liq} – щільність крові, $\frac{кг}{м^3}$, c_{liq} – питома теплоємність крові, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$, β_{liq} – коефіцієнт температурного розширення теплоносія, $\frac{1}{К}$, v_{liq} – швидкість руху крові, $\frac{м}{с}$, E_l – табличний коефіцієнт, який залежить від значення критерію Рейнольдса, g – прискорення вільного падіння, $\frac{м}{с^2}$.

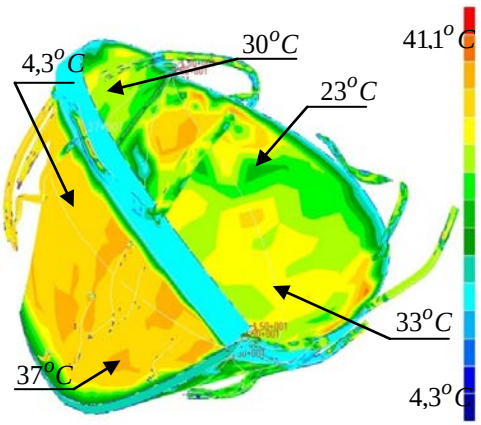
Температурний напір $\Delta T = T_{heart} - T_{liq}$ між стінкою міокарда і кров'ю в коронарних судинах серця можна визначити за допомогою застосування методів термографічного вимірювання температури на поверхні міокарда в умовах штучного кровообігу, що дозволяють контролювати градієнт температури між тканинами тіла і серця з точністю не менше 0,5 °C.

Теплова 3D-модель для міокарду та коронарних судин серця. Для визначення довжини, діаметру і контурів коронарних артерій, ступеню звуження просвіту коронарних артерій та локалізації ішемічного пошкодження, необхідно більш детальне уявлення про термодинамічні процеси які відбуваються у міокарді та коронарних судинах серця. Для дослідження теплових процесів у серці в умовах штучного кровообігу розроблено 3D-модель теплового обміну, яка містить об'єкти – м'яз міокарду і коронарні судини, що реалізовані в системі MSC Patran із вбудованою у модель тепловою RC – мережею (TNM – Thermal Network Metod) [8]. Теплова 3D-модель описується системою рівнянь теплопровідності, що представляються у вигляді сотово-центрованих вузлів і опорів між цими вузлами з використанням методу кінцевих різниць [9].

При побудові геометричної 3D-моделі шлуночків серця за допомогою вузлів теплової мережі (Nodes) був забезпечений термоконтакт між тривимірними тілами – поверхнею міокарда (Surface), тілом коронарних артерій (Solid), рідиною для охолодження серця (рис. 1, а). Розв'язок рівняння теплопровідності та вільної конвекції тепла у вузлах вбудованої RC – мережі для процесу гіпертермії серця в умовах штучного кровообігу представлено в системі MSC Sinda (рис. 1, б).



а



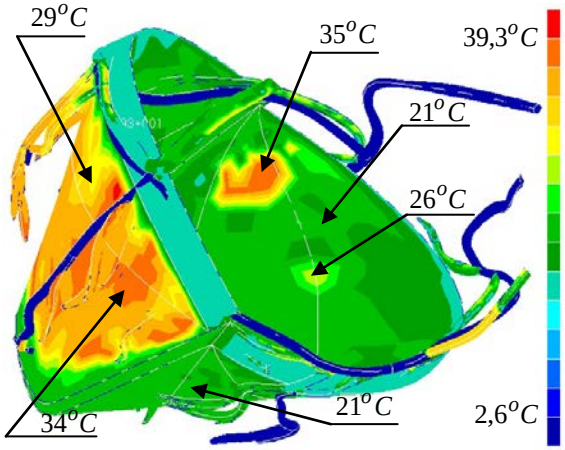
б

Рис. 1 – Розподіл температур у системі MSC Sinda на поверхні міокарда: а – модель у системі MSC Patran для ділянки міокарда, коронарних судин і рідким середовищем із вбудованою у модель тепловою RC- мережею; б – розрахунок розподілу температур у системі MSC Sinda на поверхні міокарда при зігріванні серця в умовах штучного кровообігу

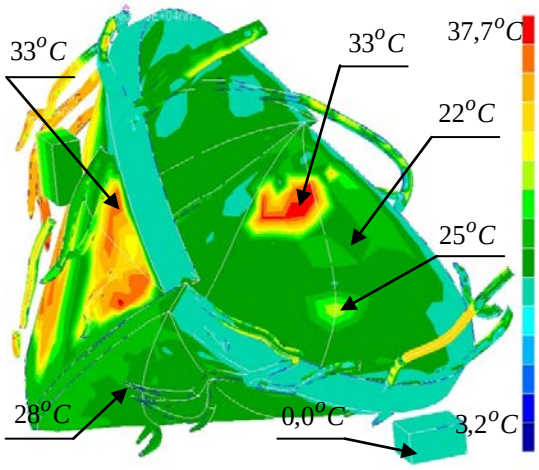
Для представленої 3D – моделі розподіл температур у шарі при зігріванні серця показує, що різниця температур на зовнішній поверхні шару міокарда становить величину $\Delta T_1 \approx 37-35=2,0\,^oC$ і менше. Розв'язок рівняння теплопровідності та вільної конвекції для внутрішньої поверхні міокарда дає різницю температур у міокарді, яка досягає значення $\Delta T_2 \approx 30-23=7.0\,^oC$ в шарі міокарда з нормальною щільністю посудин, і значення $\Delta T_3 \approx 33-23=10.0\,^oC$ в шарі зі зменшеною щільністю судин.

Для дослідження процесу гіпотермії серця в умовах штучного кровообігу в системі MSC Sinda виконано розв'язок рівняння теплопровідності та вільної конвекції тепла у вузлах вбудованої RC – мережі без використання додаткового охолодження (рис. 2, а) і з використанням льоду з температурою $T_0 \approx 0,0\,^oC$ (рис. 2, б) для додаткового охолодження міокарду і крові в судинах.

При охолодженні серця (рис. 2, а) розрахунок розподілу температур у системі MSC Sinda у шарі міокарда дає різницю температур $\Delta T_4 \approx 34-29=5,0\,^oC$ на зовнішній поверхні міокарда і різницю температур на внутрішній поверхні шару міокарда, яка досягає значення $\Delta T_5 \approx 26-21=5.0\,^oC$ в шарі міокарда з нормальною щільністю судин, і значення $\Delta T_6 \approx 35-26=9.0\,^oC$ в шарі зі зменшеною щільністю судин. Використання льоду з температурою $T_0 \approx 0,0\,^oC$ (рис. 2, б) у процесі охолодження серця дає різницю температур $\Delta T_7 \approx 33-28=5,0\,^oC$ на зовнішній поверхні міокарда і різницю температур на внутрішній поверхні шару міокарда, яка досягає значення $\Delta T_8 \approx 25-22=3,0\,^oC$ в шарі міокарда з нормальною щільністю судин, і значення $\Delta T_9 \approx 33-26=7.0\,^oC$ в шарі зі зменшеною щільністю судин. Додаткове охолодження дозволяє зменшити різницю температур на зовнішній поверхні та внутрішній поверхні міокарда на величину $\Delta T_i \approx 2\ ^oC$.



а



б

Рис. 2 – Розподіл температур у системі MSC Sinda на поверхні міокарда: а – при охолодженні серця в умовах штучного кровообігу; б – при охолодженні серця з льодом в умовах штучного кровообігу

Аналіз результатів моделювання. Таким чином, модулювання теплових процесів у міокарді підтверджує клінічні прояви хвороби серця, які вказують на невідповідність коронарного кровотоку метаболічним потребам серцевого м'яза. Зниження кровопостачання у зонах ішемії міокарда призводить до нерівномірного розподілу температур у серці, що є суттєвим у ділянках міокарда з малою щільністю коронарних судин.

Застосування льоду для додаткового охолодження в умовах штучного кровообігу дозволяє суттєво

зменшити нерівномірність розподілу температур на поверхні серця. Моделювання процесів теплообміну в системі MSC Sinda показує розподіл температур на поверхні міокарда, а також на границі, яка розділяє міокард і коронарні судини. Результати моделювання визначають різницю температур на границі, яка розділяє міокард і коронарні судини не більш 0,5 °C для ділянок міокарда з нормальною щільністю розподілу коронарних судин, і більш 1,0 °C для ділянок міокарда, які мають зони ішемії.

Отримані для теплової моделі температурні залежності дозволяю оцінити ступінь коронарної обструкції й ступінь звуження коронарних артерій у шлуночках серця, що є величиною пропорційною до змін температури. Причому в зонах ішемії спостерігається значно нерівномірне зниження і підвищення температури міокарда при охолодженні та зігріванні серця, відповідно.

Висновки. Використання теплової 3D-моделі міокарда і коронарних судин серця дає додаткову інформацію про термодинамічні процеси які відбуваються у міокарді в умовах штучного кровообігу. Застосування результатів моделювання дозволяє підвищити ефективність існуючих методів безконтактного контролю температури [10], що використовуються для моніторингу коронарної обструкції у міокарді та судинах в умовах штучного кровообігу.

Перспективним є використання теплової 3D-моделі міокарда і коронарних судин для оцінки швидкості зміни температури в міокарді при гіпотермії та гіпертермії серця, що дозволить застосовувати термографічні методи для відділення контурів коронарних судин і зон ішемії. Вдосконалення теплової моделі та методів безконтактного контролю температури серця дозволить підвищити безпечність операцій на відкритому серці.

Список літератури:

1. *Лагутин, А. Ю.* Средства оценки состояния ЦНС у кардиохирургических больных [Текст] / *А. Ю. Лагутин, В. В. Шлыков, Н. Л. Гришина* // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 5-3 (24). – С. 26–27.
2. *Котовський, В. Й.* Обгрунтування вимог до умов проведення термографічних досліджень біологічних об'єктів [Текст] / *В. Й. Котовський* // Вісті академії інж. наук України. – 2009. – № 2 (39). – С. 6–11.
3. *Khudetsky, I. U.* Use of Thermal Imaging for Control of the Process Hypothermia Cardiac [Text] / *I. U. Khudetsky, V. A. Danilova, V. V. Shlykov* // The Polish Journal of Applied Sciences. – 2015. – Vol. 1, Issue 3. – P. 93–96.
4. *Nicholas, A.* Medical Infrared imaging [Text] / *A. Nicholas, B. Diakides, D. Joseph, A. Bronzino*. – CRC Press Taylor Group LLC, London, 2008. – 451 p.
5. *Shlykov, V.* Application of Model of Heat Exchange for Miocardium Provided Stationary Convection Laminar Flow [Text] / *V. Shlykov, V. Danilova, V. Maksymenko, M. Sychyk* // Journal of Cardiology & Current Research. – 2017. – Vol. 10, Issue 1. – Aailable at: http://medcraveonline.com/JCCR/JCCR-10-00350.pdf
6. *Данілова, В. А.* Застосування теплобачення в діагностиці судинних патологій [Текст] / *В. А. Данілова, В. В. Шликов* // Электроника и связь. – 2014. – Т. 19, № 5 (82). – С. 73–75.
7. *Данілова, В. А.* Тепловізійне дослідження розподілу температури міокарда [Текст] / *В. А. Данілова, В. В. Шликов* // Наукові Вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5. – С. 106–111.
8. *Moin, P.* Fundementals of Engineering Numerical Analysis [Text] / *P. Moin*. – 2-nd ed. – Cambridge University Press, New York, 2010. doi: 10.1017/cbo9780511781438
9. *Maksymenko, V. B.* The Discrete Model for the System of the Myocardium and Coronary Vessels [Text] / *V. B. Maksymenko, V. A. Danilova, V. V. Shlykov* // Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnic Institute". – 2017. – Issue 1. – P. 54–60. doi: 10.20535/1810-0546.2017.1.90044
10. *Максименко, В. Б.* Отображение тепловых неоднородностей для последовательности изображений в видео термограмм [Текст] / *В. Б. Максименко, В. В. Шлыков, В. А. Данилова* // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2017. – № 19 (1241). – С. 42–47. – Режим доступу: http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/108075/108075-229239-1-PB.pdf

Bibliography (transliterated):

1. Lagutin, A. Yu., Shlykov, V. V., Grishina, N. L. (2014). Means of assessing the condition of the central nervous system in cardiac surgery patients. Mezhdunarodnyiy nauchno-issledovatelskiy zhurnal, 5-3 (24), 26–27.
2. Kotovs'kyy, V. Y. (2009). Substantiation of requirements for conditions of conducting of thermographic researches of biological objects. Visti akademiyi inzh. nauk Ukrayiny, 2 (39), 6–11.
3. Khudetsky, I. U., Danilova, V. A., Shlykov, V. V. (2015). Use of Thermal Imaging for Control of the Process Hypothermia Cardiac. The Polish Journal of Applied Sciences, 1 (3), 93–96.
4. Nicholas, A., Diakides, B., Joseph, D., Bronzino, A. (2008). Medical Infrared imaging. CRC Press Taylor Group LLC, London, 451.
5. Shlykov, V., Danilova, V., Maksymenko, V., Sychyk, M. (2017). Application of Model of Heat Exchange for Miocardium Provided Stationary Convection Laminar Flow. Journal of Cardiology & Current Research, 10 (1). Aailable at: http://medcraveonline.com/JCCR/JCCR-10-00350.pdf
6. Danilova, V. A., Shlykov, V. V. (2014). The use of thermal imaging in the diagnosis of vascular lesions. Elektronyka y svyaz', 19 (5 (82)), 73–75.
7. Danilova, V. A., Shlykov, V. V. (2014). Thermovisional study of the distribution of myocardium temperature. Naukovi Visti NTUU «KPI», 5, 106–111.
8. Moin, P. (2010). Fundementals of Engineering Numerical Analysis. Cambridge University Press, New York. doi: 10.1017/cbo9780511781438
9. Maksymenko, V. B., Danilova, V. A., Shlykov, V. V. (2017). The Discrete Model for the System of the Myocardium and Coronary Vessels. Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnic Institute", 1, 54–60. doi: 10.20535/1810-0546.2017.1.90044
10. Maksymenko, V. B., Danilova, V. A., Shlykov, V. V. (2017). Displays thermal inhomogeneities for a sequence of images in video thermograms. Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" Ser.: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 19 (1241), 42–47. Available at: http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/108075/108075-229239-1-PB.pdf

Поступила (received) 14.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

3D-модель теплового обміну в міокарді та коронарних судинах серця/ Шликов В. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.65–69. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

3D-модель теплового обмена в миокарде и коронарных сосудах сердца/ Шлыков В. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.65–69. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

3D-model of heat exchange in the myocardium and coronary vessels of the heart/ Shlykov V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.65–69. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шликов Владислав Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Шлыков Владислав Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», пр. Победы, 37, Киев, Украина, 03056, e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Shlykov Vladyslav – PhD, associate Professor of Biomedical Engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056,

УДК 656.072.5

В. О. ВДОВИЧЕНКО

ВПЛИВ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО–ПЕРЕСАДОЧНИМИ ВУЗЛАМИ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ПИТОМУ ВАГУ НЕПРОДУКТИВНИХ

Запропоновано розглядати вплив оптимізаційних управлінських дій організації взаємодії суб'єктів в межах транспортно-пересадочних вузлів міського громадського транспорту на питому вагу непродуктивних простоїв транспортних засобів у зупиночних пунктах. На основі представленої багатоконтурної системи управління транспортно-пересадочними вузлами виділена структура адаптаційного циклу реалізації керуючих дій. Експериментальним шляхом для відповідних рівнів оптимізаційних управлінських дій встановлені закономірності зміни питомої ваги непродуктивного простою транспортних засобів в залежності від розміру вхідного маршрутного потоку.

Ключові слова: міський громадський пасажирський транспорт, транспортно–пересадочний вузол, зупиночний пункт, простій.

Предложено рассматривать влияние оптимизационных управленческих действий организации взаимодействия субъектов в рамках транспортно-пересадочных узлов городского общественного транспорта на удельный вес непроизводительных простоев транспортных средств в остановочных пунктах. На основе представленной многоконтурной системы управления транспортно-пересадочными узлами выделена структура адаптационного цикла реализации управляющих воздействий. Экспериментальным путем для соответствующих уровней оптимизационных управленческих действий установлены закономерности изменения удельного веса непроизводительного простоя транспортных средств в зависимости от размера входного маршрутного потока.

Ключевые слова: городской общественный пассажирский транспорт, транспортно–пересадочный узел, остановочный пункт, простой.

It is proposed to consider the influence of optimization management actions due to the organization of interaction of subjects of urban public passenger transport within the transport interchange hubs on the specific weight downtimes of unproductive of vehicles at stopping points. On the basis of the presented multi-contour management system of transport interchange hubs, there is selected the structure of adaptive three–level cycle of implementation of control actions. The presented approach to the evaluation of the effectiveness of optimization management actions in organizing the interaction between subjects in the transport interchange hub is based on an assessment of changes in its state through the determination of their impact on the level of unproductive downtimes of vehicles at stopping points. The peculiarity of the proposed method of assessing the change in the state of the transport interchange hub is that in it the transition function of its states is considered as a productive characteristic of the implementation of optimization management actions. Experimental way with the help of experimental way there are determined patterns of the change of the specific weight of unproductive downtimes of vehicles for the accordant levels of optimization, depending on the size of the incoming route flow. It was established that introduction of a complex of optimization management actions allows to increase the level of permissible input rout flow in the transport interchange hub by 30,7 %.

Keywords: urban public passenger transport, transport interchange hub, stopping point, downtime.

Вступ. Сучасний етап розвитку міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) ставить перед ним вимоги щодо забезпечення високого рівня ефективності технологічних процесів. Передумовою висування таких вимог є необхідність забезпечення повної реалізації потенціалу МГПТ в умовах високого рівня впливу чинників дестабілізації процесів. Серед основних чинників дестабілізації технологічних процесів МГПТ виділяють категорію зовнішніх збурень які в поєднанні з характерною внутрішньою неоднорідністю протікання процесів призводять до виникнення конфліктних ситуації. Конфліктні ситуації в структурі МГПТ виникають в точках взаємодії його суб'єктів та в умовах їх розвитку стають основним джерелом виникнення дорожньо–транспортних пригод, збільшення рівня екологічного забруднення та зниження його продуктивності. Основним елементом обслуговуючої підсистеми МГПТ де проявляються конфліктні ситуації є зупиночні пункти транспортно–пересадочних вузлів (ТПВ). В межах зупиночних пунктів відбуваються процеси простою транспортних засобів пов'язаних з виконанням технологічних операцій з забезпечення посадки (висадки) пасажирів. Одночасне прибуття транспортних засобів на зупиночний пункт призводить до появи конфлікту в ньому.

© В. О. Вдовиченко. 2017

Умовою ліквідації таких ситуацій є використання відповідних методів оперативного управління роботою МГПТ та його обслуговуючих підсистем.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Питання створення ефективних систем управління МГПТ сьогодні представляє значний інтерес в наукових дослідженнях та практичних розробках спрямованих на підвищення ефективності функціонування МГПТ [1–4]. На основі аналізу сучасних робіт [5–13] можна виділити загальну класифікацію підходів до формування системи управління МГПТ:

– управління на основі контролю часових параметрів руху транспортних засобів МГПТ [5–7];

– формування управлінських дій на основі логістичного підходу [8–9];

– удосконалення управлінських структур на основі використання сучасних телеметричних систем інформаційного забезпечення технологічних процесів [10–13].

Використання принципів організації управління роботою МГПТ на основі контролю часових параметрів руху дозволяє забезпечити умови спостереження за рухом транспортних засобів та дає можливість впровадження механізмів оперативного керування [5–7]. Однак для забезпечення координації взаємодії суб'єктів МГПТ в ТПВ існують певні обмеження їх використання які полягають у неможливості забезпечення зниження конфліктності стану через обмеженість їх ефективності в умовах стохастичності параметрів вхідного маршрутного потоку.

Використання логістичного підходу в формуванні управління МГПТ у роботі [8] представлено у вигляді системної задачі яка має своєю метою оптимізацію загального рівня провізних можливостей відносно поточних потреб пасажирів. Недоліком такого підходу є його структурна обмеженість яка полягає у розгляді в якості об'єктів управління сукупності маршрутів без врахування їх взаємодії в межах територіальних структур елементів пасажирської транспортної інфраструктури.

Використання сучасних телеметричних систем інформаційного забезпечення роботи МГПТ дає можливість підвищення його потенціалу за рахунок створення ефективних структур управління взаємодією всіх учасників транспортного процесу. В роботі [10] запропонована концептуальна модель механізму управління роботою МГПТ в контексті забезпечення сталого розвитку міського середовища. Представлена форма дозволяє виділити загальні принципи побудови системи управління МГПТ в межах окремих територіально–просторових структур. Однак представлений підхід має концептуальну форму та не реалізує можливість визначення результативності управлінських дій в межах конкретних об'єктів управління.

Враховуючи виявлені недоліки існуючих підходів до формування механізмів управління МГПТ виникає необхідність у проведенні досліджень спрямованих на визначення закономірностей впливу оптимізаційних управлінських дій на умови переходу стану зупиночних пунктів транспортно-пересадочних вузлів. У межах таких досліджень необхідно врахувати облік стохастичних умов формування вхідного маршрутного потоку в та виділити їх вплив на стан функціонування ТПВ.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення впливу оптимізаційних управлінських дій при організації роботи ТПВ на питому вагу непродуктивних простоїв транспортних засобів в зупиночних пунктах.

Задачею дослідження є визначення залежності зміни рівня питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів в ТПВ.

Для досягнення визначеної мети були поставлені наступні завдання:

1. У межах представленої багатоконтурної системи виділена структура адаптаційного циклу реалізації управління ТПВ МГПТ.

2. Експериментальним шляхом для відповідних рівнів оптимізаційних управлінських дій встановлені закономірності зміни питомої ваги непродуктивного простою транспортних засобів в залежності від розміру вхідного маршрутного потоку.

Матеріали та методи дослідження впливу оптимізаційних управлінських дій на питому вагу непродуктивних простоїв транспортних засобів в зупиночних пунктах ТПВ. Методологічною основою для формування управління технологічним процесом роботи ТПВ є: виділення структури та контуру адаптаційного циклу оптимізаційно-конструктивних дій, аналітичний опис оцінки переходу його функціонального стану та імітаційне моделювання процесу функціонування зупиночних пунктів для різних значень віхідного маршрутного потоку. Об'єктом дослідження є процес взаємодії суб'єктів МГПТ в ТПВ. Предметом дослідження є параметри формування непродуктивних простоїв транспортних засобів в зупиночних пунктах ТПВ.

Метою оперативного управління роботою ТПВ є стабілізація його поточного стану в межах безконфліктного рівня шляхом створення відповідних ресурсних резервів його зупиночних пунктів. Формування резервів пропускної здатності зупиночних пунктів ТПВ спрямоване на створення відповідних умов компенсації збурень їх роботи викликаних відхиленням часу прибуття транспортних засобів та коливанні їх пасажирообміну. Основним суб'єктами взаємодії виступають транспортні засоби, що прибувають в ТПВ. Потік суб'єктів характеризується інтервалом прибуття та набором параметрів, що визначають час простою транспортних засобів в зупиночних пунктах. Стабілізація інтервалу прибуття транспортних засобів ґрунтується на умовах створення безперешкодних умов їх руху по ділянкам вулично-дорожньої мережі де проходять траси маршрутів. Час простою транспортних засобів в зупиночних пунктах визначається тривалістю основних технологічних операцій пов'язаних з забезпеченням посадки–висадки пасажирів. У разі виникнення конфліктної ситуації в ЗП тривалість простою транспортних засобів збільшується на час непродуктивного простою який негативно впливає на провізні можливості маршруту та якість транспортного обслуговування пасажирів. Виходячи з необхідності розгляду МГПТ як багаторівневої функціональної системи [14] виникає потреба розробки багатоконтурної системи управління в якій повинна реалізовувати сукупність зворотних зв'язків які характеризують соціально-маркетингові, технологічні, організаційні та системні аспекти роботи МГПТ. Така форма ґрунтується на облі-

ку характеристичних контурних зв'язків в межах єдиної багатоконтурної системи управління ТПВ (рис. 1).

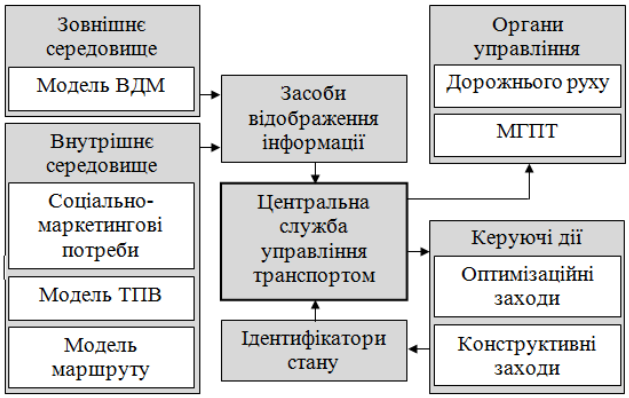


Рис. 1 – Структура багатоконтурної системи управління МГПТ

Розглянемо в якості об'єкта управління ТПВ, який характеризується вихідною величиною (S) яка відображає його стан відносно конфліктності взаємодії суб'єктів МГПТ в зупиночних пунктах. Об'єкт управління перебуває під дією зовнішніх збурень (G) які характеризуються відхиленням від планового інтервалу прибуття транспортних засобів в ТПВ та часом простою під посадкою-висадкою пасажирів. В якості керуючих впливів (X_i) на об'єкт управління виступає їх сукупність яка реалізується в межах вулично–дорожньої мережі (ВДМ), ТПВ та транспортних підприємств. Необхідно забезпечити тип управління спрямований на стабілізацію вихідної величини (S) в межах допустимого рівня (S_b). Якість управління в такому разі можна оцінювати мірою невизначеності $H(S)$ керованої величини S. У разі ефективного управління буде забезпечена відповідність $S<S_b$ при цьому міра невизначеності $H(S)=0$. Але зазвичай під дією збурень величина S відхиляється від заданої межі. За таких умов ентропія системи не дорівнює нулю $H(S/X_i)\neq 0$. Завдання системи управління – шляхом зменшення різноманітності станів ТПВ забезпечити їх стабілізацію в допустимих межах. Такий процес можливо досягти через зменшення невизначеностей переходів стану ТПВ від нормального до конфліктного. Міра невизначеності переходів станів ТПВ визначається величиною інформації у величині X_i про величину S:

$$I(S,X_i)=H(S)-H(S/X_i). \qquad (1)$$

Для забезпечення різноманітності переходів станів орган управління повинен мати у своєму розпорядженні достатню різноманітність керуючих впливів. Для багатоконтурної системи управління МГПТ такі умови забезпечуються обліком змін переходів станів всіх рівнів впливу керуючих дій. При цьому слід визначити можливі межі та шляхи досягнення результатів. У межах адаптаційного циклу який має своєю метою знаходження рівноважного стану (S) всіх підсистем відбуваються процеси які можуть включати в себе сукупність оптимізаційних ($OS.i$) та конструктивних ($CS.i$) рішень. Процес адаптації управлінських дій спочатку передбачає процедуру реалізації сукупності оптимізаційних рішень до складу яких входить розподіл маршрутів за зупиночними пунктами ТПВ ($OS.1$), слот–координація розкладу руху ($OS.2$) та оперативне корегування закріплення пунктів обслуговування ($OS.3$). Однак існує бар'єр ефективності (EL) таких рішень який не може бути подоланий без реалізації рішень пов'язаних зі зміною конструкції ТПВ ($CS.1$) та умовами роботи елементів ВДМ ($CS.2$). В умовах багаторівневого розгляду МГПТ процес управління може бути представлений у вигляді сукупності оптимізаційно-конструкторських рішень (рис. 2).

Умовою системної ефективності функціонування МГПТ є забезпечення відповідності станів всіх рівнів його представлення. Під дією керуючих впливів відбувається зміна стану ТПВ. Для визначення достатнього рівня реалізації управлінських рішень необхідно оцінити зміну стану МГПТ. Для цього можливо використати форму представлення стану МГПТ та його зовнішнього середовища у вигляді загального рівняння переходу станів:

$$S[k+1]=\Phi(t,\ S,\ k,\ )\cdot B[t\ ]+U\ k(\ )\cdot Z[t\ ]+G\ k(\ )\cdot\ [\ ], \qquad (2)$$

де $\Phi(S,U,G,t)$ – функція переходу яка враховує зміну стану ТПВ; $S[k]$ – вектор стану ТПВ на початковому рівні; $B(t)$ – векторні перетворення керуючих дій; $U[k]$ – керуючі дії; $Z(t)$ – векторні перетворення збурень; $G[k]$ – збурення.

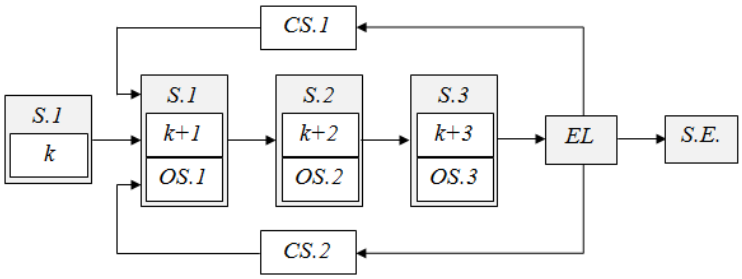


Рис. 2 – Елементи адаптаційного циклу управління ТПВ

Оцінка ефективності управлінських дій може бути реалізована на основі визначення можливості переходу ТПВ до стану його стабілізації при якому забезпечується зниження конфліктних ситуацій та ліквідується непродуктивний простій транспортних засобів. Для цього необхідно дослідити зміну рівня конфліктності взаємодії суб'єктів МГПТ в зоні зупиночних пунктів ТПВ. Визначення залежності впливу управлінських оптимізаційних дій дозволяє встановити допустимі межі параметричної області застосування відповідних механізмів стабілізації стану ТПВ. Природа збурень полягає у стохастичності процесів руху та простою транспортних засобів. Параметром оцінки рівня збурень виступає загальний вхідний маршрутний потік:

$$M_t=\sum_{i=1}^{n}t_i^s \qquad (3)$$

де t_i^s – плановий час простою транспортних засобів під посадкою–висадкою, хв; n – інтенсивність прибуття транспортних засобів, авт/год.

Параметром оцінки стану ТПВ виступає питома вага тривалості конфліктних ситуацій:

$$\rho_t^c = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^c}{t} \quad (4)$$

де t_i^c – час простою транспортних засобів в черзі, хв; t – тривалість періоду, хв.

Оцінка переходу стану ТПВ при впровадженні відповідних управлінських механізмів може бути реалізована шляхом визначення функції переходу. Для її опису доцільно провести експериментальні дослідження спрямовані на одержання закономірностей визначення впливу набору управлінських дій на питому вагу конфліктних ситуацій. За таких умов для оцінки стану ТПВ доцільно використовувати імітаційне моделювання. Імітаційна модель відтворює процеси які відбуваються на реальних об'єктах. В якості реального об'єкту обрано ТПВ «Ст. м. проспект Гагаріна» ТПВ «Левада» (49.981225, 36.241933) в якому спостерігається взаємодія 10 транзитних маршрутів МГПТ м. Харкова. За допомогою розробленої імітаційної моделі ТПВ встановлені відповідні значення питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів. На рис. 3 представлений розподіл значень та встановлена залежність зміни питомої ваги конфліктного стану зупиночних пунктів в умовах відсутності управлінських дій.

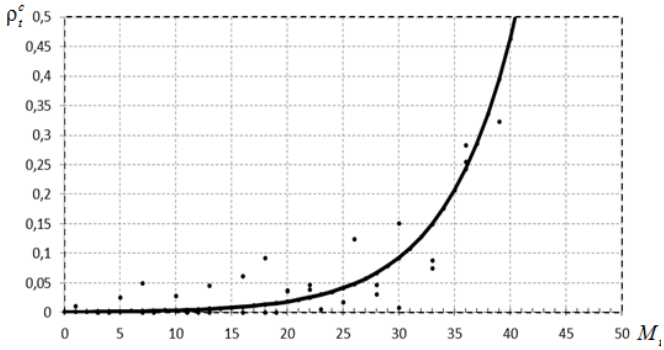


Рис. 3 – Розподіл питомої ваги непродуктивних простоїв при відсутності реалізації оптимізаційних управлінських дій (рівень k)

Послідовність реалізації оптимізаційних управлінських дій передбачає поетапне їх впровадження. На першому етапі (k+1) реалізуються заходи щодо раціонального розподілу маршрутів між постами обслуговування зупиночних пунктів ТПВ. Після впровадження розподілу маршрутів в ході імітаційного моделювання отриманий розподіл зміни питомої ваги конфліктних ситуацій для рівня управління (k+1) (рис. 4).

Розподіл питомої ваги конфліктних станів від рівня вхідного потоку для впровадження другого (k+2) та третього етапу (k+3) оптимізаційного управління представлені на рис. 5 та рис. 6 відповідно.

Представлені залежності зміни питомої ваги непродуктивного простою транспортирних засобів у ТПВ відображають загальну тенденцію щодо необхідності забезпечення відповідного рівня резервів пропускної можливості зупиночних пунктів. Необхідність формування резервів пропускної здатності зупиночних пунктів пояснюється нестабільністю руху транспортних засобів по ділянках вулично–дорожньої мережі міста.

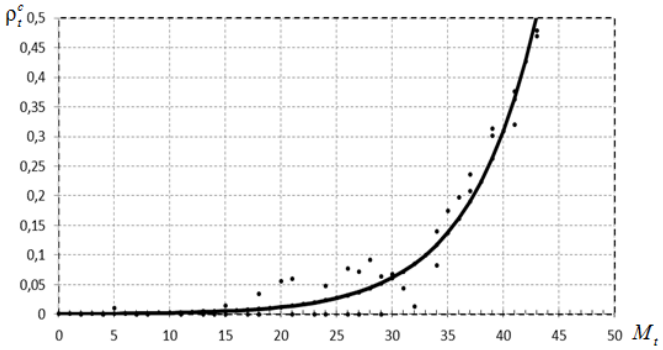


Рис. 4 – Розподіл питомої ваги тривалості непродуктивних простоїв при реалізації оптимізаційних управлінських дій О.1 (рівень k+1)

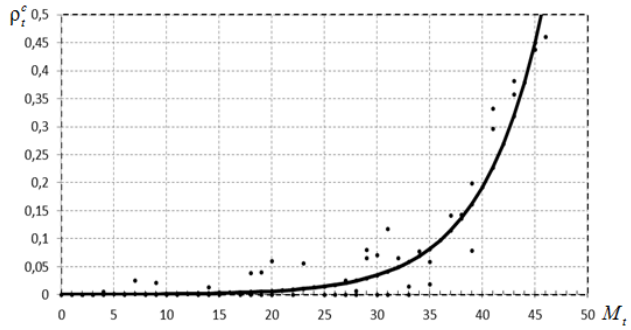


Рис. 5 – Розподіл питомої ваги тривалості непродуктивних простоїв при реалізації оптимізаційних управлінських дій О.2 (рівень k+2)

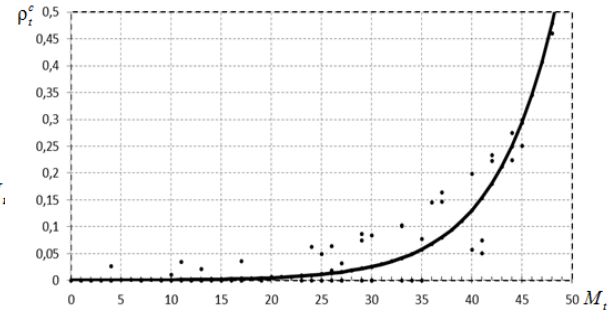


Рис. 6 – Розподіл питомої ваги тривалості непродуктивних простоїв при реалізації оптимізаційних управлінських дій О.3 (рівень k+3)

Результати дослідження впливу оптимізаційних управлінських дій на питому вагу непродуктивних простоїв транспортних засобів в зупиночних пунктах ТПВ. У результаті проведених досліджень можна встановити, що апроксимація питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів в зупиночних пунктах розраховується за експоненціальним законом. На основі отриманих експериментальних даних встановлені регресійні моделі які описують зміну питомої ваги часу непродуктивного простою транспортних засобів для відповідних рівнів реалізації оптимізаційних управлінських дій (табл. 1).

Рівень значимості отриманих моделей дозволяє зробити висновок про їх адекватність та можливість їх використання для формування загальної функції

оцінки переходу стану ТПВ. Функція переходу стану визначається на основі оцінки зміни питомої ваги непродуктивного простою в залежності від рівня управлінських дій відносно базового стану ТПВ. Графік зниження питомої ваги непродуктивного простою транспортних засобів наведено на рис. 7.

Таблиця 1 – Характеристика регресійних моделей

Рівень реалізації управлінських дій	Вид залежності	Коефіцієнт детермінації	F – критерій
k	$\rho_t^c = 0,000728e^{0,1614M_t}$	0,6624	9,81
k+1	$\rho_t^c = 0,000474e^{0,162M_t}$	0,7081	12,13
k+2	$\rho_t^c = 0,000209e^{0,1705M_t}$	0,8065	20,83
k+3	$\rho_t^c = 0,000195e^{0,1626M_t}$	0,7991	19,89

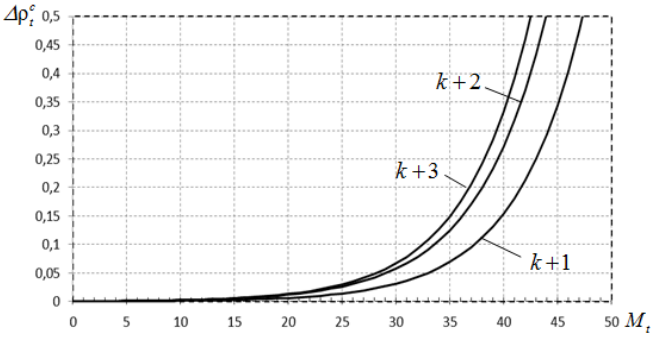


Рис. 7 – Зниження питомої ваги тривалості непродуктивних простоїв при реалізації оптимізаційних управлінських дій

Встановлені залежності зниження рівня питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів відображають загальну тенденцію щодо необхідності створення відповідних умов для формування раціонального рівня резервів пропускної здатності зупиночних пунктів які полягають у виділенні на основі абсолютного значення її зміни функції переходу стану ТПВ.

Обговорення результатів дослідження впливу оптимізаційних управлінських дій на питому вагу непродуктивних простоїв транспортних засобів в зупиночних пунктах ТПВ. Отримані в ході імітаційного моделювання залежності відображають загальну тенденцію при якій спостерігається експоненційне збільшення питомої ваги непродуктивного простою транспортних засобів в зупиночних пунктах ТПВ при зростанні рівня вхідного маршрутного потоку. Така тенденція пояснюється наявністю чітко вираженого характеристичного зв'язку між рівнем завантаження зупиночних пунктів ТПВ та умовами виникнення конфліктних ситуацій. При значенні вхідного потоку до 26 авт.хв./год. питома вага непродуктивного простою не залежить від наявності управлінських дій буде знаходитися в межах до 0,05, що є допустимим з точку зору впливу на ресурсні показники роботи маршрутів. При збільшенні вхідного маршрутного потоку для забезпечення стабілізації роботи ТПВ необхідно впроваджувати відповідні оптимізаційні заходи спрямовані на зниження рівня конфліктності. Розподіл маршрутів між зупиночними пунктами ТПВ на основі оцінки ресурсного забезпечення маршрутів дозволяє збільшити розмір допустимого вхідного потоку на 11,5 % до 29 авт.хв./год. Подальше впровадження слот–координації розкладу руху маршрутів МГПТ яка спрямована на узгодження часу прибуття транспортних засобів у ТПВ забезпечує допустимий рівень безконфліктності на рівні вхідного маршрутного потоку 32 авт.хв./год., що складає 23,1% в порівнянні з базовим рівнем. Реалізація повного трьохетапного комплексу оптимізаційних дій забезпечує можливість безконфліктного обслуговування при вхідному маршрутному потоці збільшеному на 30,8% у порівняні з базовим станом – до 34 авт.хв./год.

Бар'єр ефективності впровадження оптимізаційних управлінських заходів при допустимому рівні конфліктності ТПВ знаходиться на межі 34 авт.хв./год. При збільшенні вхідного маршрутного потоку для утримання питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів в допустимих межах необхідно проводити конструктивні заходи спрямовані на збільшення кількості постів обслуговування в зупиночних пунктах та впровадження заходів щодо зниження флуктуації часу прибуття транспортних засобів шляхом виділення пріоритетних смуг руху для МГПТ.

За умов обмеженості можливостей реалізації конструктивних заходів при збільшенні вхідного маршрутного потоку буде спостерігатися зростання питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів. При цьому слід визначити, що впровадження комплексу оптимізаційних управлінських дій дозволяє значно скоротити питому вагу непродуктивних простоїв. Так при рівні вхідного маршрутного потоку 40 авт.хв./год. при відсутності управлінських дій питома вага непродуктивного простою складає 0,463, а при їх реалізації – 0,130. Це свідчить про практичну доцільність та високу ефективність реалізації оптимізаційних управлінських дій спрямованих на стабілізацію роботи ТПВ.

Висновки

1. У реальних умовах функціонування МГПТ зниження питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів викликаних конфліктними ситуаціями в ТПВ досягається за рахунок впровадження комплексу оптимізаційних управлінських дій спрямованих на стабілізацію його роботи. В межах виділеного адаптаційного циклу реалізації управління ТПВ МГПТ встановлено, що бар'єр ефективності оптимізаційних управлінських дій знаходиться на межі вхідного маршрутного потоку 34 авт.хв./год. При перевищенні вхідного маршрутного потоку для забезпечення безконфліктних умов роботи ТПВ необхідно реалізовувати конструктивні заходи пов'язані зі збільшенням кількості постів обслу-

говування та впровадження пріоритетного руху МГПТ на ділянках вулично–дорожньої мережі.

2. На основі проведених експериментальних досліджень встановлений експоненціальний вид закономірностей зміни питомої ваги непродуктивних простоїв транспортних засобів в зупиночних пунктах ТПВ. Граничною межею необхідності впровадження оптимізаційних управлінських дій є вхідний маршрутний потік в розмірі 26 авт.хв./год. При збільшенні вхідного маршрутного потоку відбувається стрімке зростання питомої ваги непродуктивного простою. За рахунок реалізації заходів щодо раціонального розподілу маршрутів між зупиночними пунктами розмір допустимого вхідного маршрутного потоку може бути збільшено на 11,5% до 29 авт.хв./год. У разі подальшого впровадження слот–координації можливо його збільшення на 23,1 % до 32 авт.хв./год., а повний трьохрівневий комплекс оптимізаційних управлінських дій забезпечує допустимий рівень безконфліктності при вхідному маршрутному потоці 34 авт.хв./год., що на 30,8 % більше ніж при базовому стані організації взаємодії суб'єктів МГПТ в ТПВ.

Список літератури:

1. *Польгун, М. Б.* Анализ моделей оперативного диспетчерского управления городским пассажирским транспортом [Текст] / *М. Б. Польгун, А. В. Воробьева, А. В. Остроух* // Молодой ученый. – 2011. – № 4. – С. 9–13.
2. *Башинська, І. О.* Проблеми та шляхи удосконалення функціонування міського пасажирського транспорту [Текст] / *І. О. Башинська, В. Ю. Філіппов* // Економіка. Фінанси. Право. – 2017. – № 7/1. – С. 35–37.
3. *Ibarra-Rojas, O. J.* Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review / *O. J. Ibarra-Rojas, F. Delgado, R. Giesen, J. C. Muñoz* // Transportation Research Part B: Methodological. – 2015. – Vol. 77. – P. 38–75. doi: 10.1016/j.trb.2015.03.002
4. *Зырянов, В. В.* Повышение эффективности управления городским пассажирским транспортом Ростова-на-Дону [Текст] / *В. В. Зырянов, Е. Ю. Семчугова, А. А. Литвина* // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 2 (71). – С. 347–351.
5. *Vdovychenko, V.* Method of traffic optimization of urban passenger transport at transfer nodes / *V. Vdovychenko, O. Driuk, G. Samchuk* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, Issue 3 (87). – P. 47–53. doi: 10.15587/1729-4061.2017.103333
6. *Sánchez-Martínez, G. E.* Real-time holding control for high-frequency transit with dynamics / *G. E. Sánchez-Martínez, H. N. Koutsopoulos, N. H. M. Wilson* // Transportation Research Part B: Methodological. – 2016. – Vol. 83. – P. 1–19. doi: 10.1016/j.trb.2015.11.013
7. *Новиков, А. Н.* Применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для повышения эффективности функционирования городского общественного транспорта [Текст] / *А. Н. Новиков, А. Л. Севостьянов, А. А. Катунин, А. В. Кулев* // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 1. – С. 85–89.
8. *Кравченко, Е. А.* Концепция повышения логистической эффективности пассажирского транспорта в муниципальных образованиях [Текст] / *Е. А. Кравченко, А. Е. Кравченко* // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8. – С. 3–6.
9. *Ерошкин, И. Н.* Управление городским пассажирским транспортом в условиях роста автомобилизации путем применения логистического подхода [Текст] / *И. Н. Ерошкин, В. Н. Клочков* // Инновационная деятельность. – 2013. – № 1. – С. 44–48.
10. *Гнедіна, К. В.* Вдосконалення управління муніципальною транспортною системою в контексті сталого розвитку [Текст] / *К. В. Гнедіна* // Економічний простір. – 2015. – № 93. – С. 81–92.
11. Enoch, M. Sustainable transport, mobility management and travel plans [Text] / M. Enoch. – Routledge, 2016. – 224 p. doi: 10.4324/9781315611563
12. *Романова, Н. А.* Совершенствование организационных структур управления городским пассажирским транспортом [Текст] / *Н. А. Романова* // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 114. – С. 622–631.
13. *Weiner, E.* Urban transportation planning in the United States: history, policy, and practice [Text] / *E. Weiner*. – Springer, 2016. – 441 p. doi: 10.1007/978-3-319-39975-1
14. *Vdovychenko, V.* Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency [Text] / *V. Vdovychenko, Y. Nagornyy* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3, Issue 3 (81). – P. 44–51. doi: 10.15587/1729-4061.2016.71687

Bibliography (transliterated):

1. Pol'gun, M. B., Vorob'eva, V., Ostrouh, A. V. (2011). Analiz modeley operativnogo dispetcherskogo upravleniya gorodskim passazhirskim transportom. Molodoy ucheniy, 4, 9–13.
2. Bashynska, I. O., Filippov, V. Yu. (2017). Problemy ta shliakhy udoskonalennia funktsionuvannia miskoho pasazhyrskoho transportu. Ekonomika. Finansy. Pravo, 7/1, 35–37.
3. Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., Muñoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. Transportation Research Part B: Methodological, 77, 38–75. doi: 10.1016/j.trb.2015.03.002
4. Zyryanov, V. V., Semchugova, E. Yu., Litvina, A. A. (2013). Povyshenie effektivnosti upravleniya gorodskim passazhirskim transportom Rostova-na-Donu. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2 (71), 347–351.
5. Vdovychenko, V., Driuk, O., Samchuk, G. (2017). Method of traffic optimization of urban passenger transport at transfer nodes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (3 (87)), 47–53. doi: 10.15587/1729-4061.2017.103333
6. Sánchez-Martínez, G. E., Koutsopoulos, H. N., Wilson, N. H. M. (2016). Real-time holding control for high-frequency transit with dynamics. Transportation Research Part B: Methodological, 83, 1–19. doi: 10.1016/j.trb.2015.11.013
7. Novikov, A. N., Sevost'yanov, A. L., Katunin, A. A., Kulev, A. V. (2013). Primenenie intellektual'nyh transportnyh sistem (ITS) dlya povysheniya effektivnosti funkcionirovaniya gorodskogo obshchestvennogo transporta. Mir transporta i tekhnologicheskih mashin, 1, 85–89.
8. Kravchenko, E. A., Kravchenko, A. E. (2015). Koncepciya povysheniya logisticheskoy effektivnosti passazhirskogo transporta v municipal'nyh obrazovaniyah. Fundamental'nye issledovaniya, 8, 3–6.
9. Eroshkin, I. N., Klochkov, V. N. (2013). Upravlenie gorodskim passazhirskim transportom v usloviyah rosta avtomobilizacii putem primeneniya logisticheskogo podhoda. Innovacionnaya deyatel'nost', 1, 44–48.
10. Hnedina, K. V. (2015). Vdoskonalennia upravlinnia munitsypalnoiu transportnoiu systemoiu v konteksti staloho rozvytku. Ekonomichnyi prostir, 93, 81–92.
11. Enoch, M. (2016). Sustainable transport, mobility management and travel plans. Routledge, 224. doi: 10.4324/9781315611563
12. Romanova, N. A. (2015). Sovershenstvovanie organizacionnyh struktur upravleniya gorodskim passazhirskim transportom. Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 114, 622–631.
13. Weiner, E. (2016). Urban transportation planning in the United States: history, policy, and practice. Springer, 441. doi: 10.1007/978-3-319-39975-1
14. Vdovychenko, V., Nagornyy, Y. (2016). Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (3 (81)), 44–51. doi: 10.15587/1729-4061.2016.71687

Надійшла (received) 07.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вплив оптимізаційного управління транспортно–пересадочними вузлами міського пасажирського транспорту на питому вагу непродуктивних простоїв транспортних засобів/ Вдовиченко В. О. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.69–75. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Влияние оптимизационного управления транспортно–пересадочными узлами городского пассажирского транспорта на удельный вес непроизводительных простоев транспортных средств/ Вдовиченко В. А. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.69–75. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Influence of optimization management of transport interchange hub of urban passenger transport on the share of unproductive downtime of vehicles/ Vdovychenko V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.69–75 . – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вдовиченко Володимир Олексійович – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно–дорожній університет, доцент кафедри "Транспортних технологій"; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002; e–mail: Vval2301@gmail.com.

Вдовиченко Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный автомобильно–дорожный университет, доцент кафедры "Транспортных технологий"; ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002; e–mail: Vval2301@gmail.com.

Vdovychenko Volodymyr – candidate of technical sciences, Kharkiv National Automobile and Highway University, associate professor of the department «Transport technology»; Yaroslav Mudry st, 25, Kharkiv, Ukraine. 61002; e–mail: Vval2301@gmail.com.

УДК 005.8

А. В. НАДТОЧИЙ

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ РОБОТИЗАЦІЇ ПІДВОДНИХ АРХЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Підводна археологія – сучасна галузь науки, яка розвивається стрімкими темпами. Вона постійно удосконалює методи як суто археологічних досліджень, так і засоби та інструменти для досягнення поставленої мети. На підставі аналізу застосування сучасних підводних апаратів-роботів у галузі підводних археологічних досліджень запропонована систематизація завдань проектного менеджменту. Розглянуто основні принципи розробки концепції удосконалення управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень, які можуть бути покладені в основу розробки і створення актуального для вітчизняної археології прикладного наукового напрямку – впровадження нових роботизованих технологій ведення підводних археологічних досліджень, підвищення їх продуктивності та якості, також зменшення ризику для життя і здоров'я учасників археологічних експедицій. Запропоновані засоби додатково стимулюють створення новітніх технологій у сфері вітчизняної робототехніки при виконанні задач підводної археології на малих і великих глибинах.

Ключові слова: археологічна експедиція; археологічні роботи; підводна археологія; морська робототехніка; проектний менеджмент; управління проектами роботизації

Подводная археология – современная отрасль науки, которая развивается стремительными темпами. Она постоянно совершенствует методы как чисто археологических исследований, так и средства и инструменты для достижения поставленной цели. На основании анализа применения современных подводных аппаратов-роботов в области подводных археологических исследований предложена систематизация задач проектного менеджмента. Рассмотрены основные принципы разработки концепции совершенствования управления проектами роботизации подводных археологических исследований, которые могут быть положены в основу разработки и создания актуального для отечественной археологии прикладного научного направления – внедрение новых роботизированных технологий ведения подводных археологических исследований, повышение их производительности и качества, а также уменьшение риска для жизни и здоровья участников археологических экспедиций. Предложенные средства дополнительно стимулируют создание новых технологий в сфере отечественной робототехники при выполнении задач подводной археологии на малых и больших глубинах.

Ключевые слова: археологическая экспедиция; археологические работы; подводная археология; морская робототехника; проектный менеджмент управления проектами роботизации

Underwater archeology - a modern branch of science, which develops at a rapid pace. She constantly improves methods of purely archaeological research, as well as tools and instruments for achieving the goal. Based on the analysis of the application of modern submarine robots in the field of underwater archaeological research, the systematization of tasks of project management is proposed. The main principles of the development of the concept of improving the management of robotic projects underwater archaeological research, which can be used as the basis for the development and creation of an actual applied archeology for the applied scientific direction, are considered - introduction of new robotic technologies for underwater archaeological research, increasing their productivity and quality, as well as reducing the risk to life and the health of the participants in the archaeological expeditions. The proposed means further stimulate the creation of the latest technologies in the field of domestic robotics when performing submarine archeology tasks at small and large depths.

Keywords: archaeological expedition; archaeological works; underwater archeology; marine robotics; project management; robotic project management

© А. В. Надточий. 2017

Вступ. Сучасний стан підводної діяльності в Україні характеризується застосуванням виключно водолазних технологій, що обумовлює низьку продуктивність та суттєву залежність від гідрометеологічних умов акваторій при роботах на малих глибинах [1].

Підводна дослідницька діяльність на «заводолазних» глибинах на цей час в Україні не проводиться через відсутність інноваційних підходів, які б передбачали застосування сучасних засобів підводної робототехніки, зокрема, вітчизняного виробництва [2].

У якості методологічної основи розробки концепції *K* управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень (ПАД) прийнято підхід, запропонований в [3], який передбачає пошук рішень з дотриманням наступних семи принципів:

1. принцип узгодженості цілей (*harmonization*) P_H;
2. принцип задоволеності всіх учасників (*satisfaction*) P_S;
3. принцип єдності основи (*unity*) P_U;
4. принцип неповної детермінованості і стохастичності (*incomplete*) P_I;
5. принцип повної системи (*full*) P_F;
6. принцип розвитку (*development*) P_D;
7. принцип комплексності підходу (*complex*) P_C.

Згідно з цими принципами концепцію удосконалення управління проектами роботизації ПАД пропонується будувати на відповідних семи постулатах:

– основна мета концепції – роботизація – має бути сумісною з цілями інших концепцій, що визначають функціонування різних складових ПАД (принцип узгодженості цілей P_H);

– реалізація проекту (від його задуму і до завершення) не повинна погіршувати умови виконання основних завдань ПАД та функціонування інших систем, що забезпечують досягнення мети (принцип задоволеності всіх учасників P_S);

– методологія та наукова термінологія застосування ТПА повинна інтегрувати досвід традиційних методів ведення археологічних досліджень [4] та методів проведення роботизованих пошукових та обстежувальних робіт [5, 6], а також створювати нові поняття, терміни і визначення як похідні від застосування нового інструментарію для ПАД (принцип єдності основи P_U);

– відсутність на цей час у практиці використання ПАР однозначних точних значень показників ефективності застосування ТПА має компенсуватись розробкою науково обґрунтованих методик оцінки ефективності застосування підводних роботів у проектах мілководної та глибоководної археології з урахуванням ризиків (принцип неповної детермінованості і стохастичності P_I) на основі аналітичного або сценарного підходів [7, 8];

– рівень деталізації проробки основних положень концепції щодо технічного, кадрового та організаційного забезпечення має відповідати рівню деталізації складових ПАД, для яких вона розробляється (принцип повної системи P_F);

– спрямованість на інноваційний розвиток та створення спеціалізованих ТПА археологічного призначення і роботизованих технологій на їх основі, використання новітніх досягнень у галузі управління проектами; це має збільшити ефективність їх використання при виконанні головних завдань ПАД (принцип розвитку P_D);

– впровадження концепції управління проектами роботизації ПАД повинно мати комплексну позитивну дію на підводну наукову археологічну діяльність та стимулювати використання підводної культурної спадщини в інтересах суспільства, розвиваючи при цьому нові форми використання отриманої археологічної інформації (принцип комплексності підходу P_C).

Таким чином, актуальною є робота з реалізації концепції *K*, яка може бути представлена наступною множиною принципів:

$$K=\{ P_H; P_P; P_U; P_I; P_F; P_D; P_C\}. \quad (1)$$

У зв'язку з практично повною відсутністю засобів підводної робототехніки в експедиційній практиці вітчизняних організацій, очевидно, що на цей час актуальними є питання теоретичного обґрунтування всіх семи принципів концепції управління проектами роботизації ПАД.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Стан підводних археологічних досліджень у будь-якій країні є індикатором її міжнародного рівня як морської держави, оскільки має забезпечуватись низкою показників правового, наукового, технічного та організаційного характеру.

Попередній аналіз свідчить, що розвиток підводної археології у світі супроводжується низкою нормативних та законодавчих актів міжнародного та державного рівнів, постійним вдосконаленням технологій проведення досліджень та створенням сучасного робототехнічного обладнання [9–12].

Серед інституціонального забезпечення ПАД слід відзначити Конвенцію ЮНЕСКО про охорону підводної культурної спадщини 2001 р. [9]. Наведені в ній основні міжнародні правила, що стосуються діяльності, спрямованої на дослідження підводної культурної спадщини, формують загальну схему організації робіт підводної археології.

Так звані «36 Правил», є основним довідковим документом в галузі підводної археології.

У напрямку технічного забезпечення проектів підводної археології світовий досвід спирається на широке застосування засобів морської робототехніки, зокрема, на автономні та телекеровані підводні апарати (ПА), оскільки тільки за їх допомогою можливим є повномасшабні дослідження затонулих об'єктів на «заводолазниз» глибинах [13].

Крім того, великий історико-археологічний потенціал мають внутрішні води України, оскільки на річках Дніпро, Південний Буг та інших у стародавні часи активно поселялись люди [14].

Вітчизняна підводна археологія розвивається, головним чином, на Чорному і Азовському морях, і донедавна охоплювала прибережну зону та малі (водолазні) глибини [15–17].

Новітні наукові дослідження, проведені вітчизняними науковцями, свідчать про перспективність розвитку підводної археології на Чорному морі [18–20]. За останніми даними у територіальних водах України

виявлено тисячі об'єктів підводної культурної спадщини, які знаходяться на глибинах 100 метрів і більше та мають національне та міжнародне значення.

Окремі експедиції свідчать про наявність тут унікальних підводних об'єктів різних історичних епох [21, 22].

Сьогодні Україна як морська держава має всі можливості для активізації ПАД у своїх територіальних водах, для участі у міжнародних проектах з археології та для широкого висвітлення її результатів в інтересах освіти, науки і культури [23, 24].

Одним з гальмівних факторів розвитку вітчизняної підводної археології є повна відсутність сучасних засобів морської робототехніки, яка у світовій практиці археологічних досліджень відіграє визначальну роль [25, 26]. Розвиток ненаселених підводних апаратів-роботів українського виробництва дає змогу виправити цю ситуацію та удосконалити технології ПАД за рахунок створення спеціалізованих засобів підводної робототехніки [27].

Однак, для цього необхідно удосконалити існуючі методи проектного менеджменту у галузі підводної археології, врахувавши зміни у кадровому, технічному та організаційному забезпеченні ПАД, обумовлені появою підводних апаратів-роботів та новітніх технологій їх застосування за призначенням. Крім того, необхідно удосконалювати нормативно-законодавчу базу ПАД шляхом внесення до неї вимог до роботизованих технологій виконання підводних археологічних робіт.

Аналіз технічної літератури та вітчизняний досвід у виконанні ПАД свідчить, що на сьогодні для вирішення завдань підводної археології (ПА) використовують наступні два основні типи підводної техніки:

– населені підводні апарати з гідронавтами-та археологами на борту;

– ненаселені автономні (АНПА) та прив'язні дистанційно керовані підводні апарати (опускні ОПА, буксировані БПА та самохідні телекеровані ТПА).

Застосування такої техніки має виконуватись з дотриманням наступних вимог «Конвенції про охорону підводної культурної спадщини» [9], зокрема: пріоритетним варіантом дослідження та охорони підводної культурної спадщини вважається можливість його збереження in situ (як є); діяльність, спрямована на підводну культурну спадщину, не повинна робити більший негативний вплив на неї, ніж це необхідно для цілей проекту ПА; до початку будь-якої діяльності, спрямованої на підводну культурну спадщину, готується проектна документація, надавана компетентною державною організацією для одержання дозволу й відповідної експертної оцінки.

Мета роботи – представлення моделі управління проектами роботизації підводної археологічної діяльності на основі концепції удосконалення управління проектами роботизації та визначення її прикладного значення для вітчизняної археології.

Розробка моделі управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень. Концептуальна модель, зазвичай, відображає причинно-наслідкові зв'язки, властиві досліджуваному об'єктові в межах, визначених цілями дослідження. По суті, це формальний опис об'єкта моделювання, який відображає концепцію (погляд) дослідника на проблему.

З цих позицій та із залученням теорії концептуального моделювання [28] будемо розробляти концептуальну модель управління проектами роботизації ПАД, виходячи з множини принципів (1) як переліку взаємопов'язаних задач, які мають бути розв'язані з урахуванням властивостей їх елементів і причинно-наслідкових зв'язків, властивих предмету дослідження та суттєвих для досягнення мети моделювання.

Згідно принципу узгодженості цілей P_H процес роботизації ПАД має бути сумісним з цілями інших концепцій, що визначають функціонування різних складових ПАД:

– відповідність вимогам міжнародних конвенцій, ратифікованих Україною у галузі підводної спадщини (позначимо цю вимогу через H_1 як елемент множини вимог H);

– відповідність чинному законодавству України, яке регулює археологічну діяльність (позначимо цю вимогу через H_2 як елемент множини вимог H);

– забезпечення безпеки мореплавання та морської господарської діяльності у цілому (позначимо цю вимогу через H_3 як елемент множини вимог H);

– відповідність концепціям інших видів діяльності України на морі (позначимо цю вимогу через H_4 як елемент множини вимог H).

Вивчення доступного переліку міжнародних документів з підводної археології [29] свідчить, що впровадження засобів підводної робототехніки не суперечить професійним вимогам археологічної науки (вимога H_1). У провідних морських державах світу такі засоби є основним інструментарієм для проведення підводних археологічних досліджень [30]. Тому вимогу H_1 можна вважати виконаною.

Законодавчої база, що регулює ПАД в Україні [31], та доступний опис вітчизняного досвіду ПАД не містять відомостей про застосування засобів підводної робототехніки і нормують застосування лише підводних засобів для тимчасового перебування людини під водою (аквалангів, водолазних дзвонів, підводних домів тощо) [32]. Тому на часі є розробка вітчизняного законодавчого забезпечення ПАД (вимога H_2).

Роботизовані ПАД необхідно організовувати і проводити з урахуванням вимог Міжнародних правил попередження зіткнень суден у морі (COLREGS) [33], законів України про рибальство та про освоєння шельфу [34, 35]. Тут на законодавчому рівні також необхідно виконати низку прикладних науково-дослідних робіт для забезпечення вимоги H_3.

Що ж стосується відповідності вказаних робот концепціям інших видів діяльності України на морі (вимога H_4), то слід враховувати наявність в Україні низки законодавчих документів [36–38], виконання яких прямо передбачає створення вітчизняного парку засобів морської робототехніки. Таким чином, вимога H_4 є актуальною для інших видів морської діяльності держави і її можна вважати виконаною.

Таким чином, виконання принципу узгодженості цілей P_H залежить від виконання множини наступних вимог:

$$P_H = H_1 \cup H_2 \cup H_3 \cup H_4, \quad (2)$$

де $\cup$ – операція об'єднання множин H_i, i=1,2,3,4.

Згідно принципу задоволеності всіх учасників P_S процесу роботизації ПАД має досягатись:

– підвищенням норм щодо збереження життя і здоров'я учасників археологічних експедицій (позначимо цю вимогу через S_1 як елемент множини вимог S);

– задоволенням вимог споживачів археологічної продукції (позначимо цю вимогу через S_2 як елемент множини вимог S); такими споживачами є наукові установи, музеї, громадські організації тощо).

Очевидно, що умова S_1 однозначно виконується у процесі роботизації ПАД, оскільки підводні технології на основі ТПА повністю виключають археолога-водолаза від виконання глибоководних досліджень. При археологічних дослідженнях на малих (водолазних) глибинах частка робіт для археолога-водолаза зменшується на 50–75 % [39].

Виконання умови S_2 при роботизованих ПАД також не викликає сумнівів і обумовлено розширенням спектру об'єктів підводної культурної спадщини через збільшення глибин досліджуваних акваторій, а також новими можливостями доступу до виявлених артефактів.

Тоді умову виконання принципу задоволеності всіх учасників P_S процесу роботизації ПАД можна записати наступною залежністю:

$$P_S = S_1 \cup S_2, \quad (3)$$

де $\cup$ – операція об'єднання множин S_i, i=1,2.

Досвід у проведені роботизованих ПАД свідчить, що принцип єдності основи P_U має включати множину U наступних вимог:

– наявність інноваційних роботизованих підводних технологій виконання археологічних досліджень (позначимо цю вимогу через U_1 як елемент множини вимог U); ця вимога є ключовою для проектів роботизації ПАД, оскільки головні показники ПАД (продуктивність, якість тощо) забезпечуються саме при виконанні цієї вимоги;

– зацікавленість розробників ТПА у створенні засобів морської робототехніки з максимально високими експлуатаційними характеристиками (позначимо цю вимогу через U_2 як елемент множини вимог U); це має бути забезпечено командною роботою конструкторів і виробників морської робототехніки (постачальників ТПА) та розробників підводних роботизованих технологій (споживачів ТПА);

– наявність підготовлених кадрів, спроможних реалізувати інноваційні підводні технології ПАД за допомогою створених засобів підводної робототехніки (позначимо цю вимогу через U_3 як елемент множини вимог U); реалізація цієї вимоги можлива у результаті виконання спеціальних освітніх програм для операторів ТПА.

Таким чином, умову виконання принципу єдності основи P_U можна записати наступною залежністю:

$$P_U = U_1 \cup U_2 \cup U_3, \quad (4)$$

де $\cup$ – операція об'єднання множин U_i, i=1,2,3.

Згідно принципу неповної детермінованості і стохастичності P_I головним завданням цього сектору наукового забезпечення проектів роботизації має бути розробка методів управління ризиками, розробка і перевірка працездатності універсальної методики оцінки рівня роботизації ПАД. Таку роботу необхідно розглядати у напрямках створення нових методик кількісної оцінки ефективності роботизації (позначимо цю вимогу через I_1 як елемент множини вимог I) та розробки й оцінки варіантів сценаріїв якісного розвитку ПАД у результаті роботизації (позначимо цю вимогу через I_2 як елемент множини вимог I). Перший напрямок забезпечується авторською роботою [7], а другий напрямок пропонується розглядати за трьома основними сценаріями:

– академічний, який передбачає роботизацію ПАД силами колективів профільних організацій НАН України (у першу чергу – Інституту археології НАНУ) та університетів МОН України, які розробляють та впроваджують ТПА у різних сферах морської діяльності (у першу чергу – Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова); цей сценарій характеризується вкрай обмеженим фінансуванням академічної та вузівської науки і на сьогодні практично може вважатись волонтерським;

– державний, який передбачає цільове фінансування завдань створення ТПА для ПАД у рамках цільових державних програм; такий сценарій може бути реалізовано також як складова галузевих програм роботизації інших сфер морської діяльності – природоохоронних та ін.;

– міжнародний, який передбачає залучення зарубіжних організацій, фондів чи окремих компаній-спонсорів і є найбільш продуктивним, враховуючи міжнародне значення археологічних досліджень у територіальних водах України та міжнаціональний характер виявлених об'єктів підводної культурної спадщини; однак, реалізація такого варіанту сценарію можлива за умов розробки та схвалення світовою науковою спільнотою комплексних проектів ПАД міжнародного значення.

Іншим головним завданням для реалізації принципу неповної детермінованості і стохастичності P_I у проектах роботизації ПАД є необхідність оцінка ризиків, пов'язаних з погодними та гідрологічними умовами в районі проведення робіт. (позначимо цю вимогу через I_3 як елемент множини вимог I).

Очевидно, що умову виконання принципу неповної детермінованості і стохастичності P_I процесу роботизації ПАД можна записати залежністю:

$$P_I = I_1 \cup I_2 \cup I_3, \quad (5)$$

де $\cup$ – операція об'єднання множин I_i, i=1, 2, 3.

Вимоги п'ятого принципу концепції (принципу повної системи P_F) пропонується виконувати, окрес-

ливши у загальному вигляді особливості організаційного забезпечення управління проектами ПАД як унікального та науковоємного за змістом виду морської управлінської діяльності (позначимо цю вимогу через F_1 як елемент множини вимог F) та у вигляді вимог до двох основних складових ресурсного забезпечення такої діяльності – робототехнічного та кадрового (позначимо цю вимогу через F_2 як елемент множини вимог F).

Одним з ключових питань для успішного проведення ПАД є відхід від традиційної організаційної структури – експедиційної групи – і перехід до ідеології «мобільного офісу», який має будуватись як автоматизоване робоче місце (АРМ) керівника експедиції та мати сучасні комунікаційні можливості для управління археологічним проектом у реальному часі.

Найбільш доцільним є розташування такого АРМ на експедиційному судні з використанням програмного пакету SCADA (supervisory control and data acquisition – диспетчерське управління і збирання даних) для забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення й архівування інформації про об'єкти ПАД та оперативного управління морською експедицією.

Робототехнічне забезпечення археологічної експедиції є ключовим чинником, від якого залежить її результативність. Вбачається за доцільне оснащення археологічних експедицій наступними видами підводних апаратів-роботів (ПАР):

– для пошукових археологічних робіт – застосування підводних буксированих апаратів (ПБА), оснащених телевізійними системами (ТВ), пошуковими магнітометрами (Мг), гідроакустичними профілографами (Пр) та сонарами (С); для пошукових робіт на малих глибинах може бути ефективним застосування технології ЛІДАР (Л, в англ. літературі – Light Detection and Ranging); на великих глибинах доцільно застосовувати також пошукові автономні самохідні підводні апарати-роботи (АНПА);

– для обстежувальних археологічних робіт – застосування самохідних прив'язних телекерованих підводних апаратів-роботів (ТПА) з пошуковими телевізійними приладами і системами освітлення та начіпним технологічним обладнанням – дистанційно керованими підводними маніпуляторами (Мн) та гідромоніторами (Гм) для розмиву ґрунту та очищення артефактів, щітками для зачищення артефактів тощо; для обстеження точкових підводних об'єктів можна застосовувати також опускні прив'язні апарати (ОПА) як бюджетну заміну самохідним ТПА;

– для картографічних археологічних робіт – застосування ТПА та АНПА, оснащених сонарами та ехолотами (Е) з можливістю географічної прив'язки за допомогою супутникових навігаційних систем (СНС), а для глибоководних робіт – ще і шляхом розгортання на заданих акваторіях гідроакустичної апаратури донної навігації (АДН);

– для дослідницьких археологічних робіт – застосування ТПА, оснащених додатково високоякісною фотоапаратурою (ФА) для документування результатів досліджень;

– для підйомних археологічних робіт – застосування ТПА, оснащених телевізійною апаратурою та підводними маніпуляторами, а також апаратурою для доставки артефактів на поверхню (АДАП) для їх подальшого вивчення і зберігання;

– для захисних робіт на акваторіях, що містяться об'єкти підводної культурної спадщини, та робіт по захисту артефактів – застосування приладів підводного спостереження та сигналізації (ПСС) і приладів блокування зловмисників (ПБ).

Перелік можливих засобів підводної робототехніки для ПАД наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік засобів підводної робототехніки для ПАД

За глибиною *Г* ---------- За видомархеологічної діяльності *(ВАД)*	Малі глибини $Г_М$		Великі глибини $Г_В$	
	Підводні апарати (*ПА*)	Начіпні прилади та інструменти (*НПІ*)	Підводні апарати (*ПА*)	Начіпні прилади та інструменти (*НПІ*)
Пошукові (археологічна розвідка) $ВАД_А$	БПА, ТПА	ТВ, Мг, Пр, С, Л	БПА, АНПА	ТВ, Мг, Пр, С
Обстежувальні $ВАД_О$	ОПА, ТПА	ТВ, Мн, Гм	ТПА	ТВ, Мн, Гм
Картографічні $ВАД_К$	ТПА, АНПА	С, Е, СНС	АНПА	АДН, Мг, Пр
Дослідницькі $ВАД_Д$	ТПА	ТВ, ФА, Мн, Гм	ТПА	ТВ, ФА, Мн, Гм
Підйомні $ВАД_П$	ТПА	ТВ, Мн, АДАП	ТПА	ТВ, Мн, АДАП
Захисні $ВАД_З$	ТПА	ПСС, ПБ	ТПА, АНПА	ПСС

Особливості кадрового забезпечення згідно п'ятому принципу концепції роботизації ПАД полягають у необхідності додаткового уведення до штатного розпису морської експедиції фахівців з експлуатації ТПА, які б мали спеціалізацію «Підводна археологія» і були спроможними виконувати дистанційно керовані підводні роботи в інтересах ПАД.

Для підготовки таких фахівців необхідно створювати відповідні цільові навчальні курси з достатнім обсягом практичних робіт і тренувальних циклів.

Очевидно, що умову виконання принципу повної системи P_F процесу роботизації ПАД можна записати наступною залежністю:

$$P_F = F_1 \cup F_2, \quad (6)$$

де $\cup$ – операція об'єднання множин F_i, i=1,2.

Шостий принцип концепції – принцип інноваційного розвитку P_D – стимулює створення нових підводних роботизованих археологічних технологій та має ставити завдання перед фахівцями-

робототехніками щодо розробки і створення нових зразків ТПА (пошукових, дослідницьких, підйомних тощо), а також розробки нових технологій їх застосування. Позначимо цю вимогу через D_1 як елемент множини вимог D.

Очевидно, що до найбільш застосовуваних видів ТПА археологічного призначення належать самохідні ТПА, оснащені змінними начіпними інструментами і приладами – маніпуляторами, різаками, сонарами тощо.

Крім того, вбачаються перспективними розробка і застосування прогресивних технологій дистанційного виконання ПАД на малих глибинах (гідроакустичний та відеопошук артефактів, їх розмив, дослідження та підйом за безлюдними технологіями), що має суттєво збільшити продуктивність ПАД та зменшити ризики для життя і здоров'я археологів.

Застосуванню ж ТПА при виконанні робіт на великих глибинах не має альтернативи, оскільки без дистанційно керованих підводних апаратів-роботів якісні наукові дослідження виконувати неможливо.

Другою вимогою шостого принципу концепції – принципу інноваційного розвитку P_D є вимога використання у проектах роботизації сучасних досягнень проектного менеджменту, зокрема, управління проектами на основі артефактних платформ [40]. Таке управління гарантує постійне зменшення витрат на ПАД з-за використання раніше отриманого досвіду роботизації підводних археологічних робіт. Позначимо цю вимогу через D_2 як елемент множини вимог D.

Тоді умову виконання принципу інноваційного розвитку P_D процесу роботизації ПАД можна записати наступною залежністю:

$$P_D = D_1 \cup D_2, \quad (7)$$

де $\cup$ – операція об'єднання множин D_i, i=1,2.

Велике наукове і суспільно важливе значення має сьомий принцип концепції – принцип комплексності підходу P_C, який має прогнозувати і стимулювати вплив від реалізації заходів з роботизації ПАД на інші сфери життєдіяльності людини і суспільства. Перспективним є використання створюваних роботизованих технологій ПАД у трьох наступних напрямках:

– наукова діяльність (на етапі обробки і збереження артефактів) – для підвищення якості власне археологічних досліджень (документування артефактів з географічною прив'язкою, що складно забезпечити іншими технологіями на «заводолазних» глибинах, доставка неушкодженими артефактів на поверхню для їх постобробки – консервації, документування і вивчення); позначимо цю вимогу через C_1 як елемент множини вимог C;

– освітня діяльність (на етапі музеєфікації артефактів) – створення інноваційних науково-освітніх та культурно-історичних об'єктів «Підводний музей України» та «Віртуальний підводний музей Чорного моря» [41], в основі яких лежать роботизовані технології спостереження та дослідження підводної культурної спадщини; позначимо цю вимогу через C_2 як елемент множини вимог C;

– діяльність з освоєння мінеральних та енергетичних ресурсів морів – використання розробленої підводної робототехніки та технологій в інших галузях морської господарчої діяльності України (видобувній, природоохоронній, оборонній тощо); позначимо цю вимогу через C_3 як елемент множини вимог C.

Тоді умову виконання принципу інноваційного розвитку P_C процесу роботизації ПАД можна записати наступною залежністю:

$$P_C = C_1 \cup C_2 \cup C_3, \quad (8)$$

де $\cup$ – операція об'єднання множин C_i, i=1, 2, 3.

Залежності (1)-(8) утворюють концептуальну модель управління проектами роботизації ПАД і можуть бути покладені в основу подальших досліджень, зокрема, слугувати підґрунтям для розробки моделей управління окремими складовими проектів роботизації ПАД.

На рис. 1 подано графічну форму концептуальної моделі управління проектами роботизації ПАД (завдання управління проектами роботизації ПАД позначені відповідними текстовими коментарями)

Аналіз запропонованої концептуальної моделі управління проектами роботизації ПАД показує, що з позицій актуальності для досягнення основної мети дослідження – розробки моделей управління проектами роботизації ПАД – до першочергових наукових завдань $З_P$ реалізації моделі відноситься виконання наступної множини вимог як складових принципів (1):

$$З_P = \{H_2; H_4; U_2; U_3; I_1; I_2; I_3; F_1; F_2; D_1; D_2; C_2\}. \quad (9)$$

На рис. 1 також вказані завдання управління проектами роботизації ПАД позначені відповідними текстовими коментарями.

За змістом ці завдання можна розділити на наступні групи:

– завдання управління проектами удосконалення законодавчої бази роботизованого проведення ПАД (H_2);

– завдання управління змістом проектів роботизації ПАД (F_1; D_2; C_2);

– завдання управління проектами створення й експлуатації ТПА (H_4; U_2; U_3; F_2; D_2);

– завдання управління ризиками проектів (I_1; I_2; I_3).

Застосовуємо класичну каскадну технологію, де основним результатом має бути матеріальний продукт [42]. Така модель передбачає управління процесами створення ТПА та технологій їх застосування в завданнях ПАД, управління процесами впровадження ТПА в ПАД, а також управління процесами удосконалення нормативно-законодавчої бази у галузі підводної археології. На окремих стадіях управління можливим є застосування ітеративної методології управління проектом.

Очевидно, що основна (каскадна) модель управління проектами роботизації ПАД має передбачати п'ять класичних фаз виконання: вимоги, проектування, реалізація, тестування, експлуатація (рис. 2).

Розглянемо особливості виконання зазначених фаз, маючи за мету розробку моделей управління проектами роботизації ПАД як теоретичного інструментарію підвищення їх ефективності.

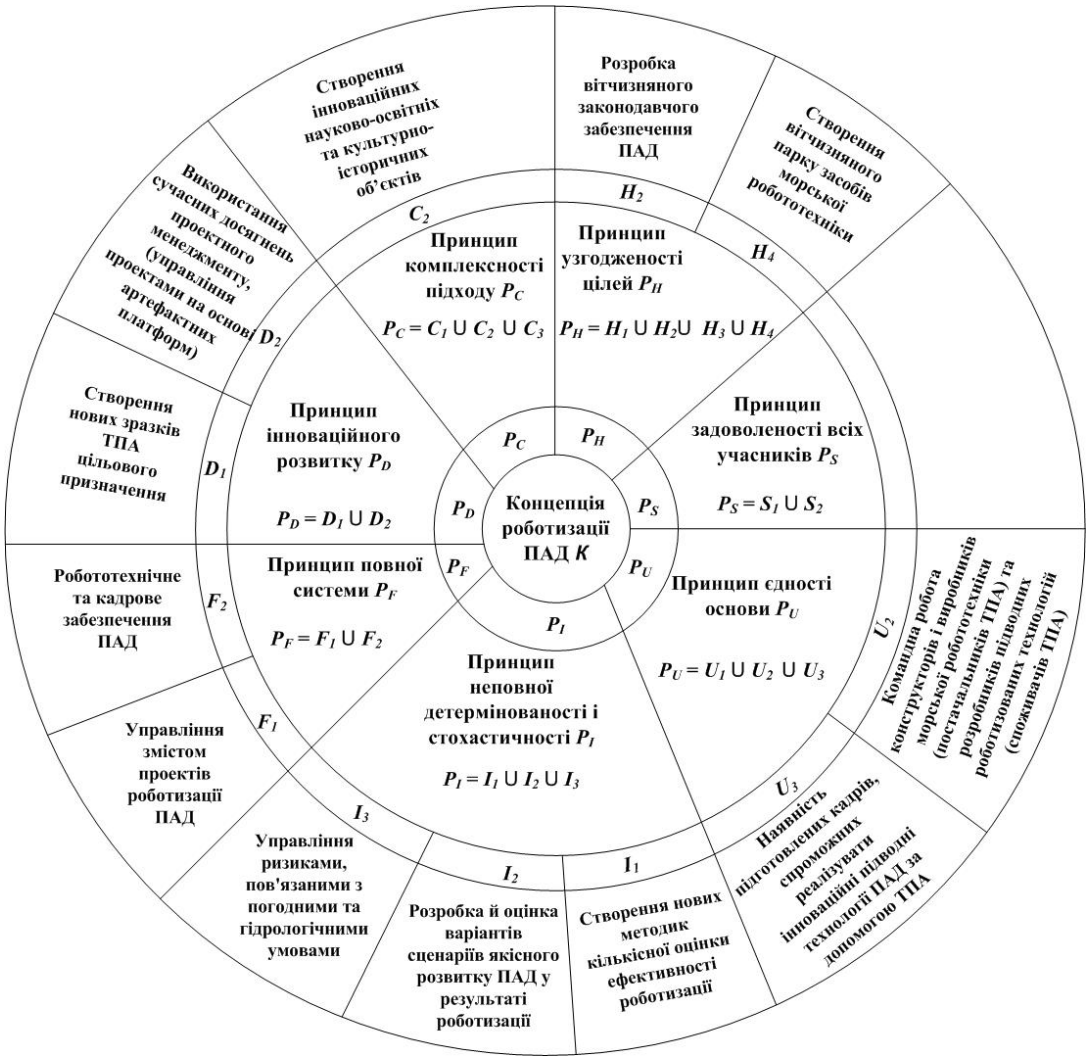


Рис. 1 – Графічна форма концептуальної моделі управління проектами роботизації ПАД

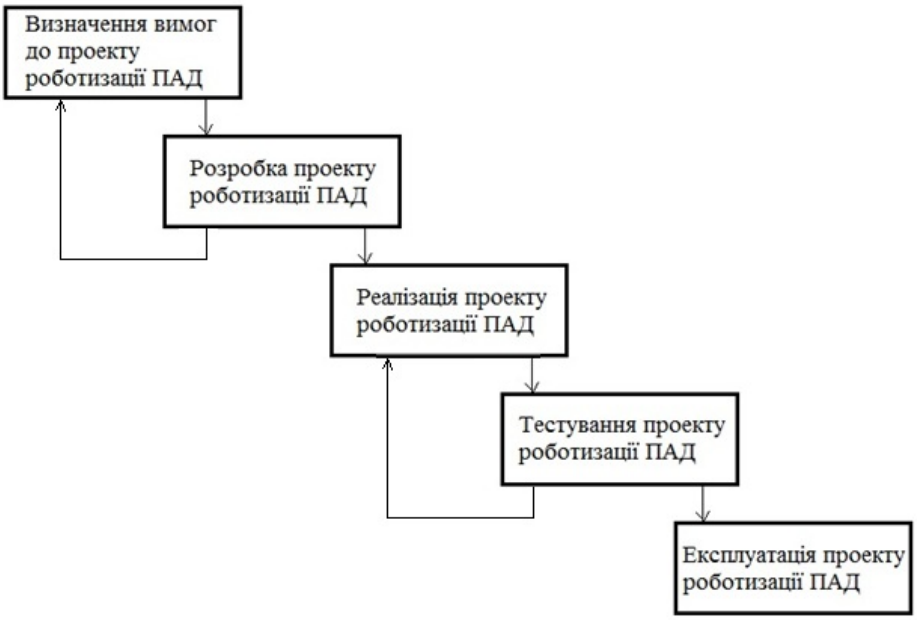


Рис. 2 – Каскадна модель управління проектами роботизації ПАД

Фаза визначення вимог до проекту роботизації має включати наступні чинники для роботизації ПАД: глибину робочої акваторії, де планується ПАД; характеристики робочої зони ПАД (дослідження точкового об'єкта $РЗ_{Т}$, дослідження малої робочої зони $РЗ_{М}$, яка не більше зони досяжності ТПА при якірній стоянці його судна забезпечення та дослідження великої за площею робочої зони $РЗ_{В}$, яка може сягати десятків квадратних кілометрів); вид археологічної діяльності, до якої залучаються засоби підводної робототехніки (археологічна розвідка $ВАД_{А}$, обстеження $ВАД_{О}$, картографування $ВАД_{К}$, дослідження донної поверхні та артефактів з географічною прив'язкою $ВАД_{Д}$, під'йом артефактів $ВАД_{П}$, захист акваторій та артефактів $ВАД_{З}$); вимоги до продуктивності ПАД; законодавче забезпечення ПАД.

Фаза розробки проекту роботизації ПАД має включати формування експлуатаційних характеристик ТПА, які необхідно застосовувати у даній експедиції, розробку відповідних технологій їх використання, а також оцінку ризиків, пов'язаних з їх застосуванням у експедиції.

Виробничим вихідним документом цієї фази має бути перелік ТПА та їх приладового оснащення, а в якості наукового результату виконання цієї фази – відповідно, моделі формування характеристик ТПА, які необхідні для управління процесом робототехнічного забезпечення експедиції, а також моделі оцінки ризиків роботизованої експедиції. Якщо неможливо забезпечити виконання вимог до проекту роботизації ПАД (наприклад, з-за високої складності підводних технологій), передбачається ітераційний цикл коригування вимог до проекту роботизації.

Фаза реалізації проекту роботизації ПАД має включати розробку (вибір існуючих) організаційних структур для виробництва ТПА та їх приладового забезпечення, а також розробку моделей для організації та моніторингу виробничих процесів.

Фаза тестування проекту роботизації ПАД має включати управління процесами випробувань ТПА та підводних технологій на їх основі.

Якщо результати тестування виявились незадовільними, передбачається ітераційний процес для вдосконалення управління проектом на попередній фазі його реалізації.

Фаза експлуатації проекту роботизації ПАД має містити відомості про розроблені організаційні структури та необхідне ресурсне забезпечення для роботизованих археологічних експедицій, дозвільну документацію на їх проведення та документацію з планування робіт. Науковими результатами цієї фази мають бути моделі організаційних структур для роботизованих експедицій та моделі управління процесами їх виконання.

Висновки. Сучасний стан технічного забезпечення вітчизняної підводної археології не відповідає вимогам археологічної науки, зокрема, для робіт на «заводолазних» глибинах. Тому удосконалення управління проектами підводної археології у напрямку роботизації цього виду дослідницької діяльності є актуальним науковим завданням проектного менеджменту.

Існуюче інституційне забезпечення (чіткий упорядкований набір державних та суспільних правил та механізмів їх реалізації) у галузі підводних археологічних досліджень в Україні не задовольняє світовим вимогам та потребує суттєвого вдосконалення.

Розглянуто основні принципи формування концепції удосконалення управління проектами роботизації підводних досліджень та їх змістовну частину, а також показано можливості використання засобів вітчизняної робототехніки при виконанні задач підводної археології на малих і великих глибинах.

Розроблено концептуальну модель управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень, яка містить сім основних принципів і може бути покладена в основу розробки і створення актуального для вітчизняної археології прикладного наукового напрямку – впровадження нових роботизованих технологій ведення підводних археологічних досліджень**,** підвищення їх продуктивності та якості, а також зменшення ризику для життя і здоров'я учасників підводних археологічних експедицій.

Запропоновано каскадну модель управління проектами підводних археологічних досліджень та визначено основні її складові.

Список літератури:

1. Дай веру дайверу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.udip.com.ua/news/?id=91/
2. *Рижков, С. С.* Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки [Текст]: монографія / *С. С. Рижков, В. С. Блінцов, Г. В. Єгоров, Ю. Д. Жуков, В. Ф. Квасницький, К. В. Кошкін та ін.; за ред. С. С. Рижкова*. – Миколаїв: Видавництво НУК, 2011. – 340 с.
3. *Рач, В. А.* Принципи формування концепцій [Текст] / *В. А. Рач* // Вісник Державної служби України. – 2000. – № 3. – С. 93–95.
4. *Таскаев, В. Н.* Методика проведения подвоено-археологических работ [Текст] / *В. Н. Таскаев* // Вопросы подводной археологии. – 2010. – С. 45–95.
5. *Блинцов, В. С.* Привязные подводные системы [Текст] / *В. С. Блинцов*. – К.: Наукова думка, 1998. – 232 с.
6. *Christ, R.* The ROV Manual. A User Guide for Remotely Operated Vehicles [Text] / *R. Christ, R. Wernli, Sr.* – 2-nd ed. – The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, 2014. – 712 p.
7. *Блінцов, О. В.* Узагальнена методика оцінки ефективності підводної техніки у проектах глибоководної археології [Текст] / *О. В. Блінцов, А. В. Надточий* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 3 (67). – С. 25–29. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21045
8. *Гожий, А. П.* Системные технологии генерации и анализа сценариев [Текст] / *А. П. Гожий, И. И. Коваленко* // АЭКС. – 2005. – № 2. – С. 89–96.
9. The UNESCO Convention on the Protection of the underwater cultural Heritage [Electronic resource]. – Available at: http://www.unesco.org/culture/underwater/infokit_en/
10. Міжнародна Конвенція про охорону підводної культурної спадщини ЮНЕСКО (XXXI сесія від 02.XI.2001 р., підписана від імені України 06.11.2001 р.).
11. Європейська конвенція про охорону археологічної спадщини (ратифікована Законом України від 10.12.2003 р. № 1369-IV).

12. Закон України «Про затвердження загальнодержавної програми збереження і використання об'єктів культурної спадщини на 2004–2010 рр.». Затверджено Законом України від 20 квітня 2004 року № 1692-IV.
13. *Søreide, F.* Ships from the Depths. Deepwater Archaeology [Text] / *F. Søreide*. – Texas A&M University Press, 2011. – 200 p.
14. *Иевлев, М. М.* Очерки античной палеоэкологии Нижнего Побужья и Нижнего Поднепровья [Текст] / *М. М. Иевлев*. – К.: Видавець Олег Філюк, 2014. – 276 с.
15. *Зеленко, С. М.* Підводна археологія Криму [Текст] / *С. М. Зеленко*. – К.: ВД «Стилос», 2008. – 272 с.
16. *Назаров, В. В.* Гидроархеологическая карта черноморской акватории Украины (памятники античной и средневековой эпох) [Текст] / *В. В. Назаров*. – Київ: Стилос, 2003. – 159 с.
17. *Таскаев, В. Н.* Античная подводная археология Северного Причерноморья [Текст] / *В. Н. Таскаев.* – 2-е изд., дополн. и переабот. – М.: Изд-во «Воронцовка-21», 2009. – 176 с.
18. *Воронов, С. А.* Сокровища Черного моря. Подводная археология Украины [Текст] / *С. А. Воронов*. – К.: Изд-во «ЧП «Медоборы-2006», 2010. – 100 с.
19. *Воронов, С. О.* Візантійські бранці чорноморських глибин [Текст] / *С. О. Воронов, А. М. Ієвлєва* // Підводні дослідження: Археологія. Історія. Дайвінг. – 2010. – С. 16–22.
20. *Ballard, R. D.* Deepwater Archaeology of the Black Sea: The 2000 Season at Sinop, Turkey [Text] / *R. D. Ballard, F. T. Hiebert, D. F. Coleman, C. Ward, J. S. Smith, K. Willis et. al.* // American Journal of Archaeology. – 2001. – Vol. 105, Issue 4. – P. 607. doi: 10.2307/507409
21. *Воронов, С. О.* Енциклопедія морських катастроф України: (затонулі пам'ятки антич., середньовіч. і новіт. історії: залишки міст і поселень, військ. кораблі, цивіл. судна, авіа- та бронетехніка) [Текст] / *С. О. Воронов*. – К.: Богдана, 2008. – 848 с.
22. Постанова Кабінету Міністрів України від 13.03.2002 р. № 316 «Про затвердження Порядку видачі дозволів на проведення археологічних розвідок, розкопок, інших земляних робіт на території пам'ятки, охоронюваній археологічній території, в зонах охорони, в історичних ареалах населених місць, а також досліджень решток життєдіяльності людини, що містяться під земною поверхнею, під водою на території України».
23. *Блінцов, В. С.* Актуальні завдання роботизації підводних археологічних досліджень [Текст]: наук.-техн. конф. / *В. С. Блінцов, С. О. Воронов* // Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів. – Миколаїв: НУК, 2010. – С. 69–70.
24. *Басс, Дж.* Подводная археология. Древние народы и страны [Текст] / *Дж. Басс*. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2003. – 202 с.
25. *Ballard, D. R.* Adventures in Ocean Exploration [Text] / *D. R. Ballard*. – Washington, D.C.: "Natiomal Geographic", 2001. – 288 p.
26. *Рижков, С. С.* Інноваційні технології побудови суден і засобів океанотехніки [Текст]: монографія / *С. С. Рижков, В. С. Блінцов, В. Ф. Квасницький, К. В. Кошкін, М. П. Романчук, О. М. Шамрай та ін.* – Миколаїв: Національний університет кораблебудування, 2009. – 355 с.
27. *Batra, D.* Conceptual Data Modeling Patterns [Text] / *D. Batra* // Journal of Database Management. – 2005. – Vol. 16, Issue 2. – P. 84–106. doi: 10.4018/jdm.2005040105
28. *Deboranh, M.* Pearsall. Enciclopedia of Archaelogy [Text] / *M. Deboranh.* – Academic Press, New York, 2008. – 10 p.
29. *Van de Noort, R.* North Sea archaeologies [Text] / *R. Van de Noort*. – Oxford; New York: Oxford University Press, 2011. – 282 p.
30. *Андрусевич, А.* Довідник чинних міжнародних договорів України у сфері охорони довкілля [Текст] / *А. Андрусевич, Н. Андрусевич, З. Козак*. – Львів, 2009. – 203 с.
31. *Окороков, А. В.* История изучения и охраны памятников гидроархеологии [Текст] / *А. В. Окороков*. – М., 1992. – 133 с.
32. International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972.
33. Закон України «Про рибне господарство, промислове рибельство та охорону водних біоресурсів» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2012, № 17, ст.155).
34. Закон України «Про нафту і газ» Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 50, ст. 262.
35. «Концепція Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку кораблебудування на період до 2035 року», затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 6 травня 2009 року № 671-р.
36. «Морська доктрина України на період до 2035 року», затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 7 жовтня 2009 року № 1307.
37. Закон України «Про Загальнодержавну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2013–2017 роки».
38. *Marx, W. R. F.* The World's Richest Wrecks: A Wreck Diver's Guide to Gold and Silver Treasures of the Seas [Text] / *W. R. F. Marx, J. Marx*. – Oxford Press, 2013. – 312 p.
39. *Харитонов, Ю. Н.* Управление проектами реконструкции на основе артефактных платформ [Текст] / *Ю. Н. Харитонов* // Авиационно-космическая техника и технологи. – 2008. – № 8 (55). – С. 189–192.
40. *Рижков, С. С.* Звіт ректора за 2008–2013 рр. [Текст] / *С. С. Рижков*. – Миколаїв: НУК, 2013. – 220 с.
41. *Royce, W. W.* Managing the Development of Large Software Systems [Text] / *W. W. Royce* // Technical Papers of Western Electronic Show and Convention. – Los Angeles, 1970. – P. 328–338.

Bibliography (transliterated):

1. Day veru dayveru. Available at: http://www.udip.com.ua/news/?id=91/
2. Ryzhkov, S. S., Blintsov, V. S., Yehorov, H. V., Zhukov, Yu. D., Kvasnytskyi, V. F., Koshkin, K. V. et. al.; Ryzhkov, S. S. (Ed.) (2011). Stvorennia universalnykh transportnykh suden i zasobiv okeanotekhniky. Mykolaiv: Vydavnytstvo NUK, 340.
3. Rach, V. A. (2000). Pryntsypy formuvannia kontseptsiyi. Visnyk Derzhavnoi sluzhby Ukrainy, 3, 93–95.
4. Taskaev, V. N. (2010). Metodika provedeniya podvoeno-arheologicheskih rabot. Voprosy podvodnoy arheologii, 45–95.
5. Blincov, V. S. (1998). Privyaznye podvodnye sistemy. Kyiv: Naukova dumka, 232.
6. Christ, R., Sr Wernli, R. (2014). The ROV Manual. A User Guide for Remotely Operated Vehicles. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, 712.
7. Blintsov, O. V., Nadtochii, A. V. (2014). The generalized underwater technics efficiency estimation methodology of deep sea archaeological projects. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (67)), 25–29. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21045
8. Gozhiy, A. P., Kovalenko, I. I. (2005). Sistemnye tekhnologii generacii i analiza scenariev. AAEKS, 2, 89–96.
9. The UNESCO Convention on the Protection of the underwater cultural Heritage. Available at: http://www.unesco.org/culture/underwater/infokit_en/
10. Mizhnarodna Konventsiia pro okhoronu pidvodnoi kulturnoi spadshchyny YuNESKO (XXXI sesiia vid 02.XI.2001 r., pidpysana vid imeni Ukrainy 06.11.2001 r.).
11. Yevropeiska konventsiya pro okhoronu arkheolohichnoi spadshchyny (ratyfikovana Zakonom Ukrainy vid 10.12.2003 r. No.1369-IV).
12. Zakon Ukrainy «Pro zatverdzhennia zahalnoderzhavnoi prohramy zberezhennia i vykorystannia obiektiv kulturnoi spadshchyny na 2004–2010 rr.». Zatverdzheno Zakonom Ukrainy vid 20 kvitnia 2004 roku No. 1692-IV.
13. Søreide, F. (2011). Ships from the Depths. Deepwater Archaeology. Texas A&M University Press, 200.
14. Ievlev, M. M. (2014). Ocherki antichnoy paleoekologii Nizhnego Pobuzh'ya i Nizhnego Podneprov'ya. Kyiv: Vidavec' Oleg Filyuk, 276.
15. Zelenko, S. M. (2008). Pidvodna arkheolohiya Krymu. Kyiv: VD «Stylos», 272.

16. Nazarov, V. V. (2003). Gidroarheologicheskaya karta chernomorskoy akvatorii Ukrainy (pamyatniki antichnoy i srednevekovoy epoh). Kyiv: Stilos, 159.
17. Taskaev, V. N. (2009). Antichnaya podvodnaya arheologiya Severnogo Prichernomor'ya. Moscow: Izd-vo «Voroncovka-21», 176.
18. Voronov, S. A. (2010). Sokrovishcha Chernogo morya. Podvodnaya arheologiya Ukrainy. Kyiv: Izd-vo «CHP «Medobory-2006», 100.
19. Voronov, S. O., Iievlieva, A. M. (2010). Vizantiyski brantsi chornomorskykh hlybyn. Pidvodni doslidzhennia: Arkheolohya. Istoriya. Daivinh, 16–22.
20. Blintsov, V. S., Voronov, S. O. Bazovi tekhnolohiyi zastosuvannia pidvodnykh aparativ-robotiv dlia zadach morskoi arkheolohiyi. Innovatsiyi v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi, 389–391.
21. Ballard, R. D., Hiebert, F. T., Coleman, D. F., Ward, C., Smith, J. S., Willis, K. et. al. (2001). Deepwater Archaeology of the Black Sea: The 2000 Season at Sinop, Turkey. American Journal of Archaeology, 105 (4), 607. doi: 10.2307/507409
22. Voronov, S. O. (2008). Entsyklopediya morskykh katastrof Ukrainy: (zatonuli pamiatky antych., serednovich. i novit. istoriyi: zalyshky mist i poselen, viysk. korabli, tsyvil. sudna, avia- ta bronetekhnika). Kyiv: Bohdana, 848.
23. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 13.03.2002 r. No. 316 «Pro zatverdzhennia Poriadku vydachi dozvoliv na provedennia arkheolohichnykh rozvidok, rozkopok, inshykh zemlianykh robit na terytoriyi pamiatky, okhoroniuvaniyi arkheolohichniyi terytoriyi, v zonakh okhorony, v istorychnykh arealakh naselenykh mists, a takozh doslidzhen reshtok zhyttiediyalnosti liudyny, shcho mistiatsia pid zemnoiu poverkhneiu, pid vodoiu na terytoriyi Ukrainy».
24. Blintsov, V. S., Voronov, S. O. (2010). Aktualni zavdannia robotyzatsiyi pidvodnykh arkheolohichnykh doslidzhen. Problemy avtomatyky ta elektroobladnannia transportnykh zasobiv. Mykolaiv: NUK, 69–70.
25. Bass, Dzh. (2003). Podvodnaya arheologiya. Drevnie narody i strany. Moscow: ZAO Centrpoligraf, 202.
26. Ballard, D. R. (2001). Adventures in Ocean Exploration. Washington, D.C.: “Natiomal Geographic”, 288.
27. Ryzhkov, S. S., Blintsov, V. S., Kvasnytskyi, V. F., Koshkin, K. V., Romanchuk, M. P., Shamrai, O. M. et. al. (2009). Innovatsiyni tekhnolohiyi pobudovy suden i zasobiv okeanotekhniky. Mykolaiv: Natsionalnyi universytet korablebuduvannia, 355.
28. Batra, D. (2005). Conceptual Data Modeling Patterns. Journal of Database Management, 16 (2), 84–106. doi: 10.4018/jdm.2005040105
29. Deboranh, M. (2008). Pearsall. Enciclopedia of Archaelogy. Academic Press, New York, 10.
30. Van de Noort, R. (2011). North Sea archaeologies. Oxford; New York: Oxford University Press, 282.
31. Andrusevych, A., Andrusevych, N., Kozak, Z. (2009). Dovidnyk chynnykh mizhnarodnykh dohovoriv Ukrainy u sferi okhorony dovkillia. Lviv, 203.
32. Okorokov, A. V. (1992). Istoriya izucheniya i ohrany pamyatnikov gidroarheologii. Moscow, 133.
33. International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972.
34. Zakon Ukrainy «Pro rybne hospodarstvo, promyslove rybelstvo ta okhoronu vodnykh bioresursiv» (Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 2012, No. 17, st.155).
35. Zakon Ukrainy «Pro naftu i haz» Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 2001, No. 50, st. 262.
36. «Kontseptsiya Zahalnoderzhavnoi tsilovoi ekonomichnoi prohramy rozvytku korablebuduvannia na period do 2035 roku», zatverdzhena rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 6 travnia 2009 roku No. 671-r.
37. «Morska doktryna Ukrainy na period do 2035 roku», zatverdzhena postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 7 zhovtnia 2009 roku No. 1307.
38. Zakon Ukrainy «Pro Zahalnoderzhavnu tsilovu prohramu zakhystu naselennia i terytoriyi vid nadzvychainykh sytuatsiyi tekhnohennoho ta pryrodnoho kharakteru na 2013–2017 roky».
39. Marx, W. R. F., Marx, J. (2013). The World's Richest Wrecks: A Wreck Diver's Guide to Gold and Silver Treasures of the Seas. Oxford Press, 312.
40. Haritonov, Yu. N. (2008). Upravlenie proektami rekonstrukciyi na osnove artefaktnyh platform. Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologi, 8 (55), 189–192.
41. Ryzhkov, S. S. (2013). Zvit rektora za 2008–2013 rr. Mykolaiv: NUK, 220.
42. Royce, W. W. (1970). Managing the Development of Large Software Systems. Technical Papers of Western Electronic Show and Convention. Los Angeles, 328–338.

Надійшла (received) 12.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Концептуальна модель управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень/ Надточий А. В. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.75–84. – Bibliogr.:42. – ISSN 2079-5459

Концептуальная модель управления проектами роботизации подводных археологических исследований/ Надточий А. В. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.75–84. – Bibliogr.:42. – ISSN 2079-5459

Conceptual model of project management for robotics underwater archaeological research/ Nadtochiy A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.75–84. – Bibliogr.:42. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Надточий Анатолій Вікторович – Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, старший викладач кафедри «Автоматики та електроустаткування»; пр. Ушакова, 44, м. Херсон, Україна, 73022; e-mail: tasman.85@mail.ru.

Надточий Анатолий Викторович – Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, старший преподаватель кафедры «Автоматики и электрооборудования»; пр. Ушакова, 44 м. Херсон, Украина, 73022; e-mail: tasman.85@mail.ru.

Nadtochiy Anatoliy – Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, senior lecturer in "Automation and electrical equipment"; Ukraine, Kherson, Ushakova Avenue, 44, 73022; e-mail: tasman.85@mail.ru.

УДК 004.91

П. О. ГЕТМАНЮК, Ю. В. ФОРКУН

МОДЕЛІ ОНЛАЙН-СПІЛЬНОТ ЯК ОСНОВА ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ КОЛАБОРАТИВНОГО ДОКУМЕНТУВАННЯ

Проведено дослідження моделей веб–ресурсів, які можуть бути використані для організації комунікативних процесів учасників веб–спільнот. Проведено аналіз поняття «електронний документ». Встановлено основні та вузьконаправлені розуміння даного поняття, які можуть бути застосовані у веб-середовищі. Було проаналізовано основні функціональні, структурні та комунікативні особливості кожного з досліджуваних типів сервісів як у їх класичному вигляді, так і з сучасними можливостями їх модернізації. Внаслідок цього аналізу, було виявлено переваги та недоліки кожного з досліджуваних типів сервісів. В залежності від контексту використання поняття «електронний документ», встановлено та проаналізовано основні тенденції та варіанти використання кожного дослідженого типу веб-сервісу для забезпечення взаємодії учасників віртуальної спільноти у процесі спільного документування за допомогою засобів веб-середовища. На основі отриманих результатів, встановлено найбільш оптимальні шляхи використання існуючих моделей сайтів для організації процесу колаборативного документування. Встановлено перспективність розвитку веб–ресурсів з поєднаними моделями у рамках однієї інформаційної системи.

Ключові слова: моделі онлайн–спільнот, колаборативне документування, електронний документ, веб–ресурс, класифікація сайтів.

Проведено исследование моделей веб–ресурсов, которые могут быть использованы для организации коммуникативных процессов участников веб–сообществ. Проведено анализ понятия «електронній документ». Установлено основные та узкоспециализированные понимания данного понятия, которые могут быть использованы в веб-окружении. Было проанализированно основные функциональные, структурные и коммуникативные особенности каждого из исследованных типов сервисов как в их классическом виде, так и с современными возможностями их модернизации. В результате этого анализа, было установлено основные сильные и слабые стороны каждого из изучаемых типов сервисов. В зависимости от контекста использования понятия «електронный документ», установлено и проанализировано основные тенденции, а также варианты использования каждого изученного типа веб-сервиса для обеспечения взаимодействий учасников виртуального сообщества в процессе совместного документирования с помощью средств веб-среды. На основании полученных результатов, установлено наиболее оптимальные пути использования существующих моделей сайтов для организации процесса колаборативного документирования. Установлено перспективность развития веб–ресурсов с обьединёнными моделями в рамках одной информационной системы.

Ключевые слова: модели онлайн–сообществ, колаборативное документирование, електронный документ, веб–ресурс, классификация сайтов.

This research was aimed for web resources analysis, which models may be in use for organization of communicative processes between web–communities participants. The “electronic document” formalization was analyzed. Basics and more specific senses of this concept was declared, that may be applied to the web environment. The main functional, structural and communicative features of each of the studied types of services in their classical forms and with possibilities of their modernization were analyzed. As a result of this analysis, all advantages and disadvantages of each of the service-types studied were identified. Main trends and case of uses of each analyzed type of web-service were fixed, what depends on the context of “electronic document” term usage. According to results, most effective cases in use were received for different site–models in collaborative documentation process realization. Perspectives of web–resources development was found with models combining in frames of one informational system.

Keywords: models of online communities, collaborative documentation, electronic document, web–resource, site classification.

Вступ. З розвитком інформаційних технологій, все частіше впроваджуються сервіси, які сприяють кращій автоматизації різних процесів та взаємодії між користувачами. Насамперед, у процесі розвитку технологій «Веб 2.0» виникають нові потреби щодо задоволення потреб кінцевих користувачів. Даний процес є незавершеним [1], тому постійно виникають та реалізуються нові принципи та парадигми щодо функціонування програмних засобів різних сфер направленості.

Зважаючи на це, слід зауважити, що реалізація колаборативної взаємодії між учасниками віртуальних спільнот постійно модифікується, базуючись на використанні вже існуючих основоположних понять [1–7].

Об’єкт дослідження та його технологічний аудит. Об’єктом дослідження є моделі віртуальних спільнот, які можуть бути використані у процесі колаборативного документування. Кожен вид онлайн спільноти має свої технічні особливості, які реалізують його конкретні функціональні можливості.

Поняттям та категоризацією типів віртуальних спільнот займалися такі українські науковці як Андрій Пелещишин, Юрій Сєров, Соломія Федушко [1–7]. Згідно даних досліджень, було сформульовано декілька видів класифікацій віртуальних спільнот, в залежності від конкретної площини, з якої вони можуть бути оцінені. Було виділено організаційні та комунікативні види віртуальних спільнот. Для організації комунікацій між учасниками різних віртуальних спільнот використовуються такі основні види сервісів, в залежності від технічних можливостей та цільових потреб: блоги; форуми; чати; соціальні мережі; гостьова книга.

Кожна з перерахованих форм реалізації віртуальної спільноти має свої переваги та недоліки.

Мета та задачі дослідження. Постановка завдання: виконати дослідження основоположних понять та моделей онлайн–спільнот.

Мета статті: на основі проведених досліджень виконати аналіз ефективних та менш ефективних моделей та принципів функціонування онлайн–спільнот, які можуть бути використані в організації процесу колаборативного документування.

Дослідження існуючих рішень проблеми. Перед тим, як почати досліджувати види моделей сайтів, слід визначитися, які інформаційні ресурси можуть бути класифіковані під поняттям «електронний документ». Да-

ним питанням займалися ряд вчених: І. Л. Бачило, А. П. Вершинін, В. В. Годін, Г. З. Залаев, М. І. Костомаров, М. В. Ларін, Л. В. Ткачев [8–14]. Кожен учений має свої визначення, щодо поняття електронного документу, проте в загальному розумінні – це зафіксовані інформаційні дані, які можуть бути ідентифіковані та зберігаються у цифровому вигляді.

© П. О. Гетманюк, Ю. В. Форкун. 2017

Учені І. К. Корнєєв та В. В. Годін ствердують, що електронним документом можна вважати повідомлення в інформаційній системі, яке має усі завірені реквізити, згідно встановлених вимог [9].

Також, Г. З. Залаєв пропонує категоризацію різних видів електронних документів, в залежності від їх утворення [10]: отримані внаслідок конверсії документів, які існують матеріально у паперовій або технотронній формах; існують суто в цифровому середовищі; не базуються на паперових технологіях. Це повідомлення, які можуть пересилатися за допомогою каналів телекомунікаційного зв'язку.

Науковець І. Л. Бачило також формулює свої визначення даного поняття, серед яких є деякі спільні з попередніми авторами тези, де також присутні кілька нових понять [11]. Згідно даної праці, електронний документ може бути: як засіб інформування користувача (наприклад дисплей, або файл); як вираження волі учасника в електронній формі правовідносин.

Згідно проаналізованих тверджень, можна зробити висновок, що визначення електронного документу може відрізнятись, в залежності від контексту застосування даного поняття.

Для організації колаборативних процесів у веб–середовищі використовуються онлайн спільноти.

Слід одразу зазначити, що сервіси типу «гостьова книга» є застарілими та відносяться до комплексу технологій «Веб 1.0». Онлайн–ресурси даного типу не мають чітких комунікативних інструментів, оскільки користувачі веб–простору є простими гостями, а права редагування контенту належить лише власникам сайту [1, 2].

Чати – це окремий вид комунікації, для якого характерні відсутність зберігання історії, відсутність тематичних розділів, а також обов'язковість перебування усіх його учасників у онлайн–режимі [1]. Здебільшого, чати у «чистому» вигляді трапляються доволі рідко. Такі системи часто можуть бути інтегровані у інші веб–ресурси, для поліпшення організації комунікативних можливостей.

Більш функціонально розвинутими та поширеними на сьогоднішній момент часу є сайти типу «блог». Даною тематикою також займалися ряд вчених [1, 4].

Форуми являють собою окрему парадигму побудови веб–ресурсів для організації онлайн–спільнот. У даному випадку присутня ієрархічна система розподілу тематичних розділів на вкладені підрозділи, а також самі обговорення. Також присутня чітка класифікація користувачів, які мають конкретні фіксовані права, з можливістю їх обмеження або розширення з боку адміністраторів або модераторів сайту [5, 6].

Доволі специфічним явищем є соціальні мережі. Згідно праць вказаних вчених, можна виявити відкриті, напів–відкриті та закриті соціальні мережі [1, 2] Таким чином, закриті соціальні мережі не дозволяють побачити звичайним Інтернет–користувачам (гостям) те, що відбувається всередині них, відкриті – дозволяють, а напів–відкриті дозволяють, в залежності від виставлених налаштувань доступу.

Справа у тому, що кожна соціальна мережа має свої технічні та функціональні особливості, цільову аудиторію. Тому, використання тієї чи іншої інформаційної системи даного типу напряму зумовлене конкретними потребами її користувачів.

Результати досліджень основних типів онлайн-спільнот. В епоху розвитку технологій «Веб 2.0», важливим фактором є формування інформаційного наповнення онлайн–ресурсів учасниками віртуальних спільнот, а не лише власниками сайтів [1]. Згідно вище описаним фундаментальним категоріям популярних реалізацій веб–спільнот, користувачі кожної з них мають різні види прав та привілегій [1, 3, 5]: адміністратори; модератори; користувачі; гості.

Блоги мають дещо іншу парадигму роботи. Детально та комплексно парадигму функціонування блогу в умовах конкуренції та інших важливих чинників було досліджено С. Федушко та Ю. Сєровим [4].

Користувачі, які мають повноваження робити пости на сайти типу «блог», мають можливість генерувати будь–який текстовий матеріал, на основі власних даних та встановлених правил самого сайту. Також, автор публікації може прикріплювати власні файли текстового формату, або робити посилання на веб–ресурси, на яких вони зберігаються, звісно, якщо це дозволено адміністрацією сайту (рис. 1).

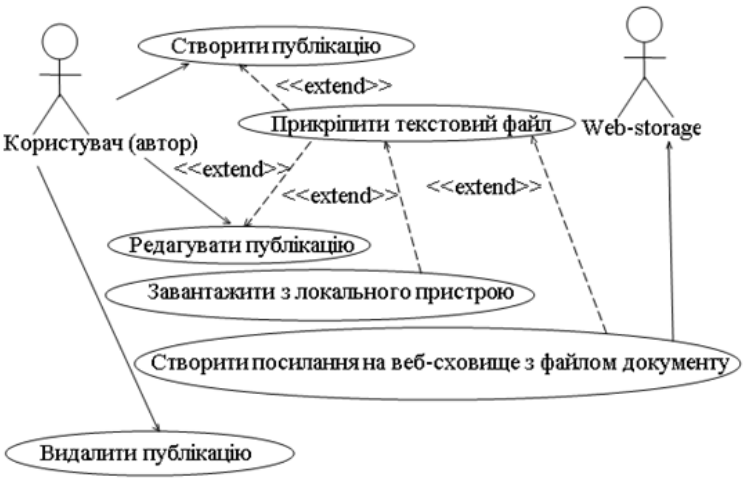


Рис. 1 – Діаграма варіантів використання розміщення файлу в публікації

У випадку, якщо користувач зробив пост, який відповідає критеріям визначення документу – такий пост також можливо вважати електронним документом [8–14]. Даний випадок вказує на фактичне розміщення повного контенту документу за конкретною адресою у веб–середовищі. Таким чином, інші користувачі матимуть змогу перенести його в інакшу фор-

му, не змінюючи оригінал: роздрукувати на матеріальний носій інформації; скопіювати та зберегти у цифровій формі в іншому вигляді; використати засоби веб–комунікації для поширення ресурсу за допомогою посилань, або повідомлень.

Загальні активності користувача при опрацюванні контенту документа з публікації блогу наведено на діаграмі (рис. 2).

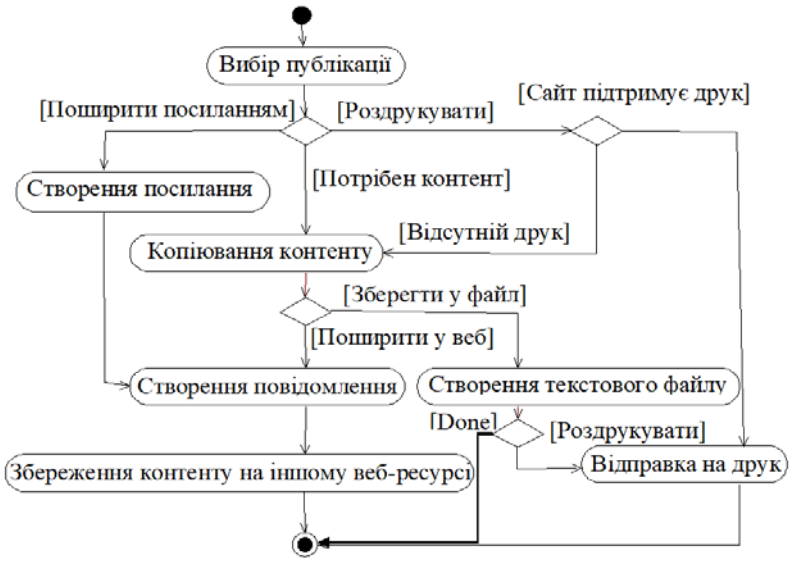


Рис. 2 – Діаграма загальних можливостей перетворення користувачем документу, представленим у якості публікації блогу

До комунікативної взаємодії учасників веб–блогу відносяться дописи, або коментарі, які інші користувачі мають змогу залишати під публікацією автора. На відміну від чатів, усі коментарі та публікації залишаються постійно. Їх видалення може бути викликане видаленням публікації, або видаленням коментаря його автором чи адміністратором сайту.

У деяких блогів існують вкладені коментарі. Їх принцип полягає у тому, що до конкретного коментаря користувачі пишуть інші коментарі, з метою дати відповідь, або підтримати тему, яку розпочав конкретний користувач своїм основоположним коментарем. Сукупність даних засобів можна відобразити у вигляді структурованого дерева з вузлами, яке формується самими користувачами під основною публікацією автора (приклад на рис. 3).

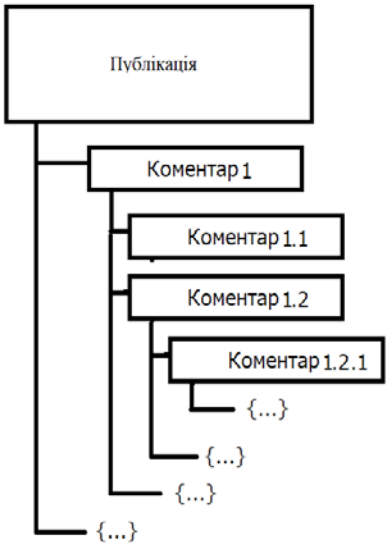


Рис. 3 – Схема принципу дерева вкладених коментарів

Також, на сучасних сайтах типу «блог», доволі часто розробники додають функції для створення відповідей, або цитування конкретних коментарів, або їх частин. Дані можливості підвищують конкретність висловлювань деякого користувача по відношенню до інших конкретних користувачів, або їх ідей.

Такі рішення дозволяють як організовувати спільні обговорення між учасниками веб–спільноти, так і отримувати зворотній зв'язок з автором публікації. Таким чином, автор може вносити зміни у публікацію, враховуючи усі важливі зауваження, критику та побажання, наведені у коментарях.

Системи, побудовані у вигляді форуму, перш за все мають чітку та розгалужену ієрархію гілок та обговорень. Саме чітка тематична організація комунікативної взаємодії користувачів сайту робить дану парадигму досить ефективною та популярною в організації веб–спільноти.

Основна взаємодія учасників форуму відбувається в обговореннях. Кожне обговорення повинно мати назву, а також містити не менше одного запису (посту). Члени віртуальної спільноти, які зацікавлені в обговоренні конкретної тематики, можуть залишати свої повідомлення, а також використовувати цитування або створювати «відповіді» конкретним учасникам дискусії.

Як і у випадку з блогом – користувачі можуть генерувати інформаційне наповнення згідно правил сайту. Таким чином, з точки зору документування, користувач може прикріпити текстовий файл, навести посилання на файл у мережі Інтернет, а також створити запис з контентом реального документа, за умови виконання встановлених правил сайту.

Соціальні мережі – доволі популярний вид організації віртуальних спільнот. Веб–ресурси даного типу можуть значною мірою відрізнятися за своїми функціональними та інструментальними особливостями. У більшості випадків, вони можуть поєднувати

характерні ознаки багатьох розглянутих видів комунікативних веб–ресурсів, в залежності від функціонального призначення конкретної гілки сайту.

Слід зазначити, що популярні потужні соціальні мережі можуть мати як вбудовані засоби для забезпечення своїх функціональних можливостей (Pinterest), так і використовувати споріднені сервіси, які можуть бути використані окремо (Facebook, Google+).

Таким чином, кожна соціальна мережа може значно відрізнятися за принципами своєї роботи, використовуючи комбінації можливостей блогів, форумів, чатів, тощо. Також значною мірою може відрізнятись і архітектура кожної окремо взятої соціальної мережі. Але умовно можна описати основні принцип їх архітектурної реалізації.

Також набувають популярності системи, які не є соціальними мережами, але комбінують базові підходи декількох розглянутих типів сайтів всередині одного, розширюючи свої функціональні можливості. Прикладами таких сайтів може служити “Habrahabr”, “Youtube”, “Lifehacker”. Дані ресурси мають функціональність блогу, як кінцевого результату, в той самий час підтримуючи певну категоризацію та авторство багатьох користувачів у межах свого сайту.

Архітектура та принципи функціонування як соціальних мереж, так і гібридних систем значною мірою можуть відрізнятися, в залежності від потреб у функціональних можливостях сервісу.

На основі запропонованих методів використання базових онлайн–спільнот у колаборативному документуванні, можна запропонувати розвиток поєднаних парадигм. Це може сприяти кращій організації процесу колаборації та документування. Якщо взяти до уваги сучасні можливості інтеграції сервісів різного типу у рамках одного веб–ресурсу, можливим стає використання саме тих функціональних можливостей, які особливо необхідні.

SWOT–аналіз результатів досліджень. Strengths. Сильні сторони даного дослідження полягають у тому, що запропоновані методи колаборативного документування доступні будь–яким користувачам у веб–просторі. Для реалізації даного процесу можливо використовувати вже існуючі веб–ресурси, які задовільняють потреби конкретної соціальної спільноти. Даний факт вказує на можливе скорочення або відсутність витрат, пов’язаних з побудовою нових сервісів з метою організації взаємодії всіх його учасників.

Weaknesses. До слабких сторін даного дослідження можна віднести малу ефективність деяких видів використання Інтернет–ресурсів. Це пов’язано з тим, що кожен тип сайту може мати дещо різну реалізацію, у порівнянні з класичними аналогами, а також мати як свої переваги так і недоліки. Навіть застосування соціальних мереж, або поєднаних парадигм у межах одного сайту може бути не раціональним, в залежності від способу їх використання та цільових потреб спільноти у цілому.

Opportunities. Згідно дослідження, процес колаборативного документування може бути реалізований різними типами веб–ресурсів. Найбільш перспективною тенденцією розвитку онлайн–спільнот з максимальними функціональними можливостями у даній галузі є створення систем на основі поєднання характерних парадигм класичних типів сайтів. Правильна реалізація поєднання характеристик класичних сайтів має можливість використання максимуму можливостей у рамках однієї інформаційної системи.

Threats. Складності в реалізації колаборативних можливостей заключаються в обмеженнях різних типів сервісів. Найбільш пристосованими, в даному питанні, є соціальні мережі та сервіси з поєднаними парадигмами. Такі підходи є найбільш прагматичними, проте іноді бувають також не вичерпними.

Також, для побудови нового веб–ресурсу необхідно правильно оформити концепцію та парадигми роботи, згідно основного цільового призначення. Крім того, реалізація нового сервісу потребує витрат часу та матеріальних ресурсів.

Висновки. Методи організації колаборативного документування, запропоновані у даному дослідженні мають свої особливості застосування. У ході аналізу типових можливостей веб–ресурсів кожного з видів онлайн–спільнот було отримано декілька можливих сценаріїв, за якими користувачі можуть здійснювати колаборативну взаємодію у рамках конкретного сайту, при роботі з електронними документами.

Чати мають найменшу перевагу серед інших систем. Їх сильна сторона полягає у тому, що вони можуть бути реалізовані у якості допоміжного інструмента для підвищення комунікативних можливостей учасників віртуальної спільноти. У такому випадку, користувачі матимуть можливість активного онлайн–обговорення при безпосередній роботі над основним завданням.

Блоги дозволяють доволі активно поширювати контент, а також файли у веб–середовищі. За допомогою коментарів можливий зворотній зв’язок з іншими користувачами. Існують, у деяких випадках, засоби вкладених коментарів, цитування та створення «відповіді», що робить комунікації більш зручними. Важливо, що дана парадигма у класичному вигляді вказує на авторство публікацій однією людиною, з відсутністю серйозних ієрархічних розділів, тому вона не є завжди зручною.

Форуми складаються зі складних ієрархічних гілок та обговорень, які мають налаштовані права доступу до них. Також вони містять майже усі можливості блогу, з точки зору роботи з електронними документами. Саме ці характеристики роблять форуми популярними для організації колаборативних процесів, адже користувачі, на відміну від блогу, можуть створювати свої обговорення та гілки, якщо це дозволено адміністраторами сайту.

Соціальні мережі мають різну мету та особливості їх функціональної реалізації. В основному, соціальні мережі об’єднують у собі декілька парадигм для досягнення максимальних цілей.

Застосування ресурсів, що поєднують у собі парадигми декількох класичних видів систем дозволяє використовувати найбільш ефективно усі можливості, у випадку, якщо це раціонально реалізовано/

В результаті виконаного аналізу, було запропоновано найбільш ефективні методи використання

кожного з досліджуваних типів веб–ресурсів у процесі колаборативного документування між учасниками веб–спільнот. Було виявлено, що сервіси з поєднаними моделями є найбільш ефективними, за рахунок реалізації максимальних функціональних можливостей у рамках однієї інформаційної системи.

Таким чином, внаслідок даного дослідження моделей онлайн–спільнот, було виявлено можливі методи використання різних типів веб–ресурсів у процесі колаборативного документування, які можуть бути доступними широкому загалу людей. Найбільш перспективними, у плані розвитку, є системи з поєднаними парадигмами. Саме такі системи дозволяють об'єднувати у собі класичні моделі досліджених веб–ресурсів, забезпечуючи кращу ефективність організації взаємодії між учасниками спільноти.

Список літератури:

1. *Пелещишин, А. М.* Процеси управління інтерактивними соціальними комунікаціями в умовах розвитку інформаційного суспільства [Текст]: монографія / *А. М. Пелещишин, Ю. О. Сєров, О. Л. Березко, О. П. Пелещишин, О. Ю. Тимовчак-Максимець, О. В. Марковець*. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівської політехніка», 2011. – 374 с.
2. *Пелещишин, А. М.* Аналіз існуючих типів віртуальних спільнот у мережі Інтернет та побудова моделі віртуальної спільноти на основі веб-форуму [Текст] / *А. М. Пелещишин, Р. Б. Кравець, Ю. О. Сєров* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2011. – № 699. – С. 212–221.
3. *Peleschyshyn, A.* Typical ways of web communities development [Text] / *A. Peleschyshyn, Yu. Syerov* // Proceedings of the International Conference on Computer Science and Information Technologies. – Lviv, 2006. – P. 56–58.
4. *Федушко, С. С.* Моделювання структури та функціонування спеціалізованої віртуальної спільноти на основі блогу (на прикладі webstyletalk.net) [Текст] / *С. С. Федушко, М. О. Котило, Ю. О. Сєров* // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – № 2 (173). – С. 150–155.
5. *Кравець, Р. Б.* Дослідження поведінки учасників веб-спільнот та їх класифікація [Текст] / *Р. Б. Кравець, А. М. Пелещишин, Ю. О. Сєров* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2008. – № 621. – С. 153–161.
6. *Тимовчак-Максимець, О. Ю.* Аналіз комунікативної взаємодії на веб-форумах: інформаційна поведінка та учасники [Текст] / *О. Ю. Тимовчак-Максимець, А. М. Пелещишин, К. О. Слобода* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2011. – № 699. – С. 352–361.
7. *Федушко, С. С.* Аналіз архітектури та сучасних тенденцій розвитку віртуальних спільнот [Текст] / *С. С. Федушко* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2011. – № 699. – С. 362–375.
8. *Вершинин, А. П.* Электронный документ: правовая форма и доказательство в суде [Текст] / *А. П. Вершинин.* – М., 2000. – С. 40.
9. *Годин, В. В.* Управление информационными ресурсами: 17-ти модульная программа для менеджеров «Управление развитием организации» [Текст] / *В. В. Годин, И. К. Корнеев.* – М., 2000. – С. 15.
10. *Залаев, Г. З.* Анализ и классификация электронных документов [Текст] / *Г. З. Залаев* // Вестник архивиста. – 1999. – № 2-3. – С. 60–68.
11. *Бачило, И. Л.* Правовые вопросы документирования в условиях информатизации [Текст] / *И. Л. Бачило* // Делопроизводство. – 1998. – № 2. – С. 13.
12. *Костомаров, М. И.* Многоликий Янус: документ в системе информационного менеджмента [Текст] / *М. И. Костомаров* // Делопроизводство. – 1998. – № 1. – С. 29.
13. *Ларин, М. В.* Некоторые проблемы эволюции управленческого документа [Текст] / *М. В. Ларин* // Доклад на 6-й научно-практической конференции. – 1999.
14. *Ткачев, Л. В.* Правовой статус компьютерных документов: основные характеристики [Текст] / *Л. В. Ткачев.* – М., 2000. – С. 8.
15. *Mulesa, O.* Information technology for determining structure of social group based on fuzzy c-means [Text] / *O. Mulesa, F. Geche, A. Batyuk* // 2015 Xth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies" (CSIT). – 2015. doi: 10.1109/stc-csit.2015.7325431
16. *Biloshchytskyi, A.* A method for the identification of scientists' research areas based on a cluster analysis of scientific publications [Text] / *A. Biloshchytskyi, A. Kuchansky, Y. Andrashko, S. Biloshchytska, O. Kuzka, Y. Shabala, T. Lyashchenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 2 (89). – P. 4–11. doi: 10.15587/1729-4061.2017.112323

Bibliography (transliterated):

1. Peleshchyshyn, A. M., Sierov, Yu. O., Berezko, O. L., Peleshchyshyn, O. P., Tymovchak-Maksymets, O. Yu., Markovets, O. V. (2011). Protsesy upravlinnia interaktyvnymy sotsialnymy komunikatsiiamy v umovakh rozvytku informatsiinoho suspilstva. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivskoi politekhnika», 374.
2. Peleshchyshyn, A. M., Kravets, R. B., Sierov, Yu. O. (2011). Analiz isnuiuchykh typiv virtualnykh spilnot u merezhi Internet ta pobudova modeli virtualnoi spilnoty na osnovi veb-forumu. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 699, 212–221.
3. Peleschyshyn, A., Syerov, Yu. (2006). Typical ways of web communities development. Proceedings of the International Conference on Computer Science and Information Technologies. Lviv, 56–58.
4. Fedushko, S. S., Kotylo, M. O., Sierov, Yu. O. (2012). Modeliuvannia struktury ta funktsionuvannia spetsializovanoi virtualnoi spilnoty na osnovi blogu (na prykladi webstyletalk.net). Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia, 2 (173), 150–155.
5. Kravets, R. B., Peleshchyshyn, A. M., Sierov, Yu. O. (2008). Doslidzhennia povedinky uchasnykiv veb-spilnot ta yikh klasyfikatsiya. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 621, 153–161.
6. Tymovchak-Maksymets, O. Yu., Peleshchyshyn, A. M., Sloboda, K. O. (2011). Analiz komunikatyvnoi vzaiemodii na veb-forumakh: informatsiina povedinka ta uchasnyky. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 699, 352–361.
7. Fedushko, S. S. (2011). Analiz arkhitektury ta suchasnykh tendentsii rozvytku virtualnykh spilnot. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 699, 362–375.
8. Vershinin, A. P. (2000). Elektronnyy dokument: pravovaya forma i dokazatel'stvo v sude. Moscow, 40.
9. Godin, V. V., Korneev, I. K. (2000). Upravlenie informacionnymi resursami: 17-ti modul'naya programma dlya menedzherov «Upravlenie razvitiem organizacii». Moscow, 15.
10. Zalaev, G. Z. (1999). Analiz i klassifikaciya elektronnyh dokumentov. Vestnik arhivista, 2-3, 60–68.
11. Bachilo, I. L. (1998). Pravovye voprosy dokumentirovaniya v usloviyah informatizacii. Deloproizvodstvo, 2, 13.
12. Kostomarov, M. I. (1998). Mnogolikiy Yanus: dokument v sisteme informacionnogo menedzhmenta. Deloproizvodstvo, 1, 29.
13. Larin, M. V. (1999). Nekotorye problemy evolyucii upravlencheskogo dokumenta. Doklad na 6-y nauchno-prakticheskoy konferencii.
14. Tkachev, L. V. (2000). Pravovoy status komp'yuternyh dokumentov: osnovnye harakteristiki. Moscow, 8.
15. Mulesa, O., Geche, F., Batyuk, A. (2015). Information technology for determining structure of social group based on fuzzy c-means. 2015 Xth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies" (CSIT). doi: 10.1109/stc-csit.2015.7325431

16. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S., Kuzka, O., Shabala, Y., Lyashchenko, T. (2017). A method for the identification of scientists' research areas based on a cluster analysis of scientific publications. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (2 (89)), 4–11. doi: 10.15587/1729-4061.2017.112323

Надійшла (received) 02.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделі онлайн–спільнот як основа взаємодії учасників колаборативного документування/ Гетманюк П. О., Форкун Ю. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.85–90. – Bibliogr.:16. – ISSN 2079-5459

Модели онлайн–сообществ как основа взаимодействия учасников колаборативного документирования/ Гетманюк П. О., Форкун Ю. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.85–90. – Bibliogr.:16. – ISSN 2079-5459

Models of online–communities as a communicational basis in collaborative documentation/ Getmanyk P., Forkun Y. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.85–90. – Bibliogr.:16. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гетманюк Павло Олександрович – Аспірант, Кафедра інженерії програмного забезпечення, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська 11, Хмельницький, Україна, 29000, E–mail: gornnaemnik@gmail.com.

Форкун Юрій Вікторович – Кандидат технічних наук, доцент, Кафедра інженерії програмного забезпечення, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська 11, Хмельницький, Україна, 29000, E–mail: forkun@ridne.net.

Гетманюк Павел Александрович – Аспирант, Кафедра инженерии програмного обеспечения, Хмельницкий национальный університет, вул. Институтская 11, Хмельницкий, Украина, 29000,

Форкун Юрий Викторович – кандидат технических наук, доцент, Кафедра инженерии програмного обеспечения, Хмельницкий национальный університет, вул. Институтская 11, Хмельницкий, Украина, 29000,

Getmanyuk Pavlo – postgraduated student, Department Software Engineering, Khmelnitskiy national university, str. Institutska 11, Khmelnitskiy, Ukraine, 29000, e–mail: gornnaemnik@gmail.com.

Forkun Iurii – PhD., associate professor, Department Software Engineering, Khmelnitskiy national university, str. Institutska 11, Khmelnitskiy, Ukraine, 29000, e–mail: forkun@ridne.net.

УДК 681.3

Р. В. СКУРАТОВСКИЙ, Е. О. ОСАДЧИЙ, Д. М. КВАШУК

ДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ СКРУЧЕННОЙ КРИВОЙ ЭДВАРДСА НА ДВА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В КРИПТОГРАФИИ

Большинство криптосистем современной криптографии естественным образом можно реализовать на эллиптических кривых. Мы рассматриваем алгебраические кривые в форме Эдвардса над простым полем, F_p, которые сейчас являются одними из наиболее перспективных носителей групп, используемых в асимметричных криптосистемах. Показано, что проективная кривая Эдвардса $E_{a,d}$ не является эллиптической. Исследовано некоторые интересные свойства группы точек этих кривых. Найдено род скрученной кривой Эдвардса и ее особые точки. Показано возможность построения генератора случайных крипто стойких последовательностей на этой кривой. Предложена нормализация скрученной кривой Эдвардса. Исследованы условия делимости на два элемента из группы точек скрученной кривой Эдвардса над полем F_{p^n}. Целью роботы есть поиск критерия делимости точки кривой напополам над полем F_{p^n} и анализ свойств скрученной кривой Эдвардса необходимых для построения генератора псевдослучайных крипто стойких последовательностей.

Ключевые слова: конечное поле, алгебраическая кривая, группа точек эллиптической кривой, делимость точки кривой пополам.

Більшість криптосистем сучасної криптографії природним чином можна реалізувати на еліптичні криві. Ми розглядаємо алгебраїчні криві Едвардса над скінченним полем F_{p^n}, які на даний час є одним з найбільш перспективних носіїв множин точок, що використовують для швидких групових операцій, які наявні в асиметричних криптосистемах, зокрема для побудови випадкових криптостійких послідовностей. Показано, що проективна крива $E_{a,d}$ не є еліптичною. Досліджено умови існування подільності навпіл елемента з групи точок скрученої кривої Едвардса $E_{a,d}$, що є важливим в алгоритмах. Знайдено рід скрученої кривої Едвардса. Метою роботи є пошук критерію подільності точки кривої навпіл над полем F_{p^n} і аналіз властивостей скрученої кривої Едвардса необхідних для побудови генератора псевдовипадкових криптостійких послідовностей і побудова односторонньої функції для нього.

Ключові слова: скінчене поле, алгебраїчна крива, група точок еліптичної кривої, подільність точки кривої навпіл.

Most cryptosystems of modern cryptography can be naturally transformed into elliptic curves. We review Edwards algebraic curves over a finite field, which at the present time is one of the most promising carriers of sets of points that are used for fast group operations. These are found in asymmetric cryptosystems. In particular, for constructing random crypto-stable sequences. It is shown that the projective curve is not elliptic.

The conditions of the existence of divisibility in half an element from the group of points of the twisted curve of Edwards $E_{a,d}$, which is important in algorithms, are investigated. The type of twisted curve Edwards is found. The purpose of the work is to find the criterion of the divisibility of the point of the curve in half over the field and to analyze the properties of the twisted curve of Edwards necessary for constructing a generator of pseudo-random crypto-stable sequences and constructing a one-way function F_{p^n} for it.

Keywords: finite field, elliptic curve, Edwards curve, order of a curve, finite field, algebraic curve, group of points of an elliptic curve, order of a point, torsion curves.

© Р. В. Скуратовский, Е. О. Осадчий, Д. М. Квашук. 2017

Введение. Электронно цифровая подпись из средств защиты информации наиболее широко обеспечивает защиту от всех возможных атак. Причиной этого является наличие в ней хешфункции и закрытого ключа шифрования. Наиболее прогрессивной схемой является схема цифровой подписи эллиптической кривой (ECDSS - Elliptic Curve Digital Signature). Благодаря вышеупомянутым возможностям решается проблема управления и распределения ключей шифрования. Мы исследуем еще одно семейство кривых пригодных для создания ECDSS.

Впервые кривые Эдвардса E_d были представлены Эдвардсом в работе Бернстейна и Ланге [1]. В эллиптической криптографии очень важно знать, те кривые которые являются суперсингулярными (имеющие нулевой j-инваривант), поскольку они являются крипографично слабыми и период построенного на их основе генератора псевдослучайных чисел является меньшим.

Известно, что супер сингулярные кривые, в отличие от несуперсингулярных, над алгебраически замкнутым полем, не имеют коммутативное кольцо эндоморфизмов. Кривые в форме Эдвардса над простым полем сегодня являются одним из наиболее перспективных носителей множеств точек, использующих для быстрых групповых операций, что используются в асимметричных криптосистемах. Их важнейшие преимущества: рекордная производительность, универсальность закона сложения, симметричность точек и представления нейтрального элемента группы точек в аффинных координатах. Эти свойства были замечены и обоснованные в работах известных специалистов по криптографии [1–7].

Данные кривые удовлетворяют самым сильным требованиям по устойчивости к MOV-атаки, о чем неоднократно отмечалось в трудах отечественных и зарубежных ученых [2]: невозможность применения этого метода обеспечивается через отсутствие возможности вложить группу точек кривой в мультипликативную группу поля достаточно малого порядка. Для этого достаточно, чтобы минимальное натуральное t, $p^t \equiv 1 mod\,|N_E|$, было достаточно большим. Для скрученных кривых Эдвардса $t = |N_E| - 1$, что является максимально возможным. Большим преимуществом является возможность построения скрученной кривой Эдвардса порядка $4p,\ p \in \mathbf{P}$, поэтому не может быть использована атака подмены точки, принадлежащей рекомендованной кривой на точку из скрученной кривой, то есть так называемой кривой кручения. Также не дает противнику использовать китайскую теорему об остатках для определения секретного ключа [2, 8–13], так как имеем большой множитель p в $|N_E|$. С точки зрения алгебраической геометрии, кривая не является эллиптической, потому что она сингулярная.

Кривые Эдвардса также как и скрученные кривые Эдвардса имеют аффинное представление изоморфное, некоторой аффинной части эллиптической кривой, имеющей в порядке группы кривой множитель. Интересной является возможность построения скрученной кривой порядка Эдвардса $4p,\ p \in \mathbf{P}$, то есть такой, которая имеет минимальный кофактор. Поэтому естественно исследовать такие кривые и класс кривых, который обобщает эти кривые – скрученные кривые Эдвардса. Частично, изложенные результаты представлены в тезисах [7] и предыдущие исследования есть в статье автора [3].

С точки зрения алгебраической геометрии, кривая Эдвардса не является эллиптической, потому что она сингулярная. Кривые Эдвардса также как и скрученные кривые Эдвардса имеют аффинное представление изоморфное, некоторой аффинной части эллиптической кривой, имеющей в порядке группы кривой множитель. Как указано в работе В. Фултона [8] для построения "elliptic curve power generator" генератора и генератора "Naor-Reingold "используют не супер сингулярную эллиптическую кривую и ее точку P большого простого порядка, если же порядок l точки P не простой, то выбирают начальное заполнение e такое, что $(e,l)=1$.

Нашей целью является исследование свойств этих кривых, необходимых для ее применения в асимметричной криптографии, а также в криптоанализе, в частности исследования этой кривой на предмет сингулярности.

Постановка проблемы заключается в выявлении ресурсов математического аппарата, что позволит максимально быстро осуществлять групповую операцию связанную с сложением точки к собой либо обратную к удвоению точки – деление точки на 2 то есть с обратной операций к удвоению точки. То есть операция экспоненцирования точки кривой, которая лежит в основе проблемы дискретного логарифма.

Анализ особенностей скрученной кривой Эдвардса. Рассмотрим скрученную кривую Эдвадрса $E_{a,d}$

$$\begin{aligned} &ax^2 + y^2 = 1 + dx^2y^2,\ a,d \in F_p^*, \\ &ad(a-d) \neq 0,\ d \neq 1,\ p \neq 2,\ a \neq d, \end{aligned} \qquad (1)$$

При $a = d$ преобразуем кривую $ax^2 + y^2 = 1 + ax^2y^2$ к виду $ax^2 - ax^2y^2 - 1 + y^2 = 0$ или $ax^2(1-y^2) - (1-y^2) = 0$. Таким образом, кривая раскладывается в произведение двух пар прямых $(ax^2 - 1)(y^2 - 1) = 0$. Если $a = 1$, то $E_{a,\mathrm{d}}$ превращается в кривую E_{d}. Из условия гладкости находим особые точки аффинной кривой.

Обозначим $F(x,y) = ax^2 + y^2 = 1 + dx^2y^2$, a,d $\in \mathrm{F_p}^*$, $\mathrm{d} \neq 1$, $\mathrm{p} \neq 2$, $a \neq d$.

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{F}(x,y)}{\partial x} = 0 \\ \dfrac{\mathrm{F}(x,y)}{\partial y} = 0 \end{cases}, \begin{cases} 2ax = 2dxy^2 \\ 2y = 2dx^2y \end{cases},$$

$$\begin{cases} ax - dxy^2 = 0 \\ y - dx^2y = 0 \end{cases} \begin{cases} x(a - dy^2) = 0 \\ y(1 - dx^2) = 0 \end{cases}$$

$$\left[\begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \end{cases} \right. \left. \begin{cases} (a - dy^2) = 0 \\ (1 - dx^2) = 0 \end{cases}\right. \left[\begin{matrix} (0,0) \\ \left(\pm\sqrt{\dfrac{1}{d}}, \pm\sqrt{\dfrac{a}{d}}\right) \end{matrix}\right.$$

Но точка $(0,0)$ кривой $E_{a,\mathrm{d}}$ не принадлежит не зависимо от поля. Таким образом, получили аж 4 точки, согласно условию, что при этом для F_p коэффициенты a и d из F_p должны быть такими, что $\left(\dfrac{d}{p}\right) = 1$ и $\left(\dfrac{ad}{p}\right) = 1$, то есть $\left(\dfrac{d}{p}\right) = 1$ и $\left(\dfrac{a}{p}\right) = 1$. Таким образом, наявные 4 особенные точки с учетом того, что точка $(0,0)$ кривой не принадлежит.

Подсчитаем род кривой согласно Риду $\rho^*(C) = \rho_\alpha(\mathrm{C}) - \sum_{p \in E} \delta_p = \dfrac{(n-1)(n-2)}{2} - \sum_{p \in E} \delta_p = 3 - 2 = 1$ или $n = 4$. де $\rho_\alpha(C)$ – арифметический род кривой C, параметр $n = degC = 4$.

Поскольку кривая имеет род 1, то она изоморфна плоской кубической кривой но не есть эллиптической, так как имеет особенности в проективной части. Кривая Эдварса как и скрученная кривая Эдаварса изоморфна некоторой аффинной части эллиптической кривой. Нормализация кривой Эдвардса – кривая E_M в форме Веерштрасса, которая предложена Монтгомери получена путем бирационального отображения $u = (1+y)/(1-y)$, $v = u/x$ в [9], и уже являющаяся эллиптической, что показано в теореме 3. 2 из [9]. Однако при анализе этой теоремы авторы–Бессалов А. В. и Цыганкова О. В. [12] путают бирациональную эквивалентность с изоморфизмом [11], зря критикуя теорему 3.2 из [9], где анализируется эта бирациональная эквивалентность. Также ими в [12] допущено неточность в конце раздела 1, где указан случай наявной корректной арифметики при четных d хотя нужно было указать квадратичность вычета $\left(\dfrac{d}{p}\right) = 1$.

Свойства скрученной кривой Эдвардса. Лемма 1. Если (x,y) точка кривой $E_{a,d}$, тогда имеет место равенство $\left(\dfrac{1-dx_1^2}{p}\right) = \left(\dfrac{1-ax_1^2}{p}\right)$.

Доказательство. Из уравнения скрученной кривой Эдвардса $ax^2 + y^2 = (1 + dx^2y^2)$ получаем $y^2 - dx^2y^2 = 1 - ax^2$ $y^2 - dx^2y^2 = 1 - ax^2$ откуда $y^2(1-dx^2) = (1-ax^2)$. А поскольку квадратичность левой части определяется лишь множителем $(1-dx^2)$, то имеет место конгруэнция $\left(\dfrac{1-dx_1^2}{p}\right) = \left(\dfrac{1-ax_1^2}{p}\right)$.

Лемма 2. Если (x,y) точка кривой $E_{a,d}$, тогда имеет место равенство $\left(\dfrac{a-dy_1^2}{p}\right) = \left(\dfrac{1-y_1^2}{p}\right)$.

Доказательство. Из уравнения скрученной кривой Эдвардса $ax^2 + y^2 = (1 + dx^2y^2)$ имеет $ax^2 - dx^2y^2 = 1 - y^2$ откуда $x^2(a - dy^2) = 1 - y^2$. А поскольку квадратичность левой части определяется лишь множителем $a - dy^2$, то имеет место конгруэнтность $\left(\dfrac{a-dy_1^2}{p}\right) = \left(\dfrac{1-y_1^2}{p}\right)$.

Утверждение 1. Для произвольной не фундаментальной точки (x_1, y_1) кривой (1) при $e = 1$ выполняется равенство $\left(\dfrac{1-ax_1^2}{p}\right)\left(\dfrac{1-y_1^2}{p}\right) = \left(\dfrac{a-d}{p}\right)$.

Доказательство. Для точки $P = (x_1, y_1)$ удовлетворяющей уравнение кривой (1) рассмотрим произведение

$$(a - dy_1^2)(1 - ax_1^2) = a + adx_1^2y_1^2 - a^2x_1^2 - dy_1^2 =$$
$$= ay_1^2 - dy_1^2 = (a-d)y_1^2.$$

Согласно лемме 2 имеем $\left(\dfrac{a-dy_1^2}{p}\right) = \left(\dfrac{1-y_1^2}{p}\right)$ подставив это в последнее равенство вместо $(a - dy_1^2)$ получаем новое равенство вычетов $\left(\dfrac{1-ax_1^2}{p}\right)\left(\dfrac{1-y_1^2}{p}\right) = \left(\dfrac{a-d}{p}\right)$ что и нужно было доказать.

Ответ на вопрос о делимости точки на два для кривой E_d изучался в работах известных криптографов [9, 14].

Возможность выполнения обратной к удвоению точки операции до сих пор не исследована полностью для скрученной кривой Эдвардса, один из критерием был ранее предложен в работе автора [3] однако более удобным с вычислительной точки зрения является следующий критерий.

Возможность выполнения обратной операции к операции удвоения точки еще и до сих пор не иссле-

довав для скрученной кривой Эдвардса, следующая теорема дает ответ на этот вопрос.

Под делимостью точки (*X*; *Y*) напополам понимает нахождения ее прообраза то есть точки (*x*; *y*), которая при применении формулы удвоения точки [1].

Теорема. Необходимым и достаточным условием существования точек деления на 2 для произвольной точки $G=(X,Y)$ скрученной кривой Эдвардса (1), которая не есть точкой 2-го или 4-го порядка, является условие

$$\left(\frac{1-aX^2}{p}\right)\neq -1.$$

Доказательство. Для скрученной кривой Эдвардса закон удвоения имеет форму [2,9]

$$2(x_1,y_1)=\left(\frac{2x_1y_1}{y^2+ax_1^{\,2}},\frac{y_1^2-ax_1^{\,2}}{1-dx_1^{\,2}y_1^2}\right)=\left(X,\mathrm{Y}\right), \qquad (2)$$

отсюда, воспользовавшись уравнением кривой мы выводим модифицированную формулу сложения точки с собой

$$2(x_1,y_1)=\left(\frac{2x_1y_1}{1+dx_1^{\,2}y_1^2},\frac{y_1^2-ax_1^{\,2}}{1-dx_1^{\,2}y_1^2}\right)=\left(X,Y\right)=G. \quad (3)$$

Рассмотрим уравнение $\frac{2x_1y_1}{1+dx_1^{\,2}y_1^{\,2}}=X$ равносильное $dXx^2y^2-2xy+X=0$ и применим замену $t=x_1y_1$ после чего получим уравнение

$dXt^2-2t+X=0$,

решение, которого существует тогда и только тогда когда $\left(\frac{1-dX^2}{p}\right)=1$ (если $1-dX^2\equiv 0(\mathrm{mod}\ p)$).

Решения имеют вид $t_{1,2}=\frac{1\pm\sqrt{1-dX^2}}{dX}$, они существуют если $\left(\frac{1-dx_1^2}{p}\right)=1$. Согласно с леммой 1 имеем $\left(\frac{1-dx_1^2}{p}\right)=\left(\frac{1-ax_1^2}{p}\right)$.

Из уравнения (2) имеем для первой координаты одно уравнение

$$\frac{2x_1y_1}{y_1^2+ax_1^{\,2}}=X$$

.

Сделав замену $u=\frac{y}{x}$ получим $\frac{2u}{u^2+a}=X$ или $2uX\neq u(\ ^2a+\ )$, переписав как квадратное уравнение относительно u имеем $Xu^2-2u+Xa=0$ с определителем $D_2=4(1-aX^2)$. Поэтому, согласно Лемме 1 уравнения $dXt^2-2t+X=0$ и $Xu^2-2u+Xa=0$ решения которых существуют или не существуют одновременно, что дает выражения для координат точки $P_j=(x_j,y_j)$: $x_j=\sqrt{t_ju_j^{-1}}, y_j=\sqrt{t_ju_j}$ $j\in\{0,1\}$.

Приравнивая левые части равности $\frac{2x_1y_1}{1+dx_1^{\,2}y_1^{\,2}}=X$ и $\frac{2x_1y_1}{y^2+ax_1^{\,2}}=X$ получаем $ax_1^2+y_1^2=1+dx_1^2y_1^2$, то есть полученные пара координат $\left(x_i,y_j\right)$ удовлетворяет уравнению кривой, что также следует с замкнутости групповой операции. Заметим, что вместе с $\left(x_1,y_1\right)$ выше указанные уравнения удовлетворяют точки $\left(-x_1,-y_1\right),\left(-y_1,-x_1\right),\left(y_1,x_1\right)$.

Проанализируем, какие из полученных точек удовлетворяют уравнение удвоения точки по 2-ой координате

$$\frac{y_1^2-ax_1^{\,2}}{1-dx_1^{\,2}y_1^2}=Y.$$

Преобразуем уравнение кривой (1) как $Y^2=\frac{1-aX^2}{1-dX^2}$, подставим полученные $X=\frac{2x_1y_1}{1+dx_1^{\,2}y_1^{\,2}}$ и обозначим $x=x_1,\ y=y_1$, имеем

$$Y^2=\frac{1-aX^2}{1-dX^2}=\frac{1-a\frac{4t^2}{(y^2+ax^2)^2}}{1-d\frac{4t^2}{y^2+ax^2}}=\frac{(y^2+ax^2)^2-4at^2}{(y^2+ax^2)^2-4dt^2}=$$

$$=\frac{(y^2+ax^2)^2-4at^2}{(1+dt^2)^2-4dt^2}=\frac{(y^2-ax^2)^2}{(1-dt^2)^2}=\frac{(y^2-ax^2)^2}{(1-dx^2y^2)^2}$$

Поэтому, получили уравнение, которое задает вторую координату полученную в результате удвоения точки (x_1,y_1), возведенное в квадрат. Это уравнение мы используем для выбора правильного из дополнительных корней

$\left(-x_1,-y_1\right),\left(-y_1,-x_1\right),\left(y_1,x_1\right)$ к истинному корню (x_1,y_1). Таким образом, второе уравнение удовлетворяют точки (x_1,y_1) и $(-x_1,-y_1)$. Заметим, что $(-x_1,-y_1)=(x_1,y_1)+D$.

Учитывая, что $y_1^2-dx_1^2y_1^2=1-ax_1^2$ откуда $y_1^2(1-dx_1^2)=1-ax_1^2$, и получаем

$$\left(\frac{1-ax_1^2}{p}\right)=\left(\frac{1-dx_1^2}{p}\right).$$

Из равенства (2) для второй координаты имеем определяющее уравнение

$$\frac{y_1^2-ax_1^{\,2}}{1-dx_1^{\,2}y_1^2}=Y.$$

Поскольку мы ввели уравнение связи между переменными $t=x_1y_1$, то последнее уравнение примет вид $y_1^2-ax_1^{\,2}=Y(1-dt^2)$. Откуда, учитывая $t=x_1y_1$, получаем

$$\frac{t^2}{x^2}-ax_1^{\,2}=Y(1-dt^2)$$

$$t^2-ax^4=Y(1-dt^2)x^2$$

$$ax^4+Y(1-dt^2)x^2-t^2=0.$$

Откуда

$$x^2 = \frac{Y(\mathrm{dt}^2-1) \pm \sqrt{Y^2(1-\mathrm{dt})^2 + 4dt^2}}{2d} \quad (4)$$

Которое после подстановки $t_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1-dX^2}}{dX}$ даст

$$x_{1,2}^2 = \frac{Y(\mathrm{d}(\frac{1 \pm \sqrt{1-dX^2}}{dX})^2 - 1)}{2d} \pm \pm \frac{\sqrt{Y^2(1-\mathrm{d}\frac{1 \pm \sqrt{1-dX^2}}{dX})^2 + 4d(\frac{1 \pm \sqrt{1-dX^2}}{dX})^2}}{2d} \quad (5)$$

Поскольку эти корни есть сопряженными иррациональностями, то точка $(\pm x, \pm y)$ удовлетворяют одновременно уравнение, чего достаточно для выполнения условий теоремы.

Кроме того $y^2 = \frac{t^2}{x^2} = \frac{(1+\sqrt{1-dx^2})^2}{dx^3}$ то есть элемент dx, где x определяется условием (9), должен быть квадратическим вычетом в $\mathbb{F}_p$. Заметим, что оба корни уравнений (4) и (5) есть сопряженными иррациональностями, поэтому если один из них удовлетворяет уравнению над Z или над $\mathbb{F}_p$, то элементы полученные в результате операций сложения, умножения и возведения его в натуральную степень тоже все его удовлетворяют. Поэтому все найденные координаты удовлетворяют уравнению кривой (1) и уравнению операции удвоения точки.

Рассмотрим условия существования точек 8-го порядка которые тесно связаны с кофактором кривой.

Утверждение. Кривая Эдвардса содержит точку порядка 8 тогда и только тогда, когда $\left(\frac{1-d}{p}\right) = 1$.

Правильность утверждения следует из того, что точки 8-го порядка удовлетворяют уравнение $2Q = F$, где $F = (\pm 1, 0)$ – точек 4-го порядка. То, что точка Q имеет вид (x, x) следует из формул сложения точек [9] и из уравнения кривой (1) следует. Отсюда и из уравнения кривой имеем $2(x, x) = (\pm 1, 0)$, где $(\pm 1, 0) = F$ это координаты точки 4-го порядка. Значит, точка Q лежит на диагонали, т.е, другими словами $|x| = |y|$. Отсюда и из уравнения кривой имеем биквадратное уравнение $2x^2 = 1 + dx^4$, $dx^4 - 2x^2 + 1 = 0$.

Дискриминант которого является следующим $D = 4 - 4d = 4(1-d)$. Поэтому, что бы решение существовало необходимо и достаточно, что бы $\left(\frac{1-d}{p}\right) = 1$.

Замечание. Вместе с точкой $P = (x_1, y_1)$ уравнения (2), (3) а также уравнение самой кривой удовлетворяет также точка $Q = P + D = (x_2, y_2)$.

Доказательство следует из коммутативности группы точек, поэтому выполняется следующее тождество $Q + Q = P + D + P + D = 2P + O$, так как точка D имеет порядок 2.

Теорема. Для существования точки 8-го порядка на скрученной кривой Эдвардса $E_{a,d}$ необходимо и достаточно чтобы следующие выражения

$$a,\ (1-\frac{d}{a}),\ (\frac{1}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})),\ \frac{a}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}}),$$

были квадратичными вычетами над F_p.

Доказательство. Для исследования условий существования точки 8-го порядка на скрученной кривой Эдвардса возьмем такой класс этих кривых, где есть точка 4-го порядка - используем формулы координаты удвоенной [12] точки:

$$2(x, y) = (\frac{2xy}{1+dx^2y^2}, \frac{y^2-ax^2}{1-dx^2y^2}).$$

Подставим, в нее координаты точки 4-го порядка $2(x, y) = (\frac{1}{\pm\sqrt{a}}, 0)$ [9] и найдем координаты точки (x, y), которая удовлетворит условиям этого уравнения

$$(\frac{2xy}{1+dx^2y^2}, \frac{y^2-ax^2}{1-dx^2y^2}) = (\pm\frac{1}{\sqrt{a}}, 0).$$

Покоординатное соответствие дает систему

$$\begin{cases} \frac{2xy}{1+dx^2y^2} = \frac{1}{\sqrt{a}} \\ \frac{y^2-ax^2}{1-dx^2y^2} = 0 \end{cases}$$

Для координаты $-\frac{1}{\sqrt{a}}$ в правой части уравнения первого уравнения система аналогична.

С другого равенства имеем $ax^2 = y^2$, $y = \pm\sqrt{a}x$.

Подставив $y = \pm\sqrt{a}x$ в первое равенство, имеем

$$\frac{2x\sqrt{a}x}{1+dx^2ay^2} = \frac{1}{\sqrt{a}}$$

откуда $2ax^2 = 1 + adx^4$. Решим это уравнение $adx^4 - 2ax^2 + 1 = 0$:

$$x^2 = \frac{a \pm \sqrt{a^2-ad}}{ad} = \frac{1}{d} \pm \frac{\sqrt{1-\frac{d}{a}}}{d} = \frac{1}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}}).$$

Выполним проверку для чего преобразуем

$$x^2 = \frac{a \pm \sqrt{a^2-ad}}{ad} = \frac{1}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}}),$$

$$x^4 = \frac{1}{d^2}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})^2 = \frac{1}{d^2}(1+1-\frac{d}{a} \pm 2\sqrt{1-\frac{d}{a}}),$$ тогда

$$adx^4 - 2ax^2 + 1 = \frac{a}{d}(2 - \frac{d}{a} \pm 2\sqrt{1-\frac{d}{a}}) - \frac{2a}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}}) + 1 =$$

$$= \frac{2a}{d} - 1 \pm \frac{2a}{d}\sqrt{1-\frac{d}{a}} - \frac{2a}{d} \pm \frac{2a}{d}\sqrt{1-\frac{d}{a}} + 1 = 0$$

Таким образом, выполняется.

Использовав уравнение скрученной кривой Эдвардса, находим $y^2 = \frac{a}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})$. Значит правая часть последнего выражения должна быть квадратичным вычетом.

Проверим условие принадлежности кривой (1) точек с координатами $x^2 = \frac{1}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})$, $y^2 = \frac{a}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}}) : \frac{2a}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}}) =$

$$= \frac{(y^2 - ax^2)^2}{(1 - dx^2y^2)^2} 1 + \frac{a}{d}(1 + 1 - \frac{d}{a} \pm 2\sqrt{1-\frac{d}{a}}) =$$

$$= \frac{2a}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}}) = 1 \pm \frac{2a}{d} - 1 \pm \frac{2}{d}\sqrt{1-\frac{d}{a}} = \frac{2a}{d}(1 \pm \sqrt{2-\frac{d}{a}}).$$

Проверим удовлетворяет ли первая (вторая аналогично) координата уравнения формуле удвоения

$$\frac{2\sqrt{a}x}{1 + dx^2y^2} = \frac{2\sqrt{a}\frac{1}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})}{1 + d\frac{a}{d^2}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})^2} =$$

$$= \frac{\frac{2\sqrt{a}}{d}(1 \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})}{1 + \frac{a}{d}(1 + 1 - \frac{d}{a} \pm \sqrt{1-\frac{d}{a}})} = \frac{-1}{\sqrt{a}}.$$

Критерии делимости точки на 2 могут быть использованы для построения метода выбора и тестирования случайной точки $T = (a, b)$ на максимальность порядка как это сделано в для обычной кривой Эдвардса [15]. Там для получения точки максимального порядка производится тестирование величины $(1 - dx^2)$ на квадратичность, что как показано в [15] напрямую связано с делимостью на 2 точки (x, y). В силу того, что точка максимального порядка не делится на 2 получение критерия делимости точки на 2 есть необходимым условием для максимальности порядка точки скрученной кривой Эдвардса.

Также в работе [15] показано, что условие деления точки на два может быть использовано для определения порядка случайной точки кривой Эдвардса, поэтому полученные нами критерии для скрученной кривой Эдвардса имеют туже значимость.

Выводы. Исследование позволило найти критерии делимости точки на два, что может быть применено как в крипто анализе, так и при построении генератора псевдослучайных криптостойких последовательностей и электронно-цифровой подписи на эллиптической кривой.

Список литературы:

1. *Edwards, H. M.* A normal form for elliptic curves [Text] / *H. M. Edwards* // Bulletin of the American Mathematical Society. – 2007. – Vol. 44, Issue 03. – P. 393–423. doi: 10.1090/s0273-0979-07-01153-6
2. *Hisil, H.* Twisted Edwards Curves Revisited [Text] / *H. Hisil, K. K.-H. Wong, G. Carter, E. Dawson* // Lecture Notes in Computer Science. – 2008. – P. 326–343. doi: 10.1007/978-3-540-89255-7_20
3. *Скуратовський, Р.* Нормалізація скрученої кривої Едвардса та дослідження її властивостей над Fp [Текст]: Матер. XIV Всеукр. наук.-практ. конф. / *Р. Скуратовський, А. Мовчан* // Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики. Секція: Теоретичні та прикладні проблеми криптографічного захисту інформації. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 102–104.
4. *Скуратовський, Р.* Дослідження властивостей скрученої кривої Едвардса [Електронний ресурс] / *Р. Скуратовський* // Конференція державної служби спеціального звязку та захисту інформації. – Режим доступу: http://www.dstszi.gov.ua/dstszi/control/uk/publish/article?showHidden=1artid=252312catid=240232ctime=1464080781894
5. *Сергієнко, І. В.* Елементи загальної теорії оптимальних алгоритмів та суміжні питання [Текст] / *І. В. Сергієнко, В. К. Задірака, О. М. Литвин*. – К.: Наук. думка, 2012. – 400 с.
6. *Skuratovskii, R. V.* Twisted Edwards curve and its group of points over finite field Fp [Text] / *R. V. Skuratovskii, U. V. Skruncovich* // XI Літня школа "Алгебра, Топологія, Аналіз". – 2016. – С. 122–124.
7. *Skuratovskii, R. V.* Twisted Edwards curve and its group of points over finite field Fp [Text] / *R. V. Skuratovskii, U. V. Skruncovich* // Conference. Graphs and Groups, Spectra and Symmetries. – 2016. – Available at: http://math.nsc.ru/conference/g2/g2s2/expt ext/SkruncovichSkuratovskii-abstract-G2S2.pdf
8. *Fulton, W.* Algebraic curves. An Introduction to Algebraic Geometry [Text] / *W. Fulton* // Third Preface. – 2008. – 121 p.
9. *Bernstein, D. J.* IST Programme under Contract IST-2002-507932 ECRYPT, and in part by the National Science Foundation under grant ITR-0716498 [Text] / *D. J. Bernstein, P. Birkner, M. Joye, T. Lange, C. Peters, T. E. Curves* // 2008. – P. 1–17.
10. *Долгов, В. И.* Эллиптические кривые в криптографии [Текст] / *В. И. Долгов* // Системи обробки інформації. – 2008. – Вип. 6 (73). – С. 3–10.
11. *Скуратовский, Р. В.* Метод быстрого таймерного кодирования текстов [Текст] / *Р. В. Скуратовский* // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – Т. 49, № 1. – С. 154–160.
12. *Бессалов, А. В.* Производительность групповых операций на скрученной кривой Эдвардса над простым [Текст] / *А. В. Бессалов, О. В. Цыганкова* // Радиотехника. – 2015. – Вып. 181. – С. 58–63.
13. *Алексеев, Е. К.* О перспективах использования скрученных эллиптических кривых Эдвардса со стандартом ГОСТ Р 34.10-2012 и алгоритмом ключевого обмена на его основе [Текст] / *Е. К. Алексеев, И. Б. Ошкин, В. О. Попов, С. В. Смышляев, Л. А. Сонина* // Материалы XVI международной конференции "РусКрипто'2014". – 2014.
14. *Bruce, S.* Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C [Text] / *S. Bruce*. 2nd ed. – 2002. – 816 p.
15. *Бессалов, А. В.* Удвоение точки и обратная задача для кривой Эдвардса над простым полем. Условие деления точки на два для определения порядка случайной точки кривой Эдвардса [Текст] / *А. В. Бессалов, Д. Б. Третьяков* // Сучасний захист інформації. – 2013. – № 3.

– С. 56–58.

Bibliography (transliterated):

1. Edwards, H. M. (2007). A normal form for elliptic curves. Bulletin of the American Mathematical Society, 44 (03), 393–423. doi: 10.1090/s0273-0979-07-01153-6
2. Hisil, H., Wong, K. K.-H., Carter, G., Dawson, E. (2008). Twisted Edwards Curves Revisited. Lecture Notes in Computer Science, 326–343. doi: 10.1007/978-3-540-89255-7_20
3. Skuratovskyi, R., Movchan, A. (2016). Normalizatsiya skruchenoi kryvoi Edvardsa ta doslidzhennia yii vlastyvostei nad Fp. Teoretychni i prykladni problemy fizyky, matematyky ta informatyky. Sektsiya: Teoretychni ta prykladni problemy kryptohrafichnoho zakhystu informatsiyi. Kyiv: NTUU «KPI», 102–104.
4. Skuratovskyi, R. Doslidzhennia vlastyvostei skruchenoi kryvoi Edvardsa. Konferentsiya derzhavnoi sluzhby spetsialnoho zviazku ta zakhystu informatsiyi. Available at: http://www.dstszi.gov.ua/dstszi/control/uk/publish/article?showHidden=1artid=252312catid=240232ctime=1464080781894
5. Serhiienko, I. V., Zadiraka, V. K., Lytvyn, O. M. (2012). Elementy zahalnoi teoriyi optymalnykh alhorytmiv ta sumizhni pytannia. Kyiv: Nauk. dumka, 400.
6. Skuratovskii, R. V., Skruncovich, U. V. (2016). Twisted Edwards curve and its group of points over finite field Fp. XI Litnia shkola "Alhebra, Topolohiya, Analiz", 122–124.
7. Skuratovskii, R. V., Skruncovich, U. V. (2016). Twisted Edwards curve and its group of points over finite field Fp. Conference. Graphs and Groups, Spectra and Symmetries. Available at: http://math.nsc.ru/conference/g2/g2s2/exptext/SkruncovichSkuratovskii-abstract-G2S2.pdf
8. Fulton, W. (2008). Algebraic curves. An Introduction to Algebraic Geometry. Third Preface, 121.
9. Bernstein, D. J., Birkner, P., Joye, M., Lange, T., Peters, C., Curves, T. E. (2008). IST Programme under Contract IST-2002-507932 ECRYPT, and in part by the National Science Foundation under grant ITR-0716498, 1–17.
10. Dolgov, V. I. (2008). Ellipticheskie krivye v kriptografii. Systemy obrobky informatsiyi, 6 (73), 3–10.
11. Skuratovskiy, R. V. (2013). Metod bystrogo taymernogo kodirovaniya tekstov. Kibernetika i sistemnyy analiz, 49 (1), 154–160.
12. Bessalov, A. V., Cygankova, O. V. (2015). Proizvoditel'nost' gruppovyh operaciy na skruchennoy krivoy Edvardsa nad prostym. Radiotekhnika, 181, 58–63.
13. Alekseev, E. K., Oshkin, I. B., Popov, V. O., Smyshlyaev, S. V., Sonina, L. A. (2014). O perspektivah ispol'zovaniya skruchennyh ellipticheskih krivyh Edvardsa so standartom GOST R 34.10-2012 i algoritmom klyuchevogo obmena na ego osnove. Materialy XVI mezhdunarodnoy konferencii "RusKripto'2014".
14. Bruce, S. (2002). Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C, 816.
15. Bessalov, A. V., Tret'yakov, D. B. (2013). Udvoenie tochki i obratnaya zadacha dlya krivoy Edvardsa nad prostym polem. Uslovie deleniya tochki na dva dlya opredeleniya poryadka sluchaynoy tochki krivoy Edvardsa. Suchasnyi zakhyst informatsiyi, 3, 56–58.

Поступила (received) 06.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Ділення точки скручених кривих Едвардса на два та його застосування у криптографії/ Скуратівський Р. В., Осадчий Є. О., КвашукД. М. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.90–96. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Деление точки скрученных кривой Эдвардса на два и его применение в криптографии/ Скуратовский Р. В., Осадчий Е. А., КвашукД. М. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.90–96. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Halving of twisted Edwards curve points and its application in cryptography/ Skuratovsky R., Osadchy E., Kvashuk D. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.90–96. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Скуратовский Руслан Вячеславович – преподаватель, кафедра информационной безопасности, Межрегиональная Академия управления персоналом, ул. Фрометовская, 2, г. Киев, Украина, 03039.

Осадчий Евгений Александрович – кандидат технических наук, заведующий НИЛ высокопроизводительных систем обработки информации, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 60, г. Киев, Украина, 01601.

Квашук Дмитрий Михайлович – доцент, кафедра экономической кибернетики Национальный авиационный университет, просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058.

Скуратовський Руслан В'ячеславович – викладач, кафедра інформаційної безпеки, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, м. Київ, Україна, 03039.

Осадчий Євген Олександрович – кандидат технічних наук, завідувач НДЛ високопродуктивних систем обробки інформації, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 60, м. Київ, Україна, 01601.

Квашук Дмитро Михайлович – доцент, кафедра економічної кібернетики Національний авіаційний університет, просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

Skuratovskii Ruslan – teacher, Department of information security, Interregional Academy of Personnel Management, Frometovskaya, str., 2, Kiev, Ukraine, 03039.

Osadchy Evgeny – PhD, Head of NIL of high-performance information processing systems, Kyiv National Taras Shevchenko University, Vladimirskaya, str., 60, Kiev, Ukraine, 01601.

Kvashuk Dmitry – Associate Professor, Department of Economic Cybernetics National Aviation University, Cosmonaut Komarov, ave., 1, Kiev, Ukraine, 03058.

УДК 656.212.5

Д. М. КОЗАЧЕНКО, Т. В. БОЛВАНОВСЬКА, П. О. ЯНОВСЬКИЙ

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ У СТОХАСТИЧНИХ УМОВАХ

Сортувальні гірки є основним технічним засобом, що забезпечують розформування та формування составів на залізницях. Управління вказаним процесом є досить складним через невизначеність ходових характеристик відчепів та неточності при реалізації режимів гальмування. Стаття направлена на розробку метода пошуку оптимальних режимів гальмування відчепів состава в стохастичних умовах з урахуванням вимог інтервального та прицільного регулювання їх швидкості. Наведено порівняння результатів вирішення задачі за допомогою розробленого методу в стохастичній та при вирішені традиційними методами у детермінованій постановці.

Ключові слова: залізничний транспорт, сортувальна гірка, розформування поїзда, режим гальмування, оптимізація.

Сортировочные горки – основное техническое средство, обеспечивающее расформирование и формирование составов на железных дорогах. Управление этим процессом сложное из-за неопределенности ходовых характеристик отцепов и неточности при реализации режимов торможения. Статья направлена на разработку метода поиска оптимальных режимов торможения отцепов состава в стохастических условиях с учетом требований интервального и прицельного регулирования их скорости. Приведено сравнение результатов решения задачи с помощью разработанного метода в стохастической и при решении традиционными методами в детерминированной постановке.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, сортировочная горка, расформирование поезда, режим торможения, оптимизация.

Sorting humps are the main technical means providing the breaking and making-up of freight trains. Solving the problem of safety increases the marshalling process; improving the working conditions and reducing the operating costs are mainly achieved by the automation of sorting humps. At the same time the efficiency and quality of automated control of trains breaking-up at the humps depend on the choice of rational cuts braking modes. The control of cuts rolling process is significantly complicated because of the uncertainty of railcar running characteristics and environmental parameters and the inaccuracy of implementation of predetermined braking modes of cuts. The aim of the article is to develop of a method for finding optimal modes of braking the cuts of a train set in stochastic conditions, taking into account the requirements of interval and target control of their speed. The comparison of the problem solution results with the help of the developed method and result of problem solution which was obtained by the traditional methods in the deterministic setting is given.

Keywords: railway transport, sorting hump, breaking-up of train, braking mode, optimization.

Вступ. Сортувальні гірки є основним технічним засобом, що забезпечує розформування-формування составів вантажних поїздів. Вирішення задач підвищення безпеки сортувального процесу, поліпшення умов праці і зменшення експлуатаційних витрат на переробку вагонопотоків в основному досягається за рахунок автоматизації сортувальних гірок. Сучасні системи автоматизації гіркових процесів [1–3] є дорогими комплексами, які обладнані значною кількістю різноманітних датчиків і складними системами управління гальмовими уповільнювачами. Не зменшуючи важливість задачі вдосконалення технічних засобів управління розпуском, необхідно відзначити і альтернативний підхід, заснований на підвищенні ефективності алгоритмів керування гальмовими позиціями в умовах невизначеності інформації про умови скочування, ходові характеристики відчепів і при неточній реалізації уповільнювачами заданих режимів гальмування. Це дозволить поліпшити якість сортувального процесу за рахунок удосконалення програмного забезпечення, а не за рахунок ускладнення технічних засобів і, в результаті, забезпечить зменшення вартості систем управління розпуском.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Проблема вибору режимів гальмування відчепів розглянута в [4]. У даній роботі пропонується встановлювати режим гальмування на першій гальмовій позиції, виходячи з умов збереження початкового інтервалу між відчепами на вершині гірки і забезпечення їх розділення на другій гальмовій позиції, а режим гальмування на другій позиції – з умови розділення відчепів на стрілках. В [1] пропонується використовувати першу гальмову позицію для забезпечення вимог інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, а другу і третю – для забезпечення вимог прицільного регулювання їх швидкості. Недоліком таких підходів є те, що вони дозволяють встановити лише один з множини допустимих режимів гальмування відчепів і при цьому не обов'язково кращий.

В [5, 6] запропоновано вирішувати задачу вибору режимів гальмування на підставі навчання нейромережі. Проблемою такого підходу є те, що засновані на використанні нейромереж методи є евристичними і часто призводять до неоднозначних рішень, в результаті чого поведінка навченої нейронної мережі не завжди може бути однозначно передбачена. Цк збільшує ризик їх застосування в системах реального часу, пов'язаних з безпекою руху.

Професором Бобровським В. І. запропоновано розглядати процес розпуску состава на гірці як взаємовопов’язані процеси скочування окремих відчепів. В [7] запропонована методика оптимізації режимів гальмування відчепів, де величина інтервалу між відчепами розглядається як цільова функція

$$\delta T^*(\mathbf{v}_{1,c}) = \\ = \max \min_{v_j \in \Theta_j} (\delta t_1(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2), \delta t_2(\mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3), ..., \delta t_{c-1}(\mathbf{v}_{c-1}, \mathbf{v}_c)), \quad (1)$$

де $\mathbf{v}_j$ – режим гальмування j-го відчепа, що характеризується швидкостями виходу відчепів з гальмових позицій спускної частини гірки; Θ – область допустимих режимів гальмування; c – кількість відчепів у составі.

При цьому режим гальмування відчепа визначається швидкістю його виходу з гальмових позицій спускної частини гірки. Для сортувальних гірок з двома гальмовими позиціями на спускній частині режим гальмування j-го відчепа визначається як

© Д. М. Козаченко, Т. В. Болвановська, П. О. Яновський.2017

$$\mathbf{v}_j = \{v'_j, v''_j\},$$

де v'_j, v''_j – відповідно швидкості виходу j-го відчепа з першої та другої гальмових позицій гірки.

Режими гальмування повинні обиратися таким чином, щоб швидкості входу відчепів на другу гальмівну позицію $v_{\text{ГП2}}(\mathbf{v}_j)$, а також їх підходу до вагонів на сортувальних коліях $v_{\text{прц}}(\mathbf{v}_j)$ не перевищували допустимих значень, при цьому на сортувальних коліях не повинні утворюватися вікна.

$$\begin{cases} v_{\text{ГП2}}(\mathbf{v}_j) \le v_{\text{ГП2}}^{\max}; \\ 0 \le v_{\text{прц}}(\mathbf{v}_j) \le v_{\text{прц}}^{\max} \end{cases},$$

де $v_{\text{ГП2}}^{\max}$, $v_{\text{прц}}^{\max}$ – відповідно, максимально допустимі швидкості входу відчепа на другу гальмову позицію та підходу відчепа до вагонів на сортувальних коліях.

Збільшення інтервалів між відчепами забезпечує створення резервів часу на розділових елементах та дає можливість виконати умови інтервального регулювання швидкості їх скочування в умовах відхилення фактичних параметрів відчепів від розрахункових та при неточній реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування. Наведена методика дозволяє успішно вирішувати широке коло задач аналізу конструкції плану та поздовжнього профілю гірок, де порівнюються параметри розподілу випадкової величини інтервалів на розділових елементах [8]. В то й же час, питання достатності інтервалів, що утворюються при застосуванні отриманих в результаті вирішення оптимізаційної задачі за критерієм (1) режимів гальмування, в умовах невизначеності ходових характеристик відчепів та умов їх скочування залишається відкритим.

Враховуючи те, що процес скочування відчепів підлягає впливу значної кількості випадкових факторів, а гальмові позиції реалізують задачі швидкості виходу відчепів з похибками, то і результати скочування також є випадковими величинами. При цьому, виконані в [9] дослідження показали, що розташування розділових елементів по маршруту скочування та режими гальмування суттєво впливають як на математичні очікування, так і на середні квадратичні відхилення швидкості та часу скочування відчепів. У зв'язку з цим методи вибору режимів гальмування відчепів вимагають удосконалення.

Ціль та задачі дослідження. Ціллю дослідження є підвищення ефективності сортувального процесу на автоматизованих гірках за рахунок удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів. Поставлена ціль досягається за рахунок вирішення задач встановлення областей ефективних режимів гальмування окремих відчепів та оптимізації режимів гальмування відчепів у составі в цілому.

Матеріали та методи дослідження. Існуючі методи вибору режимів гальмування окремих відчепів состава спираються на розв'язання відповідної однокритеріальної задачі оптимізації у детермінованій постановці. При цьому мають місце дві суттєві проблеми. По-перше, в процесі вибору режимів гальмування відчепів одночасно вирішуються задачі інтервального та прицільного регулювання швидкості відчепів, які мають різні, часто суперечливі цілі забезпечення розділення відчепів по маршрутам скочування та високого рівня забезпечення заповнення сортувальних колій вагонами. По друге, аналіз критерію (1) показує, що він фактично являє собою критерій Вальда [10]. Необхідно відмітити, що областю ефективного застосування критерію Вальда є задачі, в яких міра розсіяння випадкових величин невідома. В той же час, процеси скочування відчепів на сортувальних гірках мають масовий характер і підлягають статистичній оцінці. Врахування вказаних факторів потенційно створює умови для удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів.

Для урахування вимог як інтервального так і прицільного регулювання швидкості скочування відчепів сформульовано двокритеріальну задачу оптимізації режимів їх гальмування у стохастичній постановці

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{c} \bar{l}_{\text{в}}(v''_j) \to \min; \\ &\sum_{j=1}^{c-1} r_{\text{н}}(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1}) \to \min; \\ &\mathbf{v}_j \in \psi_j,\ j = 1..c, \end{aligned} \qquad (2)$$

де $\bar{l}_{\text{в}}(v''_j)$ – середня величина вікна, що припадає на один вагон, м; $r_{\text{н}}(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1})$ – ризик нерозділення відчепів у j-й парі; ψ_j – область допустимих режимів гальмування j-го відчепа.

В якості ризику нерозділення розглядається імовірна кількість вагонів, яка прослідує на колії сортувального парку з порушенням плану розпуску. Принципи оцінки величин $r_{\text{н}}(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1})$ та побудови областей ψ_j у стохастичних умовах викладені в [11, 12].

Необхідно відмітити, що при гальмуванні відчепів може бути реалізований лише один режим гальмування. У зв'язку з цим виникає задача вибору єдиного режиму з ψ_j. При цьому аналізу може підлягати не вся область допустимих режимів гальмування, а лише її частина – область ефективних режимів гальмування j-го відчепа $\Psi_{\text{e},j}$. Принципи виділення областей ефективних режимів гальмування відчепів у стохастичних умовах викладені в [13].

Вирішення оптимізаційних задач при наявності декількох критеріїв грунтується на використовуються різних методів [14]: лінійного згортання; максимінного згортання, методу головної компоненти, методу лексикографічного упорядкування критеріїв. В даному дослідженні для вибору режиму гальмування в $\Psi_{\text{e},j}$ використано метод лексикографічного упорядкування критеріїв. В подальшому прийнято, що режим $\mathbf{v}_j$ є переважним над режимом $\mathbf{u}_j$ при виконанні умов.

$$\mathbf{d}(\mathbf{v}_j) \succ^{lex} \mathbf{d}(\mathbf{u}_j) \Leftrightarrow q_{vj} \succ^{lex} q_{uj} \qquad \bar{l}_{\text{в}}\, v''_j < \bar{l}_{\text{в}}\, u''_j$$
$$\text{або } \bar{l}_{\text{в}}(v''_j) = \bar{l}_{\text{в}}(u''_j) \text{ та } r_{\text{н}}(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1}) < r_{\text{н}}(\mathbf{u}_j, \mathbf{v}_{j+1}).$$

Загальна оцінка режимів гальмування групи відчепів состава $\mathbf{d}_{1,c}$ визначається за виразом

$$\mathbf{d}_{1,c}(\mathbf{v}_{1,c}) = \sum_{j=1}^{c} \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j) = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{c} \overline{l}_{вj}(v_j'')m_j}{\sum_{j=1}^{c} m_j}; \sum_{j=1}^{c} r_j(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+}) \right\}, \mathbf{v}_j \in$$

В результаті оптимізаційна задача (2) зводиться до задачі з однією зміною виду

$$\mathbf{d}_{1,c}(\mathbf{v}_{1,c}) = \sum_{j=1}^{c} \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j) \to \min$$

$$\mathbf{v}_j \in \Psi_{ej}, \text{де} \quad j = \overline{1..} \quad c$$

Состав, який розформовується, може розглядатися як деяка фізична система S, що покроково змінює свій стан в процессі розпуску. Окремим кроком є скочування одного відчепа. Процес розпуску є керованим; управління на j-му кроці можна представляти режимом гальмування $\mathbf{v}_j \in \Psi_{ej}$ j-го відчепа на гальмових позиціях спускної частини гірки. В цілому, управління розпуском всього состава з c відчепів можна представити сукупністю покрокових управлінь:

$$\mathbf{v}_{1,cc} = (\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, ..., \mathbf{v}_{\ }).$$

Враховуючи властивості задачі, вона може бути розв'язана методами динамічного програмування.

Процедура пошуку оптимального режиму виконується в два етапи. На першому етапі (умовна оптимізація) для кожного відчепа здійснюється пошук умовно оптимальних керувань $\mathbf{v}_{1,j}^*$, що враховують лише стан системи до його скочування. На другому етапі (безумовна оптимізація) для кожного відчепа визначається безумовно оптимальне управління.

Умовно оптимальне управління на j-му кроці являє собою залежність $\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_j^*)$, яка характеризує стан системи перед j-м кроком. Вказана функція визначає мінімальне значення оцінки режимів гальмування при оптимальному управлінні на попередніх $1\ldots j-1$ кроках і має рекурентний вигляд

$$\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_j^*) = \min(\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_{j-1}^*) + \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j)).$$

Область ефективних режимів першого відчепа у составі складається з одного режиму $\mathbf{v}_{1\text{опт}}$ і не залежить від режимів гальмування інших відчепів.

Результати дослідження. Методика пошуку оптимального режиму гальмування проілюстровано на прикладі вибору режиму гальмування у составі з п'яти відчепів, характеристики яких наведені в табл. 1.

Попередньо вирішено задачу оптимізації режимів гальмування відчепів розрахункового состава у детермінованій постановці. При цьому параметри відчепів прийняті рівними їх математичним сподіванням. Згідно з визначеними швидкостями виходу відчепів з гальмових позицій отримано імовірнісні оцінки режимів гальмування (табл. 2).

Таблиця 1 – Характеристики відчепів розрахункового состава

№ п/п	Вагова категорія відчепа	Відстань до точки прицілювання, *м*	Стрілка розділення відчепа з наступним
1	Л	450	5
2	Т	510	5
3	Л	690	4
4	Л	765	2
5	ЛС	720	-

Таблиця 2 – Результати вирішення задачі оптимізації режиму гальмування відчепів у детермінованій постановці

№ відчепа	v', *м/с*	v'', *м/с*	v''', *м/с*	δt, *с*	$\overline{l}_{в}$, *м*	$p_{п}$	$r_{н}$
1	6,77	7,22	4,12	5,86	29,5	0,1	0
2	6,52	5,65	1,60	4,61	31,0	0,1	0,008
3	6,66	6,00	4,56	4,61	58,7	0,1	0
4	6,15	6,73	5,21	7,42	67,8	0,1	0
5	3,06	4,78	3,78	-	96,1	0,1	-
Узагальнені показники					56,6	0,1	0,002

Аналіз отриманого рішення показує, що для досягнення оптимального значення критерію (1) було застосовано режими, які забезпечують рівність розділових інтервалів у другій та третій парах, відповідно на п'ятій та четвертій розділових стрілках. Імовірність підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях прийняла допустиме значення 0,1. Середня величина вікна, що припадає на один вагон, при цьому складає 56,6 *м*.

Для порівняння здійснено пошук рішення в стохастичній постановці. При цьому для першого відчепа безумовно оптимальним режимом є швидкий режим скочування $\mathbf{v}_1 = \{6,77; 7,22\}$.

Розділовою стрілкою у першій трійці відчепів є стрілки 5-5, у зв'язку з цим ефективні режими гальмування другого відчепа розташовуються на лівій або на верхній межі області його допустимих режимів ψ_2. Дослідження величини $\mathbf{d}_{1,2}(\mathbf{v}_2)$ вздовж вказаних меж області допустимих режимів показало, що показники регулювання швидкості скочування не змінюються.

Розділовими стрілками у другій трійці відчепів є стрілки 5-4. У зв'язку з цим пошук ефективних режимів гальмування третього відчепа здійснювався на правій та на нижній межі області його допустимих режимів (ОДР) ψ_3. Дослідження величини $\mathbf{d}_{1,3}(\mathbf{v}_3)$ вздовж вказаних меж ОДР показало, що середня величина вікна в групі не змінюється і складає 39,7 *м*. Ризик нерозділення відчепів у групі змінюється при зміні швидкос-

ті виходу третього відчепа з другої гальмової позиції, і ця залежність представлена на рис. 1.

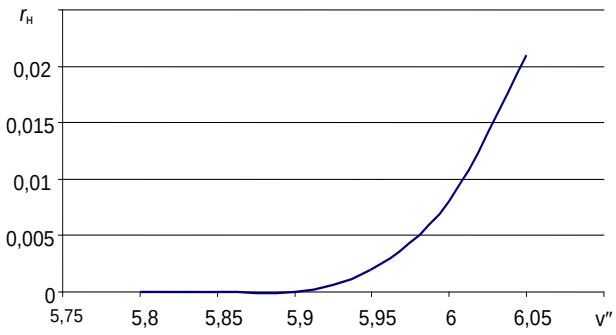


Рис. 1 – Залежність ризику нерозділення у групі з трьох перших відчепів состава від режиму гальмування третього відчепа

Аналогічним чином отримано умовно-оптимальні рішення для іншої частини состава. Рішення задачі вибору режиму гальмування відчепів состава у стохастичній постановці представлено у табл. 3.

Порівняння результатів вирішення задачі вибору режимів гальмування відчепів для розглянутого прикладу у детермінованій та стохастичній постановці показує, що у другому випадку було застосовано режими гальмування, які призвели до збільшення середньої величини розділового інтервалу між другим та третім відчепами з 4,61 *с* до 5,38 *с*. Це дозволило зменшити імовірність нерозділення відчепів у другій парі з 0,008 до 0. Зменшення середньої величини розділового інтервалу між третім та четвертим відчепами з 4,61 *с* до 4,16 *с* не призвело до погіршення статистичного показника якості інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

Таблиця 3 – Результати вирішення задачі оптимізації режиму гальмування відчепів у стохастичній постановці

№ відчепа	v', м/с	v'', м/с	v''', м/с	δt, с	$\overline{l}_в$, м	$p_п$	$r_н$
1	6,77	7,22	4,12	5,86	29,5	0,1	0
2	6,52	5,65	1,60	5,38	31,0	0,1	0
3	6,66	5,90	4,56	4,16	58,7	0,1	0
4	6,15	6,73	5,21	7,42	67,8	0,1	0
5	3,06	4,78	3,78	-	96,1	0,1	-
Узагальнені показники					56,62	0,1	0

Обговорення результатів дослідження. Для перевірки ефективності розробленої методики виконано оптимізацію режимів гальмування при розпуску дослідних составів. Встановлено, що вирішення задачі у стохастичній постановці у порівнянні з рішенням задачі у детермінованій постановці дозволяє скоротити середню величину вікон на 20-27 % без погіршення показників інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

Висновки. В якості критеріїв оптимізації режимів гальмування відчепів у стохастичній постановці розглядаються середня величина вікна, що припадає на один розформований вагон, та ризик нерозділення відчепів на розділових елементах. Вирішення задачі у стохастичній постановці у порівнянні з рішенням задачі у детермінованій постановці за рахунок перерозподілу інтервалів на розділових елементах дозволяє скоротити кількість недопустимих ризиків нерозділення відчепів без погіршення показників прицільного регулювання швидкості відчепів та скоротити середню величину вікон без погіршення показників інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

Список літератури:

1. *Zarecky, S.* The newest trends in marshalling yards automation [Text] / *S. Zarecky, J. Grun, J. Zilka* // Transport Problems. – 2008. – Issue 3 (4). – P. 87–95.
2. *Judge, T.* Yard Management Gets Smarter [Text] / *T. Judge* // Railway Age – Nov. – 2007. – P. 33–34.
3. *Иванченко, В. Н.* Современные информационные технологии управления сложными процессами расформирования-формирования поездов [Текст] / *В. Н. Иванченко* // Наука и транспорт. – 2013. – № 2 (6). – С. 64–69.
4. *Бессоненко, С. А.* Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов [Текст] / *С. А. Бессоненко, В. Н. Иванченко, А. М. Лященко* // Вестник РГУПС. – 2013. – № 1 (49). – С. 55–65.
5. *Ming, Y. J.* Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model [Text] / *Y. J. Ming, L. X. Ren, L. H. Xing* // China Railway Science. – 2001. – Issue 02. – P. 127–133.
6. *Пучков, Е. В.* Применение нейроэмулятора NeuroNADS для определения ступени и времени торможения при управлении горочными замедлителями [Текст] / *Е. В. Пучков* // Инженерный вестник Дона. – 2010. – № 4 (14). – С. 157–162.
7. *Бобровский, В. И.* Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках [Текст] / *В. И. Бобровский, Н. В. Рогов* // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 4. – С. 174–182.
8. *Бобровский, В. И.* Анализ и оценка конструкции плана путевого развития горочных горловин [Текст] / *В. И. Бобровский, А. С. Дорош, А. И. Колесник* // Транспортні системи і технології перевезень. – 2011. – Вип. 1. – С. 22–26.
9. *Козаченко, Д. М.* Дослідження впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрілках [Текст] / *Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробйова* // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – С. 79–82.
10. *Wald, A.* Statistical Decision Functions Which Minimize the Maximum Risk [Text] / *A. Wald* // The Annals of Mathematics. – 1945. – Vol. 46, Issue 2. – P. 265. doi: 10.2307/1969022
11. *Козаченко, Д. М.* Дослідження допустимих режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках [Текст] / *Д. М. Козаченко* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4, № 3 (64). – С. 25–28. – Режим доступа: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16275/13794

12. *Bobrovskyi, V.* Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps [Text] / *V. Bobrovskyi, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik* // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, Issue 11. – P. 147–155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14

13. *Козаченко, Д. М.* Ефективні режими гальмування відчепів на сортувальних гірках [Текст] / *Д. М. Козаченко* // Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.

14. *Подиновский, В. В.* Парето оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / *В. В. Подиновский, В. Д. Ногин* – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.

Bibliography (transliterated):

1. Zarecky, S., Grun, J., Zilka, J. (2008). The newest trends in marshalling yards automation. Transport Problems, 3 (4), 87–95.

2. Judge, T. (2007). Yard Management Gets Smarter. Railway Age – Nov, 33–34.

3. Ivanchenko, V. N. (2013). Sovremennye informacionnye tekhnologii upravleniya slozhnymi processami rasformirovaniya-formirovaniya poezdov [Modern information technologies for managing complex processes of disbanding and forming trains]. Nauka i transport [Science and transport], 2 (6), 64–69.

4. Bessonenko, S. A., Ivanchenko, V. N. Ljashhenko, A. M. (2013). Matematicheskaya model' rascheta parametrov interval'nogo tormozheniya otcepov i peremennyh skorostey rospuska sostavov [Mathematical model for calculating the parameters of interval braking of traps and variable rates of composition dissolution]. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universitetata putey soobshcheniya [Bulletin of Rostov State Transport University], 1 (49), 55–65.

5. Ming, Y. J., Ren, L. X., Xing, L. H. (2001). Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model. China Railway Science, 02, 127–133.

6. Puchkov, E. V. (2010). Primenenie neyroemulyatora NeuroNADS dlya opredeleniya stupeni i vremeni tormozheniya pri upravlenii gorochnymi zamedlitelyami [Application of neyroemulyator NeuroNADS for determination of degree and time of breaking in hump retarders controlling]. Inzhenerniy vestnik Dona [Engineering journal of Don], 4 (14), 157–162.

7. Bobrovskyi, V. I., Rogov, N. V. (2004). Optimizaciya rezhimov regulirovaniya skorosti otcepov pri rospuske sostavov na gorkah [Optimization of methods of cuts speed control in the dissolution of the rolling stocks on hump yards]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 4, 174–182.

8. Bobrovskyi, V., Dorosh, A., Kolesnik, A. (2011). Analiz i otsenka konstruktsii plana putevogo razvitiya gorochnykh gorlovin [Analysis and evaluation of the design of the plan for the development of hump necks]. Transportni systemy ta tekhnolohiyi perevezen [Transport systems and transportation technologies], 1, 22–26.

9. Kozachenko, D. M., Korobiova, R. H., Berezovyi, M. I. (2006). Doslidzhennia vplyvu parametriv vidchepiv ta umov yikh skochuvannia na velychynu intervaliv na rozdilovykh strilkakh [Investigation of the influence of cuts parameters and conditions of their sliding on the value of intervals on separating arrows]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 12, 79–82.

10. Wald, A. (1945). Statistical Decision Functions Which Minimize the Maximum Risk. The Annals of Mathematics, 46 (2), 265. doi: 10.2307/1969022

11. Kozachenko, D. M. (2013). The study of allowed braking regimes on sorting humps. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (3 (64)), 25–28. Available at: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16275/13794

12. Bobrovskyi, V., Kozachenko, D., Dorosh, A., Demchenko, E., Bolvanovska, T., Kolesnik, A. (2016). Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps. Transport Problems, 11 (1), 147–155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14

13. Kozachenko, D. M. (2011). Efektyvni rezhymy halmuvannia vidchepiv na sortuvalnykh hirkakh [Effective modes of trailer cuts on sorting]. Transportni systemy ta tekhnolohiyi perevezen [Transport systems and transportation technologies], 2, 55–59.

14. Podinovskiy, V. V., Nogin, V. D. (1982). Pareto optimalnye resheniya mnogokriterialnykh zadach [Pareto optimal solutions of multicriteria problems]. Moscow: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 256.

Надійшла (received) 07.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках у стохастичних умовах/ Козаченко Д. М., Болвановська Т. В., Яновський П. О. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.97–102. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках в стохастических условиях/ Козаченко Д. Н., Болвановская Т. В., Яновский П. А. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.97–102. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Optimization of braking regimes of cuts on sorting humps in stochastic conditions/ Kozachenko D., Bolvanovska T., Yanovsky P.//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.97–102. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Козаченко Дмитро Миколайович – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Управління експлуатаційною роботою»; вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Козаченко Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой»; ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail:

kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Kozachenko Dmytro – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Professor at the Department «Management of Operational Work»; Lazaryana str., 2, Dnipro, Ukraine; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Болвановська Тетяна Валентинівна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри станцій та вузлів; вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: valentinovna.upp@ gmail.com.

Болвановская Татьяна Валентиновна – кандидат технических наук, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры станций и узлов; ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: valentinovna.upp@ gmail.com.

Bolvanovska Tetiana – PhD, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Associate Professor at the Department «Stations and Junction»; Lazaryana str., 2, Dnipro, Ukraine; e-mail: valentinovna.upp@ gmail.com.

Яновський Петро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, професор кафедри військової підготовки, пр. Космонавта Комарова, 1 м. Київ, 03058; e-mail:niklu@ukr.net.

Яновский Петр Александрович – кандидат технических наук, доцент, Национальный авиационный университет, профессор кафедры военной подготовки, пр. Космонавта Комарова, 1 г. Киев, 03058; e-mail: niklu@ukr.net.

Yanovsky Petro – PhD, Associate Professor, National Aviation University, Professor of the Military Training Department, 1 Kosmonavta Komarova Ave., Kyiv, 03058; e-mail: niklu@ukr.net.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 665.63.048

В. В. РОМАНЧУК, П. І. ТОПІЛЬНИЦЬКИЙ, ЧАН КУОК КХАНЬ

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОТЕНЦІЙНИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ НАФТОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Визначено захисні властивості потенційних інгібіторів корозії – 1–(2–аміноетил)–2–гептадецил–2–імідазоліну, 1–(2–діетаноламіноетил)–2–(8– гептадециніл)–2– імідазоліну, суміші N,N – дізаміщених амідів, естерів та гліцерину, а також амідів поліаміннафтенових кислот методом потенціометричних вимірювань. Встановлено зміну корозійного потенціалу, корозійний струм та зміну нахилу прямих Тафеля, як показники антикорозійної дії, яку проявляють досліджувані речовини. Показано, що найкращі захисні властивості має 1–(2–діетаноламіноетил)–2–(8– гептадециніл)–2– імідазолін та суміш N,N – дізаміщених амідів, естерів та гліцерину, які можуть використані як інгібітори корозії для захисту обладнання установок первинної переробки нафти.

Ключові слова: корозія нафтопереробного обладнання; інгібітори корозії; антикорозійний захист, корозійний струм, поляризація.

Определены защитные свойства потенциальных ингибиторов коррозии – 1–(2–аминоэтил)–2–гептадецил–2–имидазолина, 1–(2–диэтаноламиноэтил)–2–(8– гептадецинил)–2–имидазолина, смеси N,N–дизамещенных амидов, эстеров и глицерина, а так же амидов полиаминнафтеновых кислот методом потенциометрических измерений. Определены изменение коррозионного потенциала, коррозионный ток и изменение наклона прямых Тафеля, как показатели антикоррозионного действия, которое проявляют исследуемые вещества. Показано, что лучшие защитные свойства имеет 1–(2–диэтаноламиноэтил)–2(8–гептадецинил)–2имидазолин и смесь N,N– дизамещенных амидов, эфиров и глицерина, которые могут быть использованы как ингибиторы коррозии для защиты оборудования установок первичной переработки нефти.

Ключевые слова: коррозия нефтеперерабатывающего оборудования; ингибиторы коррозии; антикоррозийная защита, корозионный ток, поляризація.

The experience of corrosion control shows that the use of inhibitors is the most simple and relatively inexpensive method of protecting refinery equipment. The largest part in the world production of corrosion inhibitors are amides (diamides), amines, imidazoline bases and their mixtures, which are the basis of most modern corrosion inhibitors. However, the production of corrosion inhibitors is absent in Ukraine. For research, CARBASOLIN SD-3 1- (2-aminoethyl) -2-heptadecyl-2-imidazoline, carrazoline OT-2 (1- (2-diethanolaminoethyl) -2- (8-heptadecinyl) -2-imidazoline, cationic The fat P-1, which is a mixture of N, N-disubstituted amides, fatty acid esters and glycerol, is selected for comparison with the Clariant Dodigen corrosion inhibitor used in the petrochemical industry containing amides of polyaminophenic acids. All tests with inhibitors were made in solutions , which consisted of 0.1 M HCl and a solution of an inhibitor in iso-butanol. Polarization measurements were made using the Solatron 1286, the Solatron SI 1255 analyzer controlled by the CorrWare 2 and ZPlot 2 computer software. The values of the electrochemical potential obtained from the measurements for 60 seconds showed that the inhibitors preferentially obstructed the oxidation of iron , which is inherent in inhibitors of the anode type.Potentials taken at 30 seconds galvanostatic cathode polarization current density of -1 mA / cm2 showed that they impede the release of hydrogen - the weakest carbazolin SD 3, the most effective fat kationoaktyvnyy P-1. Potentials taken at 30 seconds of galvanostatic anode polarization with a current density of 1 mA / cm2 were displaced towards less negative values, indicating that the inhibitors also hampered the anode reaction - the weakest of Dodigen and CD-3, the strongest of the carboxylin OT-2 and the fat is cationic P-1. Obtained from the polarization curves of the density of corrosion current ikor at corrosion potential showed that the presence of inhibitors of carbazolin OT-2 and cationic fat P-1 in the amount of 50 ppm in 4-5 times reduces the corrosion current, which is a measure of the rate of corrosion of the metal.

Keywords: corrosion of oil refining equipment; corrosion inhibitors; anti-corrosion protection, corrosion current, polarization.

Вступ. Процес первинної переробки нафти є одним з найбільш металоємних на кожному нафтопереробному заводі. Річні втрати від корозії в нафтогазовій промисловості лише в Сполучених Штатах оцінюються в 27 мільярдів доларів США (за даними NACE International). Це дозволило оцінити, що глобальні річні збитки нафтогазової галузі перевищують 60 мільярдів доларів [1, 2]. Значні втрати від корозії при переробці нафти обумовлені не тільки великими об'ємами виробництва, але й високою агресивністю технологічних середовищ при різних видах корозійного руйнування [3, 4].

Сира нафта, яка надходить на нафтопереробний завод, зазвичай містить від 0,2 до 1 % води [5, 6]. Хлориди, хлороводень, які присутні у водній фазі, спричиняють рівномірну та виразкову корозію вуглецевих та хромистих сталей. Найбільш небезпечні хлориди для аустенітних сталей: вони спричиняють пітінг, корозійне розтріскування [7]. Сірковмісні сполуки нафти також є причиною корозійного руйнування обладнання. На установках стабілізації та первинної переробки нафти, а також вторинної переробки нафтопродуктів проходить низькотемпературна корозія під дією соляної кислоти, сірководню, CO_2 та органічних кислот. Дана корозія підлягає законам електрохімічної кінетики [2, 8].

Для збільшення терміну служби і захисту від корозії устаткування установок типу АВТ (АТ) широко використовують хіміко-технологічні методи: знесолення і зневоднювання нафти, введення лужних реагентів у сировину (залуговування сировини), нейтралізацію верхніх погонів атмосферних колон, інгібування [5, 6]. Використання інгібіторів – один з найбільш важливих та широко розповсюджених методів боротьби з корозією [9].

На даний час відомо велика кількість інгібіторів корозії для захисту металів у вуглеводневих середовищах. Проте вимоги нафтових компаній полягають в наступному: інгібітор повинен забезпечувати максимум захисної дії при досить малій концентрації; бути технологічними (не порушувати нормальний технологічний режим роботи установки, не погіршувати

© В. В. Романчук, П. І. Топільницький, Чан Куок Кхань. 2017

якість продуктів і роботу каталізаторів вторинних процесів). Інгібітори повинні бути економічними; стійкими до окиснення і відновлення; не робити токсичного впливу на обслуговуючий персонал і не створювати загрози забруднення навколишнього середовища. Але більшість інгібіторів, які розробляють та досліджують в країнах СНД, це інгібітори вибіркового достатньо вузького спектра дії, вони представлені лабораторними зразками, не мають виробничих потужностей та залежать від імпортної сировини. Враховуючи ці проблеми, доцільна розробка універсальних інгібіторів, які б скоротили існуючий дефіцит захисних матеріалів, розширили їх вітчизняну сировинну базу, вирішували питання імпортозаміщення та вироблялись на одному з українських заводів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Номенклатура існуючих інгібіторів достатньо широка. На даний час відомо велика кількість інгібіторів корозії для захисту металів у вуглеводневих середовищах. В більшості вони є органічними сполуками різних класів, які містять гетероатоми: нітроген, сульфур, оксиген, фосфор, кремній [10–13]. Перспективним напрямком в цій галузі є використання рослинної сировини для створення інгібіторів корозії. Так, одним з методів пропонується застосовування ізопропанольного шроту ріпаку, утвореного при його холодному віджимі [14]. Іншим автором пропонується застосування алкалоїдної екстрактної частини рослини Trichodesma indicum (Linn) [15]. Інші науковці пропонують використовувати продукти вугільно-дернової перегонки [16].

В багатьох роботах досліджено особливості захисних властивостей летких інгібіторів сірководневої та вуглекислотної корозії. Автором роботи [17] розроблено новий інгібтор на основі оксиетильованих алкіл-(або алкілфенол)метил або етилфосфітів N–метил або етилалкіламонія. Для захисту конденсаторно-холодильного обладнання установок стабілізації нафти з боку широкої фракції легких вуглеводнів запропоновано комбінований інгібітор корозії, який є композицією моноетаноламіну (МЕА) та інгібіторів корозії ТАЛ–М, які вироблені на основі жирних кислот талової олії, поліетиленполіамінів, н-алкілфенолів та ін. [18]. Як інгібітори корозії комплексної дії досліджено сполуки тіазолу. Комплексом методів встановлено, що значне зростання протикорозійної активності спостерігається в 4-арилзаміщених тіазолів із сильними електронодонорними та електроноакцепторними замісниками [19].

Автори [20] всебічно досліджують, бензол сульфокислоту ($C_6H_6SO_3$), n-толуолсульфокислоту ($C_7H_8SO_3$), катіонні поліелектролітні комплекси на основі четвертинної амонієвої солі морфоліну (ЧАСМ), диметилдіаліламонійхлориду (ПДП) та інші продукти та пропонують їх як інгібітори корозії для первинної переробки нафти.

Синтезовано та досліджено основи Манніха, як інгібітори корозії, вивчено гальмування ними корозії легкої сталі в 1,0 М H_2SO_4 [21].

В одному з випробувань цього напрямку було протестовано швейцарський товарний інгібітор корозії dodigen 481, основу якого складають аміни поліаміннафтенових кислот. Його ефективність оцінено на 90–98 % [22].

Не зважаючи на великий обсяг досліджень в даній області немає однієї загальноприйнятої теорії, яка правильно пояснювала б механізм дії органічних інгібіторів з довгими вуглеводневими ланцюгами. Згідно даних літератури, адсорбція органічних речовин відбувається на частково заповнену d-орбіталь феруму реакційними центрами молекул. При подібному механізмі адсорбції електронна взаємодія має донорно-акцепторний характер [14, 23].

З точки зору електрохімії, введення інгібітора спричиняє зміну корозійного потенціалу системи, значною мірою впливає на зменшення густини корозійного струму, що є мірою швидкості корозії металів. Більшість інгібіторів впливає на перебіг як катодних, так і анодних реакцій: змішану інгібуючу дію виявляє зокрема велика кількість органічних інгібіторів. Дію інгібіторів корозії вивчають за допомогою гравіметричних досліджень, потенційнодинамічної поляризації, електрохімічної імпедансної спектроскопії. Саме поєднання цих методів дає повну картину ефективності та принципу дії інгібіторів корозії [8].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є пошук нових ефективних інгібіторів корозії для захисту нафтозаводського обладнання, які би вироблялись з недорогої, доступної, відтворюваної сировини.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Вибрати хімічні речовини, які виробляються на українських хімічних заводах і могли би бути потенційними інгібіторами корозії.

2. Встановити їх ефективність та механізм захисту методом поляризаційних досліджень.

3. Запропонувати інгібітори для промислових випробувань на нафтопереробних підприємствах.

Методика випробувань потенційних інгібіторів корозії. Для досліджень взято речовини, які на основі теоретичних передумов (наявність О та N в складі високомолеуклярних вуглеводневих радикалів), можуть проявляти антикорозійні властивості. Були досліджені імідазоліни на основі стеаринової кислоти, олеїнової кислоти, фракцій ріпакової олії. жири катіоноактивні, які є сумішами амідів та естерів кислот ріпакової олії:

Карбазолін СД–3: 1–(2–аміноетил)–2–гептадецил–2–імідазолін

Карбазолін ОТ–2: 1–(2–діетаноламіноетил)–2–(8– гептадециніл)–2– імідазолін

Катіонний жир Р–1: суміш N,N–дізаміщених амідів ,ефірів жирних кислот та гліцерину.

Ці речовини були відібрані на основі попередніх досліджень, описаних в роботі [4, 24]. Для порівняння вибрано товарний інгібітор корозії *Dodigen 481* фірми Clariant, що використовувався в нафтохімічній промисловості, який містить аміди поліаміннафтенових кислот.

Зважаючи на слабку розчинність досліджуваних інгібіторів корозії у воді [4], приготовано їх розчини в ізобутанолі концентрацією 2 г/дм^3. Всі випробування з інгібіторами проводились в розчинах, які складались з 150 см^3 0,1 М HCl та 3,75 см^3 розчину інгібітору в ізобутанолі. Таким чином, отримано наступний розчин: 0,098 М HCl, 0,266 М ізо-бутанолу і 50 мг/дм^3 (бі-

ля 50 ppm) даного інгібітору. Для порівняння проведено також дослідження в розчині 0,098 М HCl, 0,266 М ізобутанолу без інгібітору, а також в розчині 0,1 М HCl. Виміри проводилися за температури 28,8 ± 0,4 °С.

При випробуваннях використовувалося товарне залізо armco наступного складу: С 0,031, Mn 0,12, Si 0,01, P 0,008, S 0,015, Cr 0,01, Ni 0,01, Cu 0,02, Al 0,03 ваг.%, решта – Fe, у виді прокатаної товстолистової сталі (товщина 1 мм). Геометрична площа поверхні зразка становила 0,2715±0,0037 см^2. Для точності вимірів використовували 5 пластинок для кожного інгібітору. Незахищену поверхню шліфували, полірували і знежирювали ацетоном.

Випробування проводили у циліндричній посудині, що звужується донизу, на дні якої знаходилась досліджувана проба. Посудина була обладнана допоміжним електродом з платинової сітки, а також капіляром Лугіна, який наповнено розчином 0,1 М HCl і поміщеним в ньому електродом порівняння $Hg|Hg_2Cl_2|$0,1 М HCl, який знаходиться в рівновазі з тим розчином. Вихід капіляру Лугіна був закритий нещільним корком з вати, що допускало електричний контакт і водночас обмежувало проникнення інгібіторів та ізо-бутанолу в середину капіляру. Щоразу перед вимірюваннями потенціал електроду порівняння контролювався відносно насиченого каломельового електроду. Всі потенціали вимірювались відносно до потенціалу насиченого каломельового електроду.

Поляризаційні виміри проводились з використанням приладу Solatron 1286, аналізатору Solatron SI 1255 керованого комп'ютерною програмою CorrWare 2 і ZPlot 2.

Програма проведення потенціометричних досліджень інгібіторів корозії:

1. Після заповнення посудини корозійним середовищем (з інгібітором і без) через 1–2 хв. реєстрували потенціал корозії.

2. Проводили катодну та анодну поляризаці струмом –1 mA/см^2 та 1 mA/см^2 відповідно.

3. За даними досліджень будували поляризаційні криві катодної та анодної поляризації. Розраховували константи Тафеля [8], в рівнянні:

$$\eta = a + b \lg i, \qquad (1)$$

де η – поляризація поверхні, а і b – коефіцієнти рівняння Тафеля.

Коефіцієнт *a* залежить від температури, природи металу та дорівнює перенапрузі за густини струму 1 А/см^2 (lg*i*=0), коефіцієнт *b* пов'язаний з механізмом виникнення поляризації та відповідає тангенсу кута нахилу прямолінійної ділянки поляризаційної кривої.

Ефективність інгібування розраховували з рівняння:

$$Z = \left[1 - \frac{i_{інг}}{i_{б/інг}}\right] \text{x } 100\ \%, \qquad (2)$$

де $i_{інг}$ та $i_{б/інг}$ – густини струму корозії відповідно у присутності та відсутності інгібітора.

Результати випробувань захисного ефекту та механізму дії інгібіторів корозії. Ефективність інгібіторів та механізм їх дії визначали на основі зміни значень потенціалів катодної та анодної поляризації, нахилу тафелевських прямих в анодній та катодній областях, зменшенні корозійного струму.

На рис. 1 показаний вплив інгібіторів на потенціал корозії E_{corr}, виміряний через 2 хв після занурення зразка в розчин, та потенціал корозії, отриманий пізніше з кривих поляризації. Можна відзначити, що всі перевірені інгібітори зміщували E_{corr} в анодний бік. Тобто можна віднести дані інгібітори до інгібіторів анодного типу. Присутність 1-бутанол без інгібіторів не викликало таких значних змін корозійного потенціалу. Цікаво, що E_{corr} після 2 хв занурення пластин (сині точки) схожий на Ecorr, отриманий пізніше з кривої поляризації (червоні точки) для всіх випадків. Це означає, що динамічна рівновага на поверхні зразка в кислотних розчинах інгібіторів була досягнута відносно швидко (<2 хв) і що ця рівновага була настільки стабільною, що період вимірювання катодної поляризації не вплинув на це.

На рис. 2, 3 наведені потенціали катодної (–1 мА/см^2) та анодної (1 мА/см^2) поляризації відповідно, отриманих з кривих поляризації. У випадку катодної поляризації інгібітори перемістили потенціал до більш негативних значень. Це означає, що вони гальмують катодну реакцію. Навпаки, у випадку анодної поляризації інгібітори перемістили потенціал до менш негативних значень. Це означає, що вони також гальмують і анодну реакцію.

Одержані з поляризаційних кривих величини густини корозійного струму i_{corr} при корозійному потенціалі показані на рис. 4. Бачимо, що наявність інгібіторів в кількості 50 ppm в кілька разів понижує корозійний струм, який є мірою швидкості корозії металу.

Найбільше пониження спричиняв катіонний жир Р–1, слабше – карбазолін ОТ–2, а найслабше карбазолін СД–3. У випадку Dodigen розкидання отриманих результатів був стосовно великий і величина $i_{corr.}$ розтягуються як від низьких значень, як для жиру катіоноактивного Р–1, так до вищих як в карбазоліна СД–3.

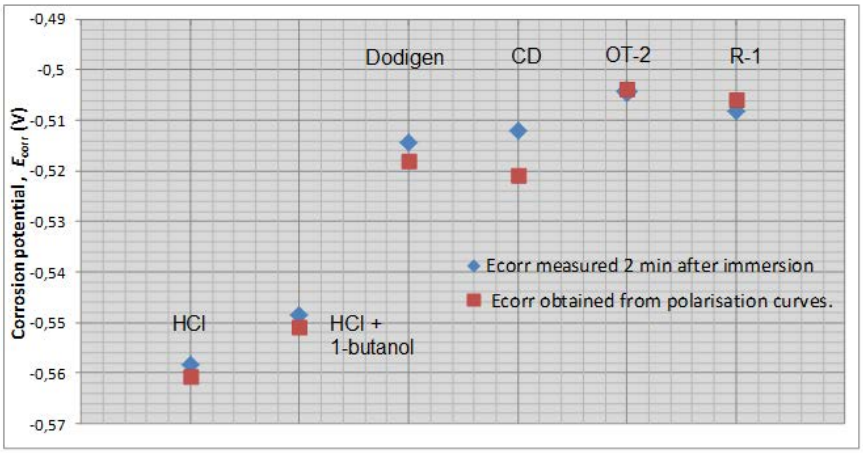


Рис. 1 – Потенціал корозії, виміряний через 2 хв після занурення, та потенціал корозії, отриманий з кривих поляризації.

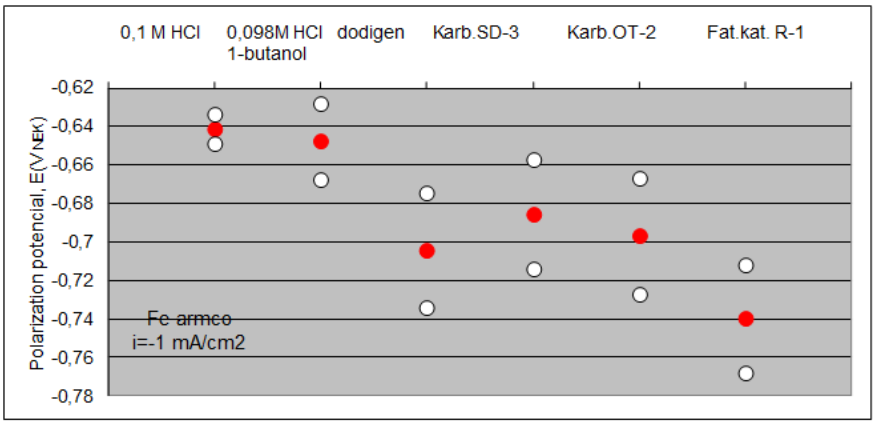


Рис. 2 – Катодний поляризаційний потенціал при –1 мА/см^2 (– середні значення, – мінімальне та максимальне значення)

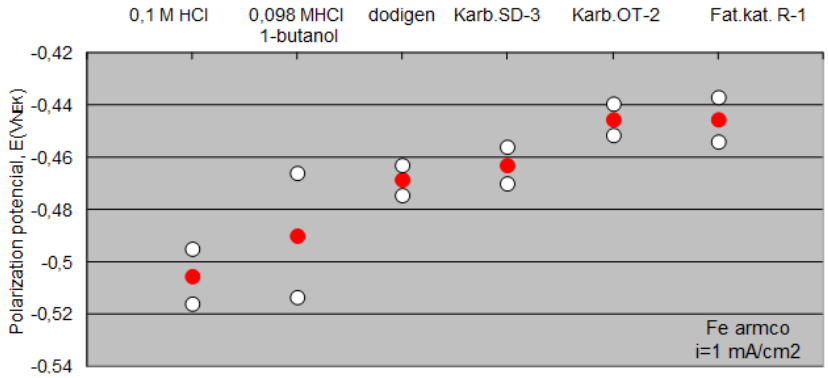


Рис. 3 – Анодний поляризаційний потенціал при 1 мА/см^2,(– середні значення, – мінімальне та максимальне значення)

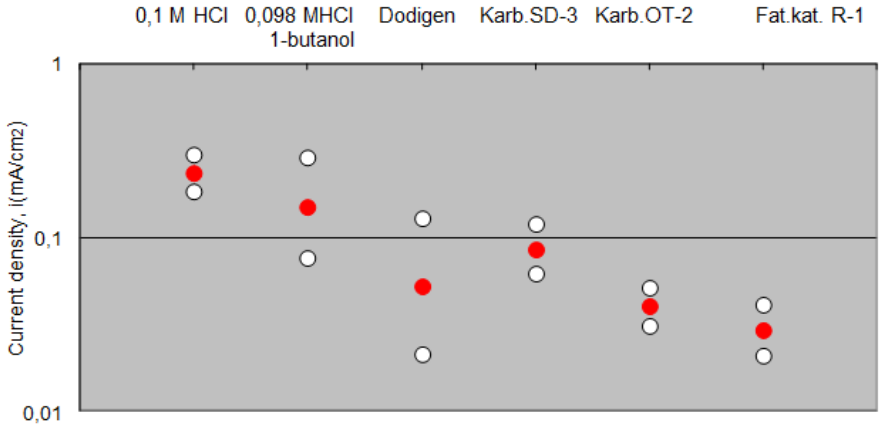


Рис. 4 – Величина корозійного струму при потенціалі корозії(середні значення, – мінімальне та максимальне значення)

Обговорення результатів дослідження захисного ефекту та механізму дії інгібіторів корозії. В момент вливання розчину інгібітора в посудину розчин починає взаємодіяти з пластинкою. При цьому на анодних ділянках відбувались наступні реакції:

– розчинення окисненого заліза, яке утворилось раніше при перебуванні пластинки на повітрі FeO (Fe_3O_4, Fe_2O_3) + $H_3O \rightarrow Fe^{2+}$, Fe^{3+} + H_2O

– розчинення заліза $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

Відповідно на катодній ділянці проходили реакції:

– виділення водню, адсорбція атомарного водню на залізі $H_3O^+ + e^- + Fe \rightarrow Fe–H_{ads} + H_2O$

хімічна десорбція водню $2Fe–H_{ads} \rightarrow 2Fe + H_2\uparrow$ електрохімічна десорбція водню

$Fe–H_{ads} + H_3O^+ \rightarrow Fe + H_2O + H_2\uparrow$

Ці реакції можуть проходити одночасно, але при переважанні останньої відбувається сильна катодна поляризація.

– абсорбція водню з поверхні в середину металу $Fe–H_{ads} \rightarrow Fe + H_{abs}$

– абсорбція н–бутанолу та інгібітору на поверхні металу.

Ці процеси впливали на величину електрохіміч-

ного потенціалу пластинки в розчині, а оскільки швидкості цих процесів змінювались в часі, то й потенціал електроду з часом змінювався.

Вирахувані електрокінетичні параметри корозії для інгібіторів, які досліджуються: потенціал корозії $E_{кор.}$(мВ), густина струму корозії $I_{кор.}$ (мА/см^2) та ефективність інгібування Z (%), розрахованою за формулою (1), наведені в табл. 1.

Про антикорозійний захист свідчить зменшення корозійного струму та потенціалу корозії. В результаті найбільший захисний ефект проявив жир катіонний Р–1 (87,3 %), дещо в меншій мірі захищав металічну поверхню карбозолін ОТ–2 (82,7 %), Dodigen та карбозолін СД–3 – 67,5 та 65,4 % відповідно.

Рівняння, які описують електрохімічну кінетику дії інгібіторів на анодних ділянках розчинення заліза та катодних ділянках відновлення гідрогену наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати досліджень захисного ефекту та механізму дії інгібіторів корозії

Показник	Середовище					
	HCl	HCl +бутанол	Dodigen	СД–3	ОТ–2	Р–1
$E_{кор.}$, мВ	–561	–551	–519	–521	–503	–505
$I_{кор.}$, мА/см^2	0,237	0,160	0,077	0,082	0,041	0,030
Z, %	–	–	67,5	65,4	82,7	87,34

Таблиця 2 – Кінетичні рівняння Тафеля η=a + b lg |i|

Середовище	Анодна ділянка	Катодна ділянка
HCl	η = -0,506+0,083lg|i|	η = -0,641 - 0,130 lg|i|
HCl+бутанол	η = -0,490+0,074 lg|i|	η = -0,650 - 0,118 lg|i|
АПАНК	η = -0,467+0,039 lg|i|	η = -0,703 - 0,080 lg|i|
СД-3	η = -0,555+0,058 lg|i|	η = -0,686 – 0,130 lg|i|
ОТ-2	η = -0,445 + 0,042 lg|i|	η = -0,696 – 0,089 lg|i|
Р-1	η = -0,448 +0,040 lg|i|	η = -0,740 – 0,092 lg|i|

На основі електрохімічних кінетичних залежностей (ΔE =f(ΔI), значень потенціалів катодної та анодної поляризації, нахилу прямих Тафеля в анодній та катодній областях встановлено, що за механізмом захисної дії досліджувані інгібітори відносяться до інгібіторів змішаного типу (в більшій степені до анодних).

Дані потенціометричних досліджень підтвердили результати гравіметричних досліджень, проведених раніше [24]. Так, карбазолін СД, який показав найгірший захисний ефект при гравіметричних дослідженнях, виявив погану захисну дію в потенціометричних дослідженнях. Катіонний жир Р–1 та карбазолін ОТ–2 підтвердили кращі захисні властивості, які перевищили імпортний інгібітор на основі амідів поліаміннафтенових кислот.

Висновки

1. Досліджено захисний ефект та механізм дії хімічних речовин, як інгібіторів корозії, а саме: 1–(2–аміноетил)–2–гептадецил–2–імідазоліну, 1–(2–діетаноламіноетил)–2–(8– гептадециніл)–2–імідазоліну, суміші N,N–дізаміщених амідів, естерів та гліцерину, які виробляються на українських хімічних заводах та можуть бути потенційними інгібіторами корозії.

2. Потенціометричними дослідженнями вивчено механізм інгібіторного захисту та на основі значень потенціалів катодної та анодної поляризації, нахилу прямих Тафеля в анодній та катодній областях встановлено, що за механізмом захисної дії досліджувані інгібітори відносяться до інгібіторів змішаного типу (в більшій степені до анодних), гальмуючи при цьому реакцію розчинення заліза. Встановлено, що 1–(2–діетаноламіноетил)–2–(8– гептадециніл)–2– амідазоліну та суміш N,N–дізаміщених амідів, естерів та гліцерину проявляють захисний ефект на рівні 87 та 82 % відповідно.

3. Порівнюючи захисний ефект досліджуваних інгібіторів корозії з імпортним інгібітором Dodigen на основі амідів поліаміннафтенових кислот, дані речовини можна рекомендувати для подальших промислових випробувань на нафтопереробних підприємствах.

Список літератури:

1. *Papavinasam, S.* Corrosion Control in the Oil and Gas Industry [Text] / *S. Papavinasam.* – 1-st ed. – Gulf Professional Publishing, 2013. – 1020 p.
2. *Brzeszcz, J.* Corrosion inhibitors – application in oil industry [Text] / *Brzeszcz, A. Turkiewicz* // NAFTA–GAZ. – 2015. – Issue 2. – P. 67–75.
3. *Dawson, J. L.* Management of Corrosion in the Oil and Gas Industry [Text] / *J. L. Dawson, G. John, K.* Oliver // Shreir's Corrosion. – 2010. – P. 3230–3269. doi: 10.1016/b978-044452787-5.00168-2
4. *Romanchuk, V.* Investigation of reagents with different chemical compositions for protection of oil primary refining equipment [Text] / *V. Romanchuk, P. Topilnytsky* // Chemistry & Chemical Technology. – 2010. – Vol. 4, Issue 3. – P. 231–236.
5. *Topilnytsky, P.* Corrosion protection of oil production and refinery equipment [Text] / *P. Topilnytsky* // Chemistry and chemical technology. – 2007. – Vol. 1, Issue 1. – P. 45–54.
6. *Топільницький, П.* Технологія первинної переробки нафти і газу [Текст]: підручник / П. *Топільницький, О. Гринишин, О. Мачинський.* – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 468 с.
7. *Shalaby, H. M.* Failure of 321 stainless steel heater tube in heavy crude oil [Text] / *H. M. Shalaby, K. Ravindranath, N. Tanoli, B. Al-Wakaa* // Case Studies in Engineering Failure Analysis. – 2017. – Vol. 9. – P. 1–8. doi: 10.1016/j.csefa.2017.04.004
8. *Улиг, Г. Г.* Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику [Текст] / *Г. Г. Улиг, Р. У. Реви; под ред. А. М. Сухотина.* – Л.: Химия, 1989. – 456 с.
9. *Finšgar, M.* Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review [Text] / *M. Finšgar, J. Jackson* // Corrosion Science. – 2014. – Vol. 86. – P. 17–41. doi: 10.1016/j.corsci.2014.04.044
10. *Rafiquee, M. Z. A.* Influence of surfactants on the corrosion inhibition behaviour of 2-aminophenyl-5-mercapto-1-oxa-3,4-diazole (AMOD) on

mild steel [Text] / *M. Z. A. Rafiquee, N. Saxena, S. Khan, M. A. Quraishi* // Materials Chemistry and Physics. – 2008. – Vol. 107, Issue 2-3. – P. 528–533. doi: 10.1016/j.matchemphys.2007.08.022

11. *Alsabagh, A. M.* Reactivity of polyester aliphatic amine surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in formation water (deep well water) [Text] / *A. M. Alsabagh, M. A. Migahed, Hayam S. Awad* // Corrosion Science. – 2006. – Vol. 48, Issue 4. – P. 813–828. doi: 10.1016/j.corsci.2005.04.009

12. *Prabhu, R. A.* Influence of tramadol [2-[(dimethylamino)methyl]-1-(3-methoxyphenyl) cyclohexanol hydrate] on corrosion inhibition of mild steel in acidic media [Text] / *R. A. Prabhu, A. V. Shanbhag, T. V. Venkatesha* // Journal of Applied Electrochemistry. – 2007. – Vol. 37, Issue 4. – P. 491–497. doi: 10.1007/s10800-006-9280-2

13. *Shanbhag, A. V.* Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium using hydrazide derivatives [Text] / *A. V. Shanbhag, T. V. Venkatesha, R. A. Prabhu, R. G. Kalkhambkar, G. M. Kulkarni* // Journal of Applied Electrochemistry. – 2007. – Vol. 38, Issue 3. – P. 279–287. doi: 10.1007/s10800-007-9436-8

14. *Chygyrynets', E.* A Study of Rape-Cake Extract as Eco-Friendly Vapor Phase Corrosion Inhibitor [Text] / *E. Chygyrynets', V. Vorobyova* // Chemistry and chemical technology. – 2014. – Vol. 8, Issue 2. – P. 235–239.

15. *Mangai, S. A.* Comparative Corrosion Inhibition Effect of Imidazole Compounds and ofTrichodesma indicum(Linn) R. Br. on C38 Steel in 1 M HCl Medium [Text] / *S. A. Mangai, S. Ravi* // Journal of Chemistry. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1–4. doi: 10.1155/2013/527286

16. *Abdel Ghany, N. A.* Novel corrosion inhibitors for acidizing oil wells [Text] / *N. A. Abdel Ghany, M. F. Shehata, R. M. Saleh, A. A. El Hosary* // Materials and Corrosion. – 2016. – Vol. 68, Issue 3. – P. 355–360. doi: 10.1002/maco.201609146

17. *Айманов, Р. Д.* Разработка и защитные свойства ингибиторов сероводородной и углекислотной коррозии стали на основе азот-, фосфорсодержащих соединений [Текст]: автореф. дис. … канд. хим. наук / *Р. Д. Айманов*. – Казань, 2009. – 20 с.

18. *Арсланов, А. К.* Исследование защитных свойств ингибитора коррозии ТАЛ-2513-Р в некоторых коррозионных средах гравиметрическим методом [Текст]: междунар. науч.-практ. конф. / *А. К. Арсланов, А. С. Алябьев, И. Ф. Садретдинов, Р. М. Рафикова* // Нефтегазопереработка-2011. – Уфа, 2011. – С. 153.

19. *Дорошенко, Т.* Протикорозійні властивості 4-заміщених 2-амінотіазолів та їх похідних [Текст] / *Т. Дорошенко, С. Лящук, В. Єня, Ф. Болдирева* // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2012. – Т. 1. – С. 252–256.

20. *Образцов, В.* Інгібуюча та деемульгуюча дія поліелектролітів при первинній переробці нафти [Текст] / *В. Образцов, Р. Старов, Н. Аміруллоєва, Є. Атанов* // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2012. – Т. 1. – С. 232–237.

21. *Jamal Abdul Nasser, A.* Comparative study of N -[(4-methoxyphenyl) (morpholin-4-yl)methyl]acetamide (MMPA) and N -[morpholin-4-yl(phenyl)methyl]acetamide (MPA) as corrosion inhibitors for mild steel in sulfuric acid solution [Text] / *A. Jamal Abdul Nasser, M. Anwar Sathiq* // Arabian Journal of Chemistry. – 2017. – Vol. 10. – P. S261–273. doi: 10.1016/j.arabjc.2012.07.032

22. *Granero, M. F. L.* Dodigen 213-N as corrosion inhibitor for ASTM 1010 mild steel in 10 % HCL [Text] / *M. F. L. Granero, P. H. L. S. Matai, I. V. Aoki, I. C. Guedes* // Journal of Applied Electrochemistry. – 2009. – Vol. 39, Issue 8. – P. 1199–1205. doi: 10.1007/s10800-009-9785-6

23. *Xia, S.* Molecular dynamics and density functional theory study on relationship between structure of imidazoline derivatives and inhibition performance [Text] / *S. Xia, M. Qiu, L. Yu, F. Liu, H. Zhao* // Corrosion Science. – 2008. – Vol. 50, Issue 7. – P. 2021–2029. doi: 10.1016/j.corsci.2008.04.021

24. *Gajek, A.* Protective properties and spectral analysis of nitrogen- and oxygen-containing corrosion inhibitors for oil equipment [Text] / *A. Gajek, T. Zakroczymski, P. Topilnytsky, V. Romanchuk* // Chemistry & Chemical Technology. – 2012. – Vol. 6, Issue 2. – P. 209–219.

25. *Медведева, М. Л.* Коррозия и защита оборудования при переработке нефти и газа [Текст]: уч. пос. / *М. Л. Медведева*. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ», 2005. – 312 с.

Bibliography (transliterated):

1. Papavinasam, S. (2013). Corrosion Control in the Oil and Gas Industry. Gulf Professional Publishing, 1020.

2. Brzeszcz, J., Turkiewicz, A. (2015). Corrosion inhibitors – application in oil industry. NAFTA–GAZ, 2, 67–75.

3. Dawson, J. L., John, G., Oliver, K. (2010). Management of Corrosion in the Oil and Gas Industry. Shreir's Corrosion, 3230–3269. doi: 10.1016/b978-044452787-5.00168-2

4. Romanchuk, V., Topilnytsky, P. (2010). Investigation of reagents with different chemical compositions for protection of oil primary refining equipment. Chemistry & Chemical Technology, 4 (3), 231–236.

5. Topilnytsky, P. (2007). Corrosion protection of oil production and refinery equipment. Chemistry and chemical technology, 1 (1), 45–54.

6. Topilnytskyi, P., Hrynyshyn, O., Machynskyi, O. (2014). Tekhnolohiya pervynnoi pererobky nafty i hazu. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 468.

7. Shalaby, H. M., Ravindranath, K., Tanoli, N., Al-Wakaa, B. (2017). Failure of 321 stainless steel heater tube in heavy crude oil. Case Studies in Engineering Failure Analysis, 9, 1–8. doi: 10.1016/j.csefa.2017.04.004

8. Ulig, G. G., Revi, R. U.; Suhotin, A. M. (Ed.) (1989). Korroziya i bor'ba s ney. Vvedenie v korrozionnuyu nauku i tekhniku. Leningrad: Himiya, 456.

9. Finšgar, M., Jackson, J. (2014). Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. Corrosion Science, 86, 17–41. doi: 10.1016/j.corsci.2014.04.044

10. Rafiquee, M. Z. A., Saxena, N., Khan, S., Quraishi, M. A. (2008). Influence of surfactants on the corrosion inhibition behaviour of 2-aminophenyl-5-mercapto-1-oxa-3,4-diazole (AMOD) on mild steel. Materials Chemistry and Physics, 107 (2-3), 528–533. doi: 10.1016/j.matchemphys.2007.08.022

11. Alsabagh, A. M., Migahed, M. A., Awad, H. S. (2006). Reactivity of polyester aliphatic amine surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in formation water (deep well water). Corrosion Science, 48 (4), 813–828. doi: 10.1016/j.corsci.2005.04.009

12. Prabhu, R. A., Shanbhag, A. V., Venkatesha, T. V. (2007). Influence of tramadol [2-[(dimethylamino)methyl]-1-(3-methoxyphenyl) cyclohexanol hydrate] on corrosion inhibition of mild steel in acidic media. Journal of Applied Electrochemistry, 37 (4), 491–497. doi: 10.1007/s10800-006-9280-2

13. Shanbhag, A. V., Venkatesha, T. V., Prabhu, R. A., Kalkhambkar, R. G., Kulkarni, G. M. (2007). Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium using hydrazide derivatives. Journal of Applied Electrochemistry, 38 (3), 279–287. doi: 10.1007/s10800-007-9436-8

14. Chygyrynets', E., Vorobyova, V. (2014). A Study of Rape-Cake Extract as Eco-Friendly Vapor Phase Corrosion Inhibitor. Chemistry and chemical technology, 8 (2), 235–239.

15. Mangai, S. A., Ravi, S. (2013). Comparative Corrosion Inhibition Effect of Imidazole Compounds and ofTrichodesma indicum(Linn) R. Br. on C38 Steel in 1 M HCl Medium. Journal of Chemistry, 2013, 1–4. doi: 10.1155/2013/527286

16. Abdel Ghany, N. A., Shehata, M. F., Saleh, R. M., El Hosary, A. A. (2016). Novel corrosion inhibitors for acidizing oil wells. Materials and Corrosion, 68 (3), 355–360. doi: 10.1002/maco.201609146

17. Aymanov, R. D. (2009). Razrabotka i zashchitnye svoystva ingibitorov serovodorodnoy i uglekislotnoy korrozii stali na osnove azot-, fosforsoderzhashchih soedineniy. Kazan', 20.

18. Arslanov, A. K., Alyab'ev, A. S., Sadretdinov, I. F., Rafikova, R. M. (2011). Issledovanie zashchitnyh svoystv ingibitora korrozii TAL-2513-R v nekotoryh korrozionnyh sredah gravimetricheskim metodom. Neftegazopererabotka-2011. Ufa, 153.

19. Doroshenko, T., Liashchuk, S., Yenia, V., Boldyreva, F. (2012). Protykoroziyni vlastyvosti 4-zamishchenykh 2-aminotiazoliv ta yikh pokhidnykh. Problemy koroziyi ta protykoroziynoho zakhystu materialiv, 1, 252–256.

20. Obraztsov, V., Starov, R., Amirulloieva, N., Atanov, Ye. (2012). Inhibuiucha ta deemulhuiucha diya polielektrolitiv pry pervynni pererobtsi

nafty. Problemy koroziyi ta protykoroziynoho zakhystu materialiv, 1, 232–237.
21. Jamal Abdul Nasser, A., Anwar Sathiq, M. (2017). Comparative study of N -[(4-methoxyphenyl) (morpholin-4-yl)methyl]acetamide (MMPA) and N -[morpholin-4-yl(phenyl)methyl]acetamide (MPA) as corrosion inhibitors for mild steel in sulfuric acid solution. Arabian Journal of Chemistry, 10, S261–S273. doi: 10.1016/j.arabjc.2012.07.032
22. Granero, M. F. L., Matai, P. H. L. S., Aoki, I. V., Guedes, I. C. (2009). Dodigen 213-N as corrosion inhibitor for ASTM 1010 mild steel in 10 % HCL. Journal of Applied Electrochemistry, 39 (8), 1199–1205. doi: 10.1007/s10800-009-9785-6
23. Xia, S., Qiu, M., Yu, L., Liu, F., Zhao, H. (2008). Molecular dynamics and density functional theory study on relationship between structure of imidazoline derivatives and inhibition performance. Corrosion Science, 50 (7), 2021–2029. doi: 10.1016/j.corsci.2008.04.021
24. Gajek, A., Zakroczymski, T., Topilnytsky, P., Romanchuk, V. (2012). Protective properties and spectral analysis of nitrogen- and oxygen-containing corrosion inhibitors for oil equipment. Chemistry & Chemical Technology, 6 (2), 209–219.
25. Medvedeva, M. L. (2005). Korroziya i zashchita oborudovaniya pri pererabotke nefti i gaza. Moscow: FGUP Izd-vo «Neft' i gaz», 312.

Поступила (received) 06.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження антикорозійних властивостей потенційних інгібіторів корозії, призначених для нафтопереробної промисловості/ Романчук В. В., Топільницький П. І., Чан Куок Кхань//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:25 – ISSN 2079-5459

Исследование противокорозионных свойств потенциальных ингибиторов коррозии, предназначенных для нефтеперерабатывающей промышленности/ Романчук В. В., Топильницкий П. И., Чан Куок Кхань //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:25. – ISSN 2079-5459

Study of anticoroic properties of corrosion potential inhibitors intended for oil refining industry/ Romanchuk V., Topilnytskyy P. Tran Quoc Khanh //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:25. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Романчук Вікторія Володимирівна – Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013, E–mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Романчук Виктория Владимировна – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Кафедра химической технологии переработки нефти и газа, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Ст. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013, E–mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Romanchuk Viktoria – PhD, Science Associate Research, Department of Chemistry and Technology of Petroleum, National University "Lvivska Polytechnica", St. Bandery, str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, E–mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Топільницький Петро Іванович – Кандидат технічних наук, доцент, Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013, E–mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Топильницкий Петр Иванович – Кандидат технических наук, доцент, Кафедра химической технологи переработки нефти и газа, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Ст. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013, E–mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Topilnytskyy Petro – PhD, Associate Professor, Department of Chemistry and Technology of Petroleum, National University "Lvivska Polytechnica", St. Bandery, str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, E–mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Чан Куок Кхань – Магістр, Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013.

Чан Куок Кхань – Магістр, Кафедра химической технологи переработки нефти и газа, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Ст. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013.

Tran Quoc Khanh – Master, Department of Chemistry and Technology of Petroleum, National University "Lvivska Polytechnica", St. Bandery, str., 12, Lviv, Ukraine, 79013.

УДК 629.114.2.073.286

Б. І. КАЛЬЧЕНКО, А. П. КОЖУШКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ПЛАВНОСТІ РУХУ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ

Розглядається коливальна система машинно-тракторного агрегату до складу якого входить колісний трактор з шарнірно-зчленованою рамою та напівпричіп. На основі якої формується підгрунтя до визначення динамічної стійкості машинно-тракторного агрегату по мікропрофілю поверхні. Наведено математичний опис, який окреслює процес відриву колеса від поверхні. Визначено конструктивні параметри та експлуатаційні фактори, які впливають на динамічну стійкість та плавність руху машинно-тракторного агрегату. При застосуванні теорії оптимізації раціоналізовано характеристики конструктивних параметрів та експлуатаційних факторів.

Ключові слова: машинно-тракторний агрегат, динамічна стійкість, плавність руху, колісний трактор, теорія оптимізації.

Рассматривается колебательная система машинно-тракторного агрегата в состав, которого входит колесный трактор с шарнирно-сочлененной рамой и полуприцеп. На основе, которой формируется почва к определению динамической устойчивости машинно-тракторного агрегата по микропрофилю поверхности. Приведено математическое описание, которое определяет процесс отрыва колеса от поверхности. Определены конструктивные параметры и эксплуатационные факторы, которые влияют на динамическую устойчивость и плавность движения машинно-тракторного агрегата. При применении теории оптимизации рационализировано характеристики конструктивных параметров и эксплуатационных факторов.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, динамическая устойчивость, плавность движения, колесный трактор, теория оптимизации.

In the article an approach is developed that analyzes dynamic stability and assesses the smoothness of motion. The vibration system of the machine-tractor unit, which includes a wheeled tractor with a hinged-articulated frame (HTZ tractors) and a semi-trailer, is considered. The mathematical model describing the motion of submerged and non-submerged masses of machine-tractor aggregate is presented. Based on the developed model, the basis for determining the dynamic stability of the machine-tractor unit on the microprofile surface is formed. The mathematical description, which outlines the process of separating the wheel from the surface, is given. The process of determination of the dynamics of vertical vibrations of a machine-tractor unit with mean square deviations is determined. Design parameters (rigidity of elastic elements and rigidity of tires, submersible mass of the front section and the undersurface of the rear section, the coefficient of damping of the suspension and distance from the center of mass to the axis of the hinge of the towing-coupling device) and operating factors (speed, dispersion of surface micro-surfaces) affecting the dynamic stability and smoothness of the machine tractor th unit. In applying the optimization theory, the characteristics of constructive parameters and operational factors were rationalized.

Keywords: machine-tractor unit, dynamic stability, vibration, wheeled tractor, the theory of optimization.

Вступ . При проектуванні підвіски енергонасичених тракторів необхідно враховувати особливості їх експлуатації та, в першу чергу, використання з різноманітними сільськогосподарськими знаряддями, що є причиною значного перерозподілу навантажень по мостам та зміни розподілу підресорених мас. Пружні елементи, що застосовуються в тракторобудуванні, підвісок (ресори та пружини) не знижують низькочастотні коливання трактора. В зв'язку з цим спостерігаються тенденції вносити зміни в конструкцію підвіски остова перспективних моделей тракторів регульовані пружні елементи. Використання підвісок зі змінною жорсткістю, що мають нелінійну характеристику пружних елементів, дозволяють зменшити статичний прогин, підвищити показники плавності ходу та динамічної стійкості.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Існує ряд публікацій [1–6], присвячених розгляду питань, пов'язаних з аналізом динамічної стійкості та плавності руху самохідних машин, проте необхідно звернути увагу на різноплановість цих робіт. В залежності від поставлених задач досліджень, прийнятої розрахункової схеми моделі, а також застосовуванням того чи іншого методу дослідження, в цих роботах приймався ряд припущень, які потребують узагальнення, а методи досліджень – подальшого розвитку та аналізу.

В роботах [7–9] визначено плавність руху колісного трактора типу ХТЗ, проте поєднання його з напівпричепом в складі машинно-тракторного агрегату при виконанні транспортних робіт дасть абсолютно інші закономірності, що напряму будуть впливати на безпеку руху. Дослідження процесів, які виникають в тракторах типу ХТЗ, пов'язаних зі змінною швидкісних діапазонів, як в процесі розгону, так і гальмування розкрито в наукових роботах [10, 11].

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення динамічної стійкості та плавності руху машинно-тракторного агрегату на базі трактора типу ХТЗ за рахунок дослідження і упорядкування конструктивних параметрів та експлуатаційних факторів.

Для досягання окресленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– застосувати теорію оптимізації для забезпечення показників плавності руху та динамічної стійкості машинно-тракторного агрегату на базі трактора типу ХТЗ при його русі по дорогам з твердим покриттям;

– сформувати комплексний підхід для визначення динаміки вертикальних коливань, що забезпечували б оптимальні конструктивні параметри та експлуатаційні фактори машинно-тракторного агрегату на базі трактора типу ХТЗ.

Матеріали та методи дослідження динамічної стійкості та плавності руху колісних тракторів. Вибір параметрів пружної характеристики підвіски для трактора типу ХТЗ необхідно проводити з урахуванням його короткої бази, жорсткості шин, положення центра тяжіння агрегату та місця центру прикладання тягового зусилля. При складанні математичної моделі агрегату трактора ХТЗ – напівпричепа 1ПТС-9 базувалось з точки зору відповідності до повноти визначення реакції машинно-тракторного агрегату (МТА) на збуджувальні силові фактори та допустимості аналізу розробленої схеми (рис. 1).

© Б. І. Кальченко, А. П. Кожушко. 2017

Досвід експериментальних досліджень дозволяє стверджувати, що пружні та дисипативні характеристики елементів підвіски та шин трактора є близькими до лінійних при малих коливаннях відносно положення статичної рівноваги. Беручи до уваги істотне ускладнення розрахунків при аналізі процесу коливань МТА з урахуванням не лінійності пружних та демпфуючих елементів системи, тоді допустимо розглядати їх характеристики в лінійній постановці вирішення задачі. Таке спрощення не призведе до значної похибки та задовольнить вимогам, що ставляться інженерним розрахункам.

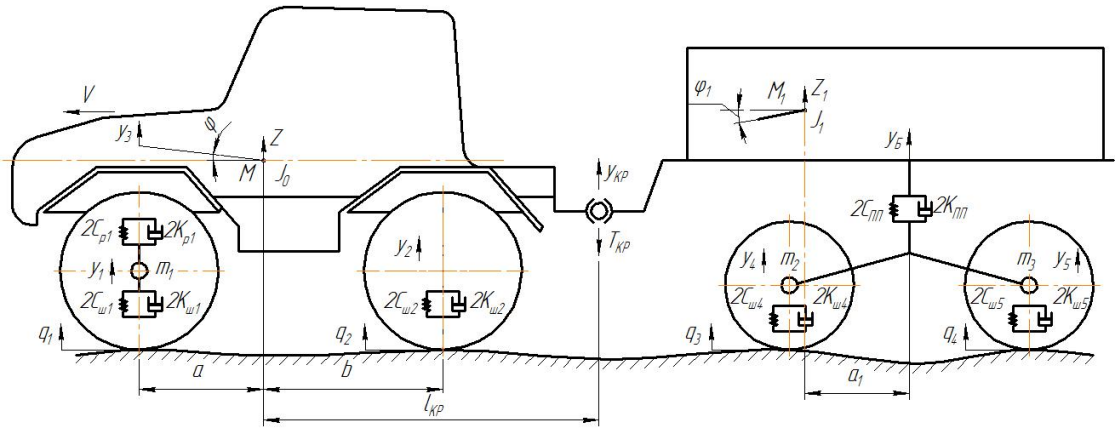


РИС. 1 – РОЗРАХУНКОВА СХЕМА КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МТА

де, M, M_1 – підресорені маси трактора та напівпричепа; $Y_2, Y_3, Y_{KPB} Y$ – вертикальні переміщення підресорених мас, що діють відповідно на шини заднього мостів, підвіску переднього моста трактора, причіпний пристрій трактора та підвіску напівпричепа; m_1, m_2, m_3 – непідресорена маса переднього моста трактора та мостів напівпричепа; та $2C_p$ та $2K_p$, $2C_{ш1}$, та $2K_{ш1}, 2C_{ш2}$ та $2K_{ш2}, 2C_{пп}$ та $2K_{пп}, 2C_{ш3}$ та $2K_{ш3}, 2C_{ш4}$ та $2K_{ш4}$ – відповідно жорсткість шин та коефіцієнти опору підвіски передніх та задніх коліс трактора, підвіски та шин напівпричепа; a, b та a_1 – відповідно координати центру тяжіння трактора та напівпричепа; J, J_1 – моменти інерції трактора та напівпричепа; T_{KP} – сила, що діє на зчіпний пристрій

Розрахункову схему (рис. 1) з урахуванням відомих припущень та обраних узагальнюючих координат досліджували, як систему з постійними параметрами. Диференційні рівняння, що описують коливання МТА в повздовжній вертикальній площині за прийнятими узагальнюючими координатами, складено за допомогою рівняння Лагранжа II роду:

$$
\begin{cases}
M\ddot{Z} = 2K_{Ш2}(\dot{q}_2 - \dot{Z} + b\dot{\varphi}) + 2K_P(\dot{Y}_1 - \dot{Z} + a\dot{\varphi}) + \\
+2C_{Ш2}(q_2 - Z + b\varphi) + 2C_P(Y_1 - Z + a\varphi) - T_{KP}; \\
I\ddot{\varphi} = -2K_{Ш2}(\dot{q}_2 - \dot{Z} + b\dot{\varphi}) + 2K_P(\dot{Y}_1 - \dot{Z} - a\dot{\varphi}) - \\
-2C_{Ш2}(q_2 - Z + b\varphi) + 2C_P(Y_1 - Z - a\varphi) + T_{KP}l_{KP}; \\
m_1\ddot{Y} = 2K_{Ш1}(\dot{q}_1 - \dot{Y}_1) - 2K_P(\dot{Y}_1 - \dot{Z} - a\dot{\varphi}) + \\
+2C_{Ш1}(q_1 - Y_1) - 2C_P(Y_1 - Z - a\varphi); \\
M_1\ddot{Z}_1 = 2K_{ПП}\left(\frac{1}{2}(\dot{Y}_4 + \dot{Y}_5) - \dot{Z}_1 - a_1\dot{\varphi}\right) + 2C_{ПП}\left(\frac{1}{2}(Y_4 + Y_5) - Z_1 - a_1\varphi\right) + T_{KP}; \\
I_1\ddot{\varphi} = 2K_{ПП}a_1\left(\frac{1}{2}(\dot{Y}_4 + \dot{Y}_5) - \dot{Z}_1 - a_1\dot{\varphi}\right) + 2C_{ПП}a\left(\frac{1}{2}(Y_4 + Y_5) - Z_1 - a_1\varphi\right) + T_{KP}l_1; \\
m_2\ddot{Y}_4 = 2K_{Ш3}(\dot{q}_3 - \dot{Y}_4) - 2K_{ПП}\left(\frac{1}{2}(\dot{Y}_4 + \dot{Y}_5) - \dot{Z}_1 - a_1\dot{\varphi}\right) + \\
+2C_{Ш3}(q_3 - Y_4) - 2C_{ПП}\left(\frac{1}{2}(Y_4 + Y_5) - Z_1 - a_1\varphi\right); \\
m_3\ddot{Y}_5 = 2K_{Ш4}(\dot{q}_4 - \dot{Y}_4) - 2K_{ПП}\left(\frac{1}{2}(\dot{Y}_4 + \dot{Y}_5) - \dot{Z}_1 - a_1\dot{\varphi}\right) + \\
+2C_{Ш4}(q_4 - Y_4) - 2C_{ПП}\left(\frac{1}{2}(Y_4 + Y_5) - Z_1 - a_1\varphi\right),
\end{cases}
\tag{1}
$$

де Z, Z_1 – вертикальні переміщення центрів тяжіння підресорених мас трактора та напівпричепа;

Y_1, Y_4, Y_5 – вертикальні переміщення непідресорених мас переднього моста трактора, передніх та задніх осей напівпричепа;

φ, φ_1 – кутові коливання підресорених мас трактора та напівпричепа;

q_1, q_2, q_3, q_4 – ординати мікропрофілю дороги під передніми та задніми колесами трактора та напівпричепа.

Для дослідження шарнірно зчленованої транспортної системи, в зв'язку з її конструктивними особливостями, великий інтерес представляє вплив вертикальних та кутових коливань ланцюгів МТА на взаємозв'язок коліс з дорогою, а також динамічної стійкості, що пов'язано з явищем відриву колеса від опорної поверхні. Для колісних машин з шарнірно зчленованою рамою відрив колеса не завжди свідчить про початок процесу бічного перевертання

.

чи ковзання. В процесі руху кінематичний вплив мікропрофіля дороги та вертикальних коливань трактора, що безперервно змінюються, визначають умови взаємозв'язку пневматичної шини низького тиску з опорною поверхнею, які залежать, в свою чергу, від динамічних прогинів шини.

Розглядаючи вертикальні переміщення вісі колеса в умовах випадкового впливу мікронерівностей дороги, визначається показник для оцінки динамічної стійкості руху МТА. Приймаючи умови, що порушення показників динамічної стійкості руху обумовлено втратою кінематичного зв'язку колеса з дорогою. Цей зв'язок зберігається, якщо виконується умова:

$$Z(t)-q(t)\le r_0-\Delta r(t), \qquad (2)$$

де $Z(t)$ – миттєві значення вертикальної координати вісі колеса; $q(t)$ та $\Delta r(t)$ – відповідні $Z(t)$ величині мікронерівностей в площині вісі колеса та радіального прогину шини; r_0 – радіус початкової окружності.

Приймаючи положення статичної рівноваги колеса в якості початкового, введемо безрозмірний коефіцієнт $k(t)$, який виражає залежність між статичним та динамічним прогином шини та вимірюється за випадковим законом:

$$k(t)=\Delta r(t)/h; \qquad (3)$$

$$Z(t)-q(t)=r_{CT}+h\left(1-q(t)\right), \qquad (4)$$

де h – радіальний прогин шини; r_{CT} – статичний радіус.

З виразу (3) та (4) відмітимо те, що величина $Z(t)-q(t)$ представляє собою переміщення вісі колеса, що змінюється з часом, відносно положення статичної рівноваги. Це переміщення встановлюється через статичний прогин шини та безрозмірний коефіцієнт, який дозволяє забезпечити безперервність функції, що описує переміщення вісі колеса при відриві шини від поверхні дороги. Як відомо, статичний прогин шини залежить від ряду конструктивних та експлуатаційних параметрів шин та трактора, а вертикальні прискорення вісі колеса визначаються розрахунковим шляхом або експериментально. З аналізу виразу (4) встановлено, що найбільш бажаним є режим руху, при якому $Z(t)-q(t)=r_{CT}=const$, що відповідає умові $k(t)_{ОПТ}=1$. Умова $k(t)=0$ характеризує момент відриву колеса від дороги, при $k(t)<0$ контакт колеса з дорогою відсутній, а в випадку $k(t)\ge 0$ радіальне навантаження на вісь колеса перевищує статичну величину (тобто $\Delta r(t)>h$).

На основі вище сказаного, для оцінки умов руху, що впливає на взаємозв'язок колеса з дорогою та параметри динамічної стійкості руху при вертикальних коливаннях і відриві коліс, представляє інтерес зона $k(t)\le 1$.

При статичному аналізі процесів вертикальних коливань можливо використання середніх квадратичних відхилень σ_K, що є квадратним коренем дисперсії, значень безрозмірного коефіцієнта та величину К, які представляють собою чисельні характеристики комплексної дії різноманітних конструктивних характеристик трактору та підвіски, експлуатаційних показників, що визначають динаміку руху машинно-тракторного агрегату. На основі з довірчої ймовірності оцінки випадкових процесів, слід приймати допустимі значення коефіцієнту [К].

Для визначення σ_K при реалізації програми інтегрування диференційних рівнянь передбачена статична оцінка вертикальних переміщень вісі колеса та визначення середньоквадратичних відхилень цих переміщень σ_Y:

$$\sigma_K=\frac{\sigma_Y}{h}; \qquad (5)$$

$$K=k(t)_{ОПТ}-\sigma_K. \qquad (6)$$

Оскільки основним оціночним показником плавності руху є характеристики вертикальних прискорень машинно-тракторного агрегату, то для визначення значень К необхідно користуватись статичними характеристиками значень процесів вертикальних коливань не підресорених мас $\sigma_{\ddot{Y}}$:

$$\sigma_K=\frac{\sigma_{\ddot{Y}}}{9{,}81}. \qquad (7)$$

З урахуванням вищесказаного при обчисленні диференційних рівнянь математичної моделі визначали наступні параметри, що характеризують коливання машинно-тракторного агрегату:

– вертикальні прискорення не підресорених мас переднього $\ddot{Y}_1$ та заднього $\ddot{Y}_2$ мостів;

– підресореного остову на рамі в зоні переднього мосту $\ddot{Y}_3$ та в центрі тяжіння трактора $\ddot{Z}$.

При моделюванні математичної моделі (1) з критеріями плавності ходу та динамічної стійкості ($2C_{Ш}=800$ кН/м, $2C_{П}=500$ кН/м, $\psi=0{,}5$, $M_{П}=3900$ кг, $M_{З}=4500$ кг, $\sigma_{Д}^2=5\cdot 10^{-4}$ м2, $V\in[0;\ 11{,}8]$ м/с).

Аналізуючи результати з рис. 2, можна зробити висновок про те, що критерії, які розглядаються, по різному впливають на показники динаміки руху машинно-тракторного агрегату (рис. 3). При обчисленні величини К треба зауважити, що вона інтенсивно знижується при збільшенні дисперсії мікропрофілю поверхні, швидкості руху, значень характеристик пружних елементів підвіски та шин.

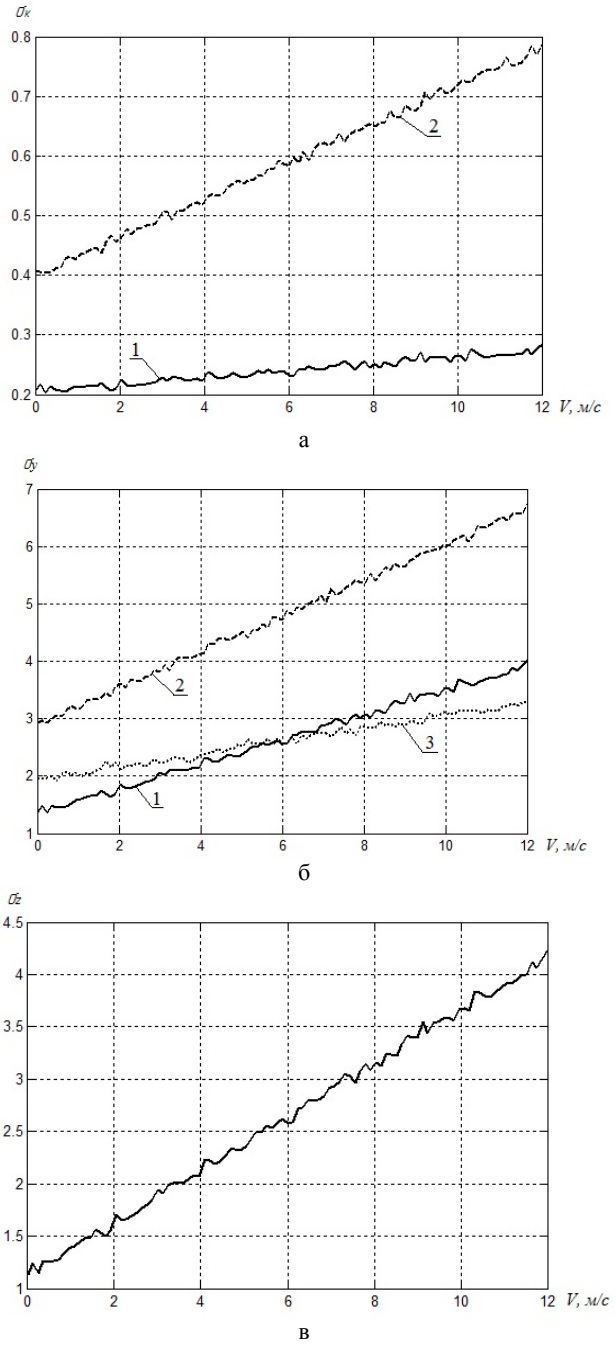


Рис. 2 – Графіки середньоквадратичних відхилень: а – переміщення переднього та заднього мостів; б – прискорення переднього, заднього мостів та рами в зоні переднього моста; в – прискорення центу тяжіння трактора; 1 – передній міст; 2 – задній міст; 3 – зона переднього моста напівпричепа

На основі рівняння (7) та з урахуванням умови, що при $k(t)_{ОПТ}=1$, можна зробити висновок про те, що при $\sigma_K \to 0$ спостерігатиметься найбажаніший режим руху, при цьому $K \to 1$.

В якості незалежних досліджуваних факторів, що суттєво впливають на показники плавності ходу та стійкості руху, прийняті дисперсія мікронерівностей поверхні $\sigma_Д^2$, маси $M_П$ підресореної передньої секції та $M_З$ непідресореної задньої секції трактора, жорсткість $C_П$ пружних елементів та коефіцієнт ψ затухання підвіски, жорсткість $C_Ш$ шин, відстані $l_{КР}$ від центру мас до вісі шарніру тягово-зчіпного пристрою, а також швидкість руху V машинно-тракторного агрегату.

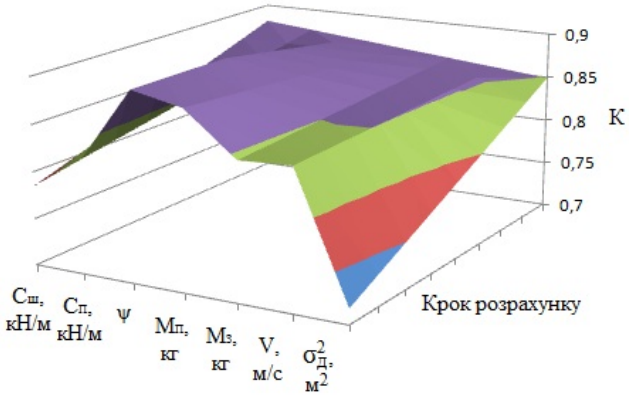


Рис. 3 – Графік варіювання величини К в залежності від параметра зміни

На основі регресійного аналізу системи рівняння (1) отримаємо залежності

$$\begin{cases} \sigma_{K1}(C_Ш, C_П, \psi, M_П, M_З, V, \sigma_Д^2) = const; \\ \sigma_{K2}(C_Ш, M_З, V, \sigma_Д^2) = const; \\ \sigma_{\cdot\cdot Z}(C_Ш, C_П, \psi, M_П, M_З, V, \sigma_Д^2) = const; \\ \sigma_{\cdot\cdot Y1}(C_Ш, l_{КР}, C_П, \psi, M_П, M_З, V, \sigma_Д^2) = const; \\ \sigma_{\cdot\cdot Y2}(C_Ш, l_{КР}, C_П, \psi, M_П, M_З, V, \sigma_Д^2) = const; \\ \sigma_{\cdot\cdot Y3}(C_Ш, l_{КР}, C_П, \psi, M_П, M_З, V, \sigma_Д^2) = const. \end{cases} \quad (8)$$

При проведені оцінки впливу того чи іншого показника, побудовано на рис. 4 діаграму, яка характеризує ступінь і характер впливу на показники динаміки руху машинно-тракторного агрегату.

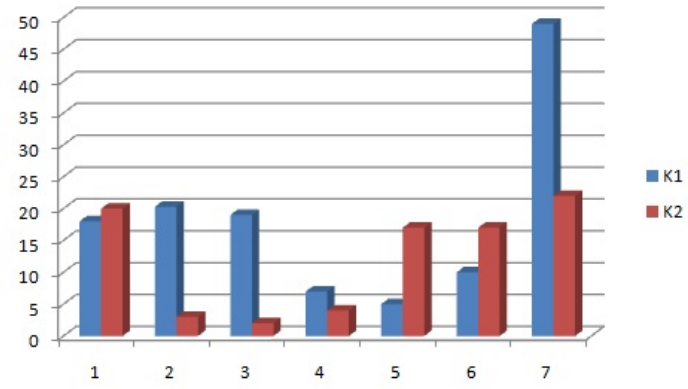


Рис. 4 – Діаграма впливу на значення середньоквадратичного відхилення: К1 – оціночний критерій для передньої секції (%); К2 – оціночний критерій для задньої секції (%); 1 – жорсткість шин; 2 – жорсткість пружних елементів; 3 – коефіцієнт затухання підвіски; 4 – підресорена маса передньої секції; 5 – підресорена маса задньої секції; 6 – швидкість руху; 7 – величина дисперсії мікронерівностей поверхні

Необхідно відзначити, що критерій, який характеризує відстань l_{KP} від центру мас до вісі шарніру тягово-зчіпного пристрою, не впливає на секції машинно-тракторного агрегату (його величина не перевищує 1 %).

На основі рівнянь (8) та аналізу з рис. 4 виникає потреба в проведені оптимізації конструктивних параметрів машинно-тракторного агрегату, яка дозволить вирахувати раціональні показники.

В даній роботі застосовано такий метод оптимізації, як метод градієнтного спуску, який базується на основі пошуку локального екстремуму функції за допомогою руху уздовж градієнта. Процес оптимізації проводився за визначенням узагальненого критерію, який формувався на основі вагових коефіцієнтів, критеріїв оцінки та штрафних функцій

В ході оптимізації критерії змінювались наступним чином:

– дисперсія мікронерівностей поверхні $\sigma_Д^2 \cdot 10^{-4} \in [3,5;6,5]$ м^2;

– підресорена маса передньої секції $M_П \in [3600;4200]$ кг;

– підресорена маса задньої секції $M_З \in [3750;5250]$ кг;

– жорсткість пружних елементів $2C_П \in [400;600]$ кН/м;

– коефіцієнт затухання підвіски $\psi \in [0,35;0,65]$;

– жорсткість шин $2C_Ш \in [700;900]$ кН/м;

– швидкість руху машинно-тракторного агрегату $V \in [2;11,8]$ м/с.

З аналізу результатів можна зробити висновок, що найбільш небезпечним є режим вертикальних коливань задньої секції трактора, прискорення яких залежать від відповідного вибору мас та жорсткостей шин.

Результати розрахунків свідчать про те, що допустимим рівнем вертикальних прискорень задньої секції трактора типа ХТЗ при його русі в складі машинно-тракторного агрегату зі швидкістю до 12 м/с може забезпечуватись при відповідному виборі навантаження на вісь заднього моста, і жорсткості шин для заданого мікропрофіля поверхні.

За результатами теоретичного дослідження з урахуванням конструктивних особливостей трактора типа ХТЗ було сформовано раціональні параметри підвіски: жорсткість $2C_П = 400$ кН/м та коефіцієнт затухання $\psi = 0,6$, при яких забезпечується значення $K = 0,95$, що характеризує транспортний режим роботи руху машинно-тракторного агрегату для різноманітного поєднання факторів.

Висновки. При раціональному поєднанні параметрів, що характеризують особливості конструкції машинно-тракторного потягу на базі трактора типу ХТЗ з шарнірно-зчленованою рамою, представляється можливим забезпечити достатньо високі показники плавності руху та динамічної стійкості трактора при його русі по дорогам з твердим покриттям.

Граничні швидкості з точки зору безпеки руху по ґрунтовим дорогам залежать від статичних характеристик мікропрофіля поверхні та обмежуються параметрами задньої секції трактора, що визначають прискорення вертикальних коливань. Чисельне значення безрозмірного коефіцієнту К динаміки вертикальних коливань можна використовувати в якості комплексного показника оптимальності поєднання різноманітних конструктивних параметрів та експлуатаційних факторів.

Список літератури:

1. Шупляков, В. С. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля [Текст] / В. С. Шупляков. – М.: Транспорт, 1974. – 328 с.
2. Барский, И. Б. Динамика трактора [Текст] / И. Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
3. Попов, В. Б. Математическое моделирование мобильного сельскохозяйственного агрегата в режиме транспортного переезда [Текст] / В. Б Попов // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.А. Сухого. – 2005. – № 3 (22). – С. 13–18.
4. Scarlett, A. J. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors [Text] / A. J. Scarlett, J. S. Price, R. M. Stayner // Journal of Terramechanics. – 2007. – Vol. 44, Issue 1. – P. 65–73. doi: 10.1016/j.jterra.2006.01.006
5. Patil, M. K. A mathematical model of tractor-occupant system with a new seat suspension for minimization of vibration response [Text] / M. K. Patil, M. S. Palanichamy // Applied Mathematical Modelling. – 1988. – Vol. 12, Issue 1. – P. 63–71. doi: 10.1016/0307-904x(88)90024-8
6. Servadio, P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors [Text] / P. Servadio, A. Marsili, N. P. Belfiore // Biosystems Engineering. – 2007. – Vol. 97, Issue 2. – P. 171–180. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.03.004
7. Кальченко, Б. І. Підхід до визначення завантаженості трансмісії колісного трактора при впливі нерівностей поверхні [Текст] / Б. І. Кальченко, І. С. Чернявський, А. П. Кожушко // Науковий журнал технічний сервіс, агропромислового, лісового та транспортного комплексу. – 2017. – № 8. – С. 49–54.
8. Рославцев, А. В. Теория движения тягово-транспортных средств [Текст]: учеб. пос. / А. В. Рославцев. – М.: УМЦ «ТРИАДА», 2003. – 172 с.
9. Кальченко, Б. И. Обоснование и разработка конструкции колесных тракторов общего назначения и реализация их в серийном производстве [Текст]: автореф. … д-ра. техн. наук / Б. И. Кальченко. – Минск, 1991. – 68 с.
10. Samorodov, V. Formation of a rational change in controlling continuously variable transmission at the stages of a tractor's acceleration and braking [Text] / V. Samorodov, A. Kozhushko, E. Pelipenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4, Issue 7 (82). – P. 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2016.75402
11. Samorodov, V. Influence of change of hydraulic machine control parameter during braking of the tractor with the continuously variable transmission [Text] / V. Samorodov, A. Kozhushko, E. Pelipenko // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 4, Issue 1 (36). – P. 11–18. doi: 10.15587/2312-8372.2017.109025

Bibliography (transliterated):

1. Shuplyakov, V. S. (1674). Kolebaniya i nagruzhennost' transmissii avtomobilya [Oscillations and loading of the vehicle powertrain]. Moscow, 328.
2. Barskiy, I. B., Anilovich, V. Ya., Kut'kov, G. M. (1973). Dinamika traktora [Tractor dynamics]. Moscow, 280.
3. Popov, V. B. (2005). Matematicheskoe modelirovanie mobil'nogo sel'skohozyaystvennogo agregata v rezhime transportnogo pereezda [Mathematical modeling of the mobile agricultural unit in the mode of transport moving]. Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. P.A. Suhogo [Bulletin of the Gomel State Technical University], 3, 13–18.

4. Scarlett, A. J., Price, J. S., Stayner, R. M. (2007). Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. Journal of Terramechanics, 44 (1), 65–73. doi: 10.1016/j.jterra.2006.01.006

5. Patil, M. K., Palanichamy, M. S. (1988). A mathematical model of tractor-occupant system with a new seat suspension for minimization of vibration response. Applied Mathematical Modelling, 12 (1), 63–71. doi: 10.1016/0307-904x(88)90024-8

6. Servadio, P., Marsili, A., Belfiore, N. P. (2007). Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. Biosystems Engineering, 97 (2), 171–180. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.03.004

7. Kal'chenko, B. I., Chernyavs'kyy, I. S., Kozhushko, A. P. (2017). Pidkhid do vyznachennya zavantazhenosti transmisiyi kolisnoho traktora pry vplyvi nerivnostey poverkhni [Approach to determination of load of transmission of a wheeled tractor under the influence of surface irregularities]. Naukoviy zhurnal tekhnichnyy servis, ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksu [Scientific journal technical service, agroindustrial, forestry and transport complex], 8, 49–54.

8. Roslavtsev, A. V. (2003). Teoriya dvizheniya tyagovo-transportnyih sredstv [Theory of motion of traction-vehicles]. Moscow: UMC "TRIAD", 172.

9. Kal'chenko, B. I. (1991). Obosnovanie i razrabotka konstruktsii kolesnyih traktorov obschego naznacheniya i realizatsiya ih v seriynom proizvodstve [Justification and development of the design of wheeled tractors of general purpose and their implementation in batch production]. Minsk, 68.

10. Samorodov, V., Kozhushko, A., Pelipenko, E. (2016). Formation of a rational change in controlling continuously variable transmission at the stages of a tractor's acceleration and braking. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (7 (82)), 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2016.75402

11. Samorodov, V., Kozhushko, A., Pelipenko, E. (2017). Influence of change of hydraulic machine control parameter during braking of the tractor with the continuously variable transmission. Technology Audit and Production Reserves, 4 (1 (36)), 11–18. doi: 10.15587/2312-8372.2017.109025

Надійшла (received) 12.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження динамічної стійкості та плавності руху колісних тракторів/ Кальченко Б. І., Кожушко А. П. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Исследование динамической устойчивости и плавности движения тракторов/ Кальченко Б. И., Кожушко А. П. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Research dynamic stability and vibration while driving wheeled tractor/ Kal'chenko B., Kozhushko A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.103–109 . – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кальченко Борис Іванович – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автомобіле- та тракторобудування, вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002, e–mail: Kabor7777777@gmail.com.

Кальченко Борис Иванович – доктор технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры автомобиле- и тракторостроения, ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002, e–mail: Kabor7777777@gmail.com.

Kalchenko Boris– Doctor of Technical Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Car and Tractor Industry, Kirpichova str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002, e–mail: Kabor7777777@gmail.com.

Кожушко Андрій Павлович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автомобіле- та тракторобудування, вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002, e–mail: Andreykozhushko7@gmail.com.

Кожушко Андрей Павлович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры автомобиле- и тракторостроения, ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002, e–mail: Andreykozhushko7@gmail.com.

Kozhushko Andriy – PhD, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Lecturer at the Department of Car and Tractor Industry, Kirpichova str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002,

УДК 004.421 : 004.22 : 681.5

А. С. ВЄЧЕРКОВСЬКА, С. В. ПОПЕРЕШНЯК

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕМЕНТІВ З ПОРИСТОГО ПОЛІПРОПІЛЕНУ МЕТОДОМ ПНЕВМОЕКСТРУЗІЇ

Розглядається проблема автоматизації виробництва на прикладі виробництва елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, які використовуються в багатьох галузях виконуючи переважно функції фільтрації або дренажа. Виробництво таких елементів є на сьогодні важливим завданням, успішному вирішенню якого сприяє як правильний вибір конструкції апарату для виготовлення зазначених виробів так і автоматизація процесу виробництва. Одними із основних параметрів, від яких залежить весь процес виробництва, елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, що вимагає автоматизації є контроль швидкості подачі розплавленого поліпропілену та тиску при подачі матеріалу на форму. Запропоновані методика та алгоритм автоматизації виробництва, елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, які допомагають обрати визначені параметри. Результати досліджень можуть бути використані у виробництві поліпропіленових фільтруючих картриджів та дренажних систем.

Ключові слова: автоматизація виробництва, схема виробництва, блок-схема, методика, фільтрувальний елемент, дренажний елемент, елементи з поліпропілену.

Рассматривается проблема автоматизации производства на примере производства элементов из пористого полипропилена методом пневмоэкструзии, которые используются во многих отраслях выполняя преимущественно функции фильтра или дренажа. Производство таких элементов является сегодня важной задачей, успешному решению которой способствует как правильный выбор конструкции аппарата для изготовления указанных изделий, так и автоматизация процесса производства. Одними из основных параметров, от которых зависит весь процесс производства, элементов из пористого полипропилена методом пневмоэкструзии, который автоматизируется является контроль скорости подачи расплавленного полипропилена, а также давления при подаче материала на форму. Предложенные методика и алгоритм автоматизации производства, элементов из пористого полипропилена методом пневмоэкструзии, помогают выбрать определенные параметры. Результаты исследований могут быть использованы в производстве фильтрующих картриджей и дренажных систем, изготовленных из полипропилена.

Ключевые слова: автоматизация производства, схема производства, блок-схема, методика, фильтрующий элемент, дренажный элемент, элементы из полипропилена.

The problem of automation of production is considered on the example of production of elements from porous polypropylene by the method of pneumoectrusion. They are used in many industries, performing mainly filtration or drainage functions. The main areas of application of such elements are highlighted. The production of such elements is an important task today. Successful solution of this problem contributes as the right choice of the design of the apparatus for the manufacture of these products and automation of the production process. There is a dependence of the production process on many parameters. One of the main parameters is to control the flow rate of molten polypropylene and the pressure when applying the material to the mold. The technique of automation of production, elements from porous polypropylene by the method of pneumoctrusion is offered. The algorithm of automation of production, elements from porous polypropylene by the method of pneumoctrusion is offered. This technique and algorithm help to choose the main parameters on which the process of manufacturing these elements depends. The influence of these parameters on the density of the layer formed during the application of molten polypropylene is given. Research results can be used in the production of polypropylene filter cartridges and drainage systems.

Keywords: automation of production, production scheme, block diagram, methodology, filter element, drainage element, polypropylene elements.

Вступ. Важливе місце серед науково-технічних проблем розвитку промисловості відводиться автоматизації виробничих процесів і виробництв. Рівень розвитку держави та, відповідно, життя кожної людини залежить від того, наскільки ефективно впроваджується у виробництво нова техніка й технології.

Під механізацією технологічного процесу розуміють заміну фізичної праці людини роботою машин або механізмів.

Виробництво елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, які часто називають, не завжди правильно, фільтруючі елементи, що поєднують продуктивність з високою утримуючою здатністю, є на сьогодні найважливішим завданням. Вирішенням цього завдання сприяє: правильний вибір конструкцій апарату для виготовлення таких елементів; вибір матеріалів; автоматизація процесу виробництва.

Автоматизація виробництва – це процес в розвитку машинного виробництва, при якому функції керування та контролю, які раніше виконувалися людиною, перекладаються на прилади та автоматичне обладнання [1].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Одним із прикладів виробництва, яке потребує системного підходу до автоматизації є виробництво елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії. На сьогоднішній день, процес виробництва таких елементів із «вспіненого» поліпропілену запроваджено у багатьох країнах світу. У Європі та США дана технологія виробництва і нетканих полотен називається melt blowning, скорочено МВ, що дослівно означає «сплав, що роздувається». В Україні – пневмоекструзія, а картриджі – пневмоекструзіні [2]. Процес цей унікальний, оскільки дозволяє отримати мікроволокна з діаметрами в діапазоні від 2 до 4 мікрон. Хоча технологія «здатна» і на більш тонкі волокна до 0,1 мікрона, і на більш грубі. Зрозуміло, що чим тонше діаметр волокон в шарі, тим менше розміри пори в фільтрувальному елементі і тим він краще затримує мікронні частки.

В роботах дослідників найчастіше розглядають нові технології в сфері фільтрувальних матеріалів, структури фільтрів, сировинний склад [3–8]. Також увага приділяється самому процесу фільтрації рідини через фільтруючий елемент [9, 10]. Але те що стосується автоматизації виробництв елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, то до сьогоднішнього дня немає схожих досліджень в цьому напрямку.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є аналіз технологічного процесу виробництва елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії; визначення параметрів, від яких залежить процес виробництва цих елементів; мінімізація кількості парамет-

© А. С. Вєчерковська, С. В. Поперешняк. 2017

рів, які впливають на технологічний процес, шляхом виділення залежності між зміною значення цих параметрів та діаметром волокон які наносяться на елемент, що формується; побудова алгоритму автоматизації виготовлення даних елементів використовуючи основні параметри.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Проаналізувати галузі використання елементів зі «вспіненого» поліпропілену.

2. Виділити основне призначення даних елементів та виділити необхідну кількість шарів для кожного випадку.

3. Проаналізувати вплив різних вхідних параметрів технологічного процесу виробництва елементів зі «вспіненого» поліпропілену на функції кінцевого продукту.

4. Визначити залежність між параметрами процесу виробництва поліпропіленових фільтруючих елементів, його результатами у вигляді фільтруючих елементів або дренажу та виділити мінімальну кількість основних параметрів, змінюючи які можна досягнути результату у вигляду елементу потрібного типу (або фільтруючий елемент, або дренаж).

5. Розробити алгоритм та методику автоматизації вибору параметрів виробництва в залежності від вимог замовника та галузі застосування продукції.

Результати дослідження . Розглянемо процес виготовлення елементів з пористого поліпропілену шляхом пневмоекструзії методом, який полягає в формуванні розплавленого поліпропілену через філь'єри з подальшим розтягуванням незастиглого екструдату потоком гарячого повітря і нанесенням на обертовий гвинтовий циліндричний стержень. Конструкція приймального пристрою (він же обертається, гвинтовий стержень) дозволяє забезпечити безперервний процес формування безкаркасних елементів (рис. 1).

Отримана структура картриджів жорстка і стабільна, оскільки зафіксована термічними зшивками мікроволокон і трохи підпресована спеціальним валиком. При уявній простоті технології оператор повинен контролювати 19 параметрів процесу, враховуючи вхідний контроль якості вихідної сировини. Змінюючи ключові параметри, можна отримувати картриджі різного мікронного рейтингу від 1 до 100 мікрон, різної довжини і діаметру, починаючи з 10 дюймових закінчуючи 40 дюймовими.

Галузь застосування елементів, які виготовлені з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, досить різноманітна, це й облаштування водозабірних свердловин, фільтрація палива та ПММ, застосування фільтрів в промисловості, фільтрування газів та повітря, використання дренажних систем в сільському господарстві та будівництві тощо (рис. 2).

Таким чином, проаналізувавши основні галузі

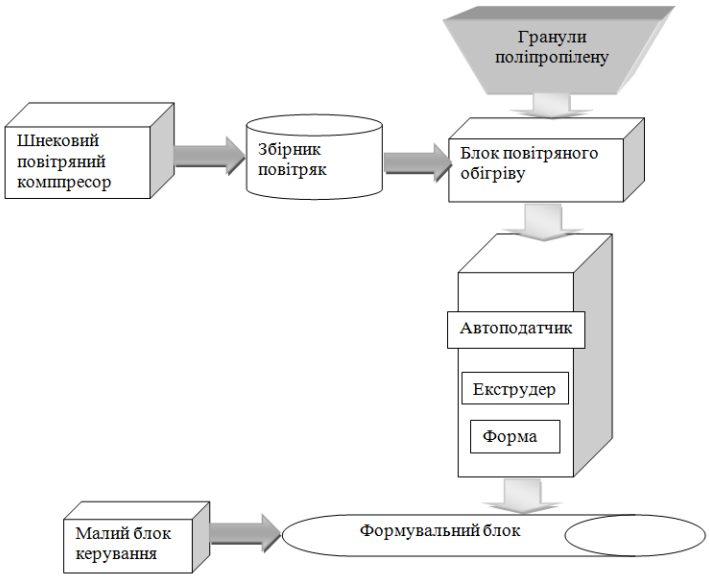


Рис. 1 – Схема виробництва елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії

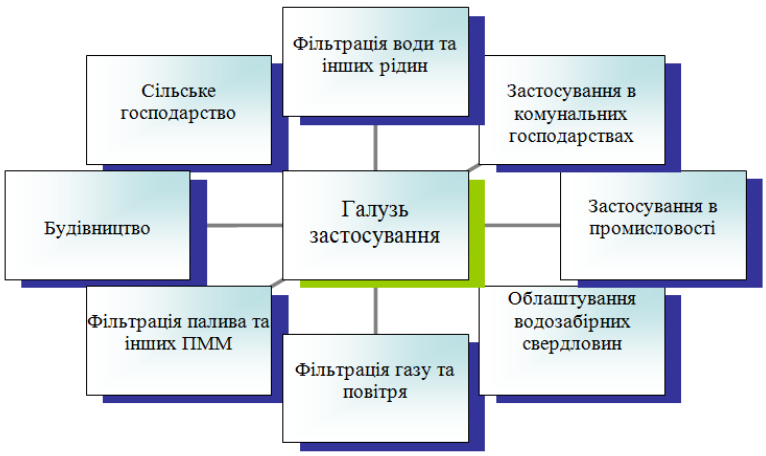


Рис 2. – Галузі застосування елементів, які виготовлені з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії

застосування елементів, які виготовлені з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, то їх можна умовно розділити на фільтрувальні та дренажні.

Фільтрувальні елементи. Фільтрувальні елементи застосовуються для очищення рідин та газів що мають певну кількість механічних домішок різних за розміром і фізичними властивостями.

Фільтрувальні елементи мають, як правило, три або більше шари різної структури за діаметром волокон і щільності матеріалу (рис. 3).

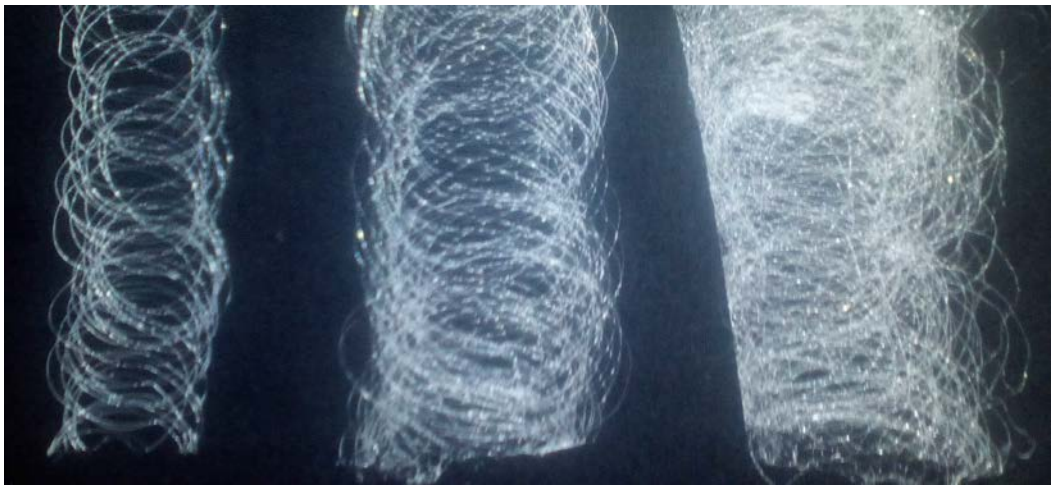


Рис. 3 – Приклади волокна з поліпропілену в залежності від діаметру

Наприклад, патронний фільтруючий елемент, який працює з подачею рідини зовні всередину має міцний та грубий внутрішній каркасний шар (табл. 1) на який накладається тонковолоконий щільний фільтруючий шар, а далі, поверхневий шар меншої щільності, який виконує функції накопичувача бруду (рис. 4).

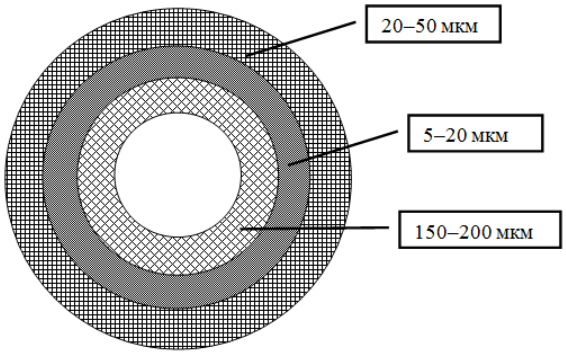


Рис. 4 – Схема тришарового фільтруючого елементу виготовленого із «вспіненого» поліпропілену з зазначеними діаметром волокна на кожному з шарів (в розрізі)

Таблиця 1 – Залежність діаметру волокна від типу шару в фільтрувальному елементі

Назва шару	Діаметр волокна, мкм
Каркасний шар	150–200
Фільтруючий шар	5–20
Поверхневий шар	20–50

Дренажні елементи. Дренажні елементи застосовуються для збору або відведення значної кількості рідини з напіврідких шламонасичених суспензій з застосуванням обсипних шламозатримуючих матеріалів, наприклад: кварцеві піски, гравійні структури або щебеневий обсип.

При цьому дренажні елементи не виконують функцію фільтрування. Служать каркасним шаром, який не дає можливості обсипним матеріалам бути вимитим разом з відведеною рідиною.

Такі елементи виготовляються, як правило, одношаровими (рис. 5) з структурою і щільністю, що забезпечує розмір пори меншими за розмір частинок обсипного матеріалу і в той же час дозволяють максимальний дебіт даного елементу (табл. 2).

Таблиця 2 – Рекомендований діаметр волокна в залежності від обсипного матеріалу

Матеріал обсипки	Діаметр волокна, мкм
Кварцевий пісок крупнозернистий	100
Гравій	200–300
Щебінь	500

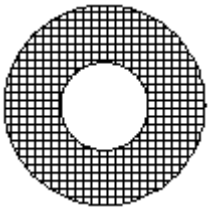


Рис. 5 – Схема одношарового дренажного елементу(в розрізі)

Множина параметрів технологічного процесу виготовлення елементів пористого поліпропілену методом пневмоекструзії . В процесі виробництва фільтруючих елементів і дренажних елементів, методом пневмоекструзії, для забезпечення певної структури кожного шару, можна змінювати значну кількість параметрів технологічного процесу.

Це такі параметри як:

- Температура плавлення в зонах обігріву екструдера і головки;
- Оберти дозуючого насосу і відповідно маси плаву полімеру;
- Тиск і температура повітря, що подається на формуючу голівку;
- Швидкість обертання прийомного механізму і його відстань до формуючої головки;
- Параметри каландруючого пристрою (при його використанні).

Треба також брати до уваги, що всі ці параметри будуть докорінно змінюватися при застосуванні в процесі виготовлення матеріалів сировини різних марок.

Якщо проаналізувати всі вхідні параметри, то випливає основна найважливіша задача автоматизації виробництва елементів з пористого поліпропілену методом екструзії – мінімізувати кількість регулюючих параметрів.

Кількість шарів в такому випадку може бути збільшено, починаючи з фільтруючого до зовнішнього, накопичувального, при цьому щільність матеріалу буде зменшуватися в напрямку зовнішнього шару. Цей процес у виробництві може бути як дискретний, так і неперервним.

Як зазначено вище, зауважимо, що ми будемо розглядати виготовлення елементів з пористого поліпропілену методом екструзії з однієї марки полімеру.

Експериментально обґрунтовано, що найбільш впливовими є два основних вхідних параметри, які впливають на діаметр волокна, який формується з розплавленого поліпропілені, а відповідно на щільність шару на виробі – це тиск повітря та швидкість подачі матеріалу (розплавленого поліпропілену).

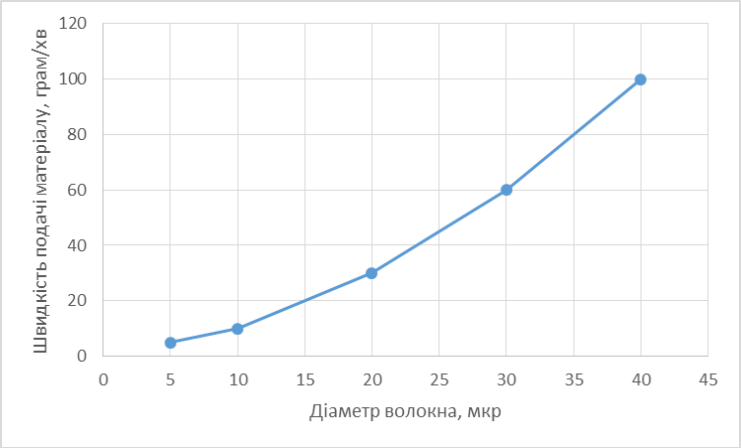


Рис. 7 – Графік залежності діаметра волокна від швидкості подачі матеріалу

Діаметр волокна для виготовлення шарів фільтрувального елементу, які змінюють між собою тонковолокнисті та товстоволокнисті шари, залежить від тиску повітря при нанесення волокон на продукт (.рис 6).

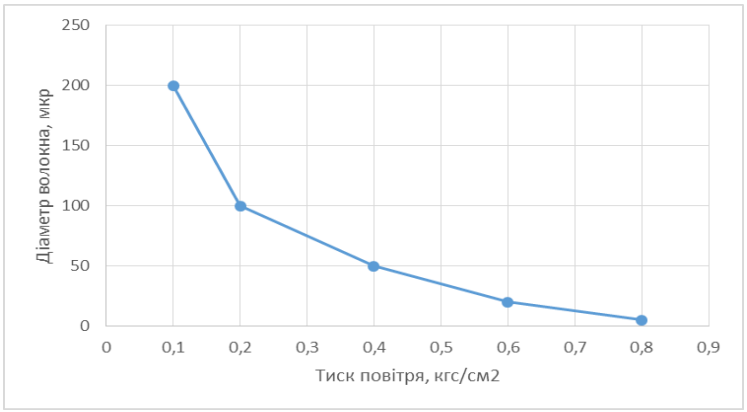


Рис. 6 – Графік залежності діаметра волокна від тиску повітря, що подається на формуючу голівку

Великі поверхні, такі як стрижні з безліччю отворів, дають низький опір, і тиск розплаву при чистих сітках може бути всього 6–10 МПа на наконечнику черв'яка. При виробництві більш тонкого шару, де товщина волокна близько 20 мікрон зазвичай дають 10–25 МПа, а невелика ізоляція проводу може давати до 50 МПа і більше. Головка з більш низьким тиском може дозволити здійснювати більш швидке виробництво, але, якщо товщина не однорідна, буде надлишковий витрата матеріалу або ж буде ризик появи браку.

Експериментальним шляхом встановлено, що зі збільшенням швидкості подачі поліпропілену на форму з 1000 до 5000 м/хв спостерігається значна зміна механічних властивостей волокон, що отримуються: зниження розривного подовження, підвищення модуля і міцності волокна (рис. 7).

Методика вибору параметрів системи в залежності від галузі виробництва

1. Визначити технічні умови(характеристики) галузі для якої буде вироблятися фільтруючий елемент.
2. Якщо виробляється дренажний елемент, який складається з одногу шару волокон, то для нього необхідно встановити керуючі параметри, основними з яких є тиск повітря та швидкість подачі матеріалу.
3. Якщо відбуватиметься виробництво фільтрувального елементу, то для нього, спочатку необхідно визначити скільки і в якій черговості будуть наноситись шари. Потім так само, як для дренажного елементу задаються керуючі параметри перед початком нанесення кожного шару.
4. Здійснювати контроль параметрів на початку і при звершенні виробництва, уникати збоїв роботи обладнання.

Алгоритм автоматизованого управління вибором параметрів виробництва. Алгоритм, являє собою послідовність дій, що ведуть до досягнення мети, яка полягає в отриманні інформації про значення найбільш важливих технологічних параметрів, таких як тиск повітря та швидкість подачі матеріалу. Блок-схема алгоритму автоматизованого управління вибором параметрів виробництва з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії представлена на рис. 8

Спочатку вибирається галузь виробництва, для якої виготовляється продукт.

У загальних рисах цей алгоритм може бути наступним: визначити до якої галузі застосування буде належати фільтрувальний елемент, після задати відповідні параметри які можуть і будуть відрізнятися в залежності від шару. Контроль і встановлення параметрів можуть відбуватися на початку виробництва кожного шару.

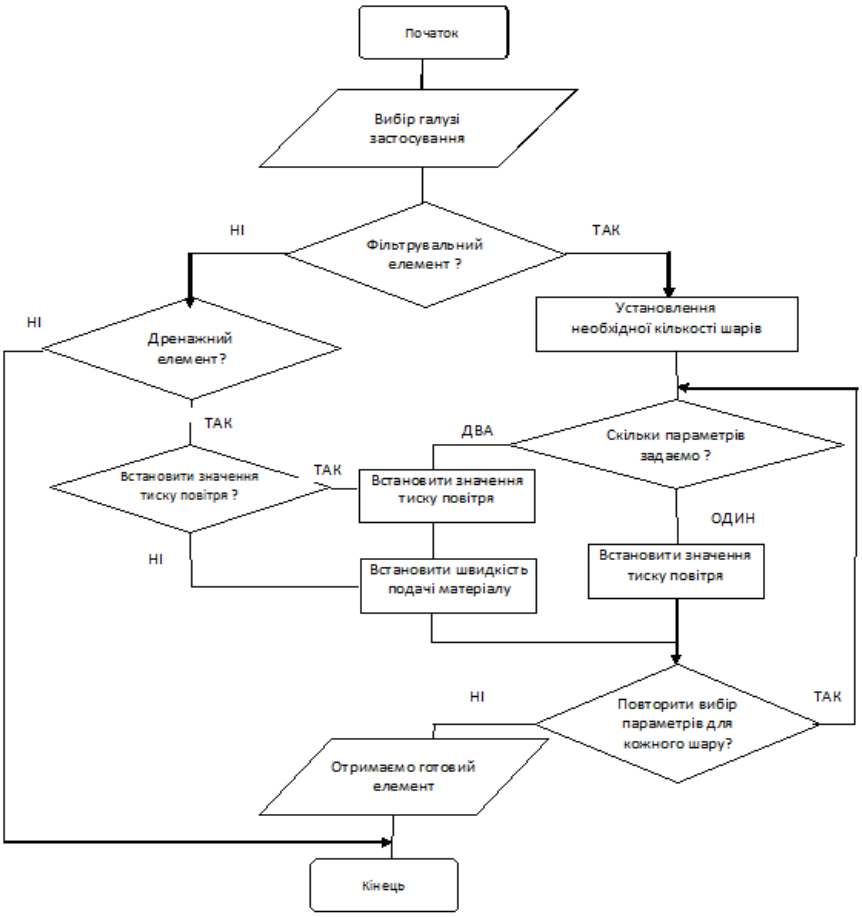


Рис. 8 – Блок-схема алгоритму автоматизованого управління вибором параметрів виробництва

Висновки. В результаті проведених досліджень:

1. Було проаналізовано та виділено основні галузі використання елементів зі «вспіненого» поліпропілену.

2. Проведено класифікацію даних елементів в залежності від основного призначення та рекомендовано необхідну кількість шарів для кожного випадку.

3. Проаналізовано вплив різних вхідних параметрів технологічного процесу виробництва елементів зі «вспіненого» поліпропілену на функції кінцевого продукту.

4. Виділено основні параметри від яких залежить виробництво елементу потрібного типу (або фільтруючий елемент, або дренаж). Основними з них є контроль швидкості подачі розплавленого поліпропілену та тиску при подачі матеріалу на форму.

5. Запропоновані методика та алгоритм автоматизації виробництва, елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, допомагають обрати визначені параметри

В майбутньому планується подальша робота над процесом автоматизації виробництва елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії, проектування компонентів системи з подальшим впровадженням на підприємствах, які займаються виготовленням даних елементів. Тема є актуальною і мало дослідженою в межах даного виробництва в Україні.

Список літератури:

1. *Михеев, В. А.* Автоматизация процессов ОМД [Текст]: учеб. пос. / *В. А. Михеев*; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Самара, 2012.
2. Фильтрующие картриджи: от простого к сложному [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://waternet.ua/news/newsletter/122/
3. *Защепкіна, Н. М.* Аналіз розвитку виробництва фільтрувальних матеріалів [Текст] / *Н. М. Защепкіна, Е. П. Дрегуляс, Н. Р. Конахевич* // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 3. – С. 87–89.
4. Пат. № RU2182509C2 RU. Конструкция фильтра (варианты) и способ фильтрации. МПК BO1D 39/16 (2006.01) [Текст] / *Калбауг Б., Калбауг Б., Дадри Д. Дж., Дадри Д. Дж.*; заявитель и патентообладатель Дональдсон Компани, Инк. – № RU2000109355A; заявл. 29.09.1997; опубл. 20.05.2002, Бюл. № 12. – 5 с.
5. Пат. № 2326716 RU. Фильтровальный элемент для жидких и газовых сред. МПК BO1D 39/16 (2006.01) [Текст] / *Троян Д. А.*; заявитель и патентообладатель ООО Научно-производительная фирма «Рубикон», Частное предприятие «Унифильтр». – № 2006124622/15; заявл. 20.01.2008; опубл. 20.06.2008, Бюл. № 17. – 5 с.
6. *Семенцов, Г. Н.* Розвиток інформаційного забезпечення системи автоматичного антипомпажного захисту та регулювання газоперекачувального агрегату [Текст] / *Г. Н. Семенцов, Л. І. Давиденко* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 4, № 11 (70). – С. 20–24. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26311
7. *Asaulyuk, T.* Examining a change in the properties of coarse wool fiber under the influence of electrical discharge treatment [Text] / *T. Asaulyuk, O. Semeshko, Y. Saribyekova, A. Kunik, S. Myasnykov* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 1 (88). – P. 50–55. doi: 10.15587/1729-4061.2017.108269
8. *Левицький, В. Є.* Структура і властивості композитів на основі поліпропілену та полімер-силікатного модифікатора [Текст] / *В. Є. Ле-*

вицький, А. В. Ганчо, А. С. Масюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – Т. 5, № 6 (53). – С. 54–57. – Режим доступу: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1250/1152

9. *Vecherkovskaya, A.* Comparative analysis of mathematical models forming filter elements [Text] / *A. Vecherkovskaya, S. Popereshnyak* // 2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). – 2017. doi: 10.1109/memstech.2017.7937545
10. *Vecherkovskaya, A.* Mathematical modeling of the process of fluid filtration through a multi-layer filtering element [Text] / *A. Vecherkovskaya, S. Popereshnyak* // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 4, Issue 3 (36). – P. 9–13. doi: 10.15587/2312-8372.2017.109309

Bibliography (transliterated):

1. Miheev, V. A. (2012). Avtomatizaciya processov OMD. Samara.
2. Fil'truyushchie kartridzhi: ot prostogo k slozhnomu. Available at: http://waternet.ua/news/newsletter/122/
3. Zashchepkina, N. M., Drehulias, E. P., Konakhevych, N. R. (2013). Analiz rozvytku vyrobnytstva filtruvalnykh materialiv. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 3, 87–89.
4. Kalbaug, B., Kalbaug, B., Dadri, D. Dzh., Dadri, D. Dzh. (1997). Pat. No. RU2182509C2 RU. Konstrukciya fil'tra (varianty) i sposob fil'tracii. MPK VO1D 39/16 (2006.01). No. RU2000109355A; declareted: 29.09.1997; published: 20.05.2002, Bul. No. 12, 5.
5. Troyan, D. A. (2008). Pat. № 2326716 RU. Fil'troval'nyy element dlya zhidkih i gazovyh sred. MPK VO1D 39/16 (2006.01). No. 2006124622/15; declareted: 20.01.2008; published: 20.06.2008, Bul. No. 17, 5.
6. Sementsov, H. N., Davydenko, L. I. (2014). Development of informative support for automatic antisurge protection system and regulation of gas pumping plant. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (11 (70)), 20–24. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26311
7. Asaulyuk, T., Semeshko, O., Saribyekova, Y., Kunik, A., Myasnykov, S. (2017). Examining a change in the properties of coarse wool fiber under the influence of electrical discharge treatment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (88)), 50–55. doi: 10.15587/1729-4061.2017.108269
8. Levytskyi, V. Ye., Hancho, A. V., Masiuk, A. S. (2011). Structure and properties of composites based on polypropylene and polymer-silicate modifier. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (6 (53)), 54–57. Available at: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1250/1152
9. Vecherkovskaya, A., Popereshnyak, S. (2017). Comparative analysis of mathematical models forming filter elements. 2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). doi: 10.1109/memstech.2017.7937545
10. Vecherkovskaya, A., Popereshnyak, S. (2017). Mathematical modeling of the process of fluid filtration through a multi-layer filtering element. Technology Audit and Production Reserves, 4 (3 (36)), 9–13. doi: 10.15587/2312-8372.2017.109309

Надійшла (received) 11.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Автоматизація виробництва елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії/ Вєчерковська А. С., Поперешняк С. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.116–121. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Автоматизация производства элементов из пористого полипропилена методом пневмоэкструзии/ Вечерковська А. С., Поперешняк С. В. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.116–121. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Automating the production of porous polypropylene elements by pnevmoekstruzii/ Vecherkovskaya A., Popereshnyak S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.116–121. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вєчерковська Анастасія Сергіївна –Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Факультет інформаційних технологій, асистент Кафедри "Програмних систем і технологій", вул. Ванди Василевської, 24, м. Київ, Україна, 04116; e-mail: vecherkovskaia90@gmail.com.

Поперешняк Світлана Володимирівна – Кандидат фізико-математичних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Факультет інформаційних технологій, доцент Кафедри "Програмних систем і технологій", вул. Ванди Василевської, 24, м. Київ, Україна, 04116; e-mail: spopereshnyak@gmail.com.

Вечерковська Анастасия Сергеевна - Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, факультет информационных технологий, асистент Кафедры "Программных систем и технологий", ул. Ванды Василевской, 24, г. Киев, Украина., 04116, e-mail: vecherkovskaia90@gmail.com.

Поперешняк Светлана Владимировна - кандидат физико-математических наук, доцент, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, факультет информационных технологий, доцент Кафедры "Программных систем и технологий", ул. Ванды Василевской, 24, г. Киев, Украина., 04116; e-mail: spopereshnyak@gmail.com.

Vecherkovskaya Anastasia - Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Information Technology, Assistant of the department of Software Systems and Technologies, Vandy Vasilevskaya str, 24, Kyiv, Ukraine, 03058; E-mail: vecherkovskaia90@gmail.com.

Popereshnyak Svitlana - PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Information Technology, Associate Professor of the department of Software Systems and Technologies, Vandy Vasilevskaya str, 24, Kyiv, Ukraine, 04116; e-mail: spopereshnyak@gmail.com.

УДК 614.847.21

И. Ф. ДАДАШОВ, А. А. КОВАЛЁВ

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКИ РАСЧЁТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЖЕКЦИОННОГО АППАРАТА ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ПОЖАРОТУШЕНИИ

Определены тактико-технические требования и предложена конструкция эжекционного аппарата для подачи гранулированного пеностекла для использования в технологии тушении горячих резервуаров хранения легковоспламеняющихся горючих жидкостей с использованием гелеобразующих огнетушащих и огнезащитных составов. Основываясь на известных методиках расчета конструктивных параметров струйных аппаратов, проведён теоретический анализ работы эжекционного аппарата для подачи гранулированного пеностекла предложенной конструкции, а также и предложена методика расчета его конструктивно-технологических параметров, что позволило создать опытно-экспериментальный образец.

Ключевые слова: эжекционный аппарат, производительность, конструкция, методика расчёта, шнековый механизм, расход, диаметр, мощность.

Визначені тактико-технічні вимоги та запропонована конструкція ежекційного апарату для подачі гранульованого піноскла для використання в технології гасіння пожеж на резервуарах зберігання легкозаймистих горючих рідин з використанням гелеобразуючих вогнегасних і вогнезахисних композицій. Базуючись на відомих методиках розрахунку конструктивних параметрів струменевих апаратів, проведений теоретичний аналіз роботи ежекційного апарату для подачі гранульованого піноскла запропонованої конструкції, а також і запропонована методика розрахунку його конструктивно-технологічних параметрів, що дозволило створити його дослідно-експериментальний зразок.

Ключові слова: Ежекційний апарат, продуктивність, конструкція, методика розрахунку, шнековий механізм, витрата, діаметр, потужність.

The problem of extinguishing flammable combustible liquids is one of the most complicated in firefighting these fires cause significant economic and environmental damage and often lead to human casualties. Analysis showed the existing means and methods for extinguishing fires data provide a reasonably good result only for relatively small-size tanks of flammable liquids, combustibles. To extinguish fires data, we previously proposed to use gel-forming fire extinguishing and fire retardant compositions, which represent a binary system consisting of two separately stored and separately - simultaneously supplied formulations. To solve the problem of positive buoyancy layers of gelled compositions, it proposed to use granular foamed glass - non-flammable, non-volatile material, and as a device for supplying the granular foam glass we proposed to use an air ejection apparatus, the supply of foam glass granules via hose lines to the burning surface. The article defines the tactical and technical requirements and the proposed construction of an ejection apparatus for supplying granulated foamed glass. Based on the known methods for calculating the design parameters of jet devices, carried out a theoretical analysis of the ejection apparatus for supplying granulated foamed glass of the proposed design, as well as the design procedure of its structural and technological parameters, thereby creating Experimental sample for laboratory experimental research.

Keywords: ejection apparatus, performance, engineering design, method of calculation, auger mechanism, consumption, diameter, power.

Введение. Ежегодно Украина потребляет более 20 млн. т. нефти и продуктов её переработки [1], что предполагает содержание достаточно большого резервуарного парка страны создающего значительную техногенную и пожарную опасность. Проблема тушения горючих нефтепродуктов является одной из сложнейших в пожаротушении, данные пожары наносят значительный экономический и экологический ущерб и зачастую приводят к человеческим жертвам. Наибольшие трудности представляет тушение пожаров на резервуарах больших объёмов, предназначенных для хранения легковоспламеняющихся горючих жидкостей (ЛГЖ) [2], ликвидация данных пожаров может занимать длительное время даже при полном выполнении всех нормативных требований и правил [3, 4].

При тушении ЛГЖ нужно не только обеспечить прекращение горения, но и создать условия, обеспечивающие длительное недопущение повторного воспламенения. Например, ЛГЖ может самовоспламениться от нагретой стенки или конструкций резервуара. В отличие от тушения большинства твердых горючих материалов создать такие условия только охлаждением поверхности жидкости до температуры окружающей среды практически невозможно, так как температуры воспламенения легкокипящих жидкостей зачастую ниже температуры окружающей среды, поэтому ЛГЖ легко повторно воспламеняются даже от относительно слабых тепловых источников. Исходя из условий проведения пожаротушения, разработка новых и совершенствование существующих способов тушения ЛГЖ проводится исходя из принципа изоляции их поверхности.

В настоящее время, для тушения ЛГЖ наибольшее распространение получили воздушно-механические пены [4], также могут применяться порошковые средства пожаротушения, хладоны, углекислота.

Огнетушащие пены обеспечивают достаточно длительную изоляцию поверхности горючей жидкости от газовой фазы, в которой происходит процесс горения, однако они имеют ряд недостатков:

- малая устойчивость пен обусловленная действием интенсивных тепловых потоков исходящих от пламени горящей жидкости, а также контактом пены с рядом горючих жидкостей, особенно полярных;

- унос пены конвективными потоками продуктов горения;

- пены трудно подать на большие расстояния;

- токсичность и экологическая опасность поверхносно-активных веществ (ПАВ), входящих в состав пенообразователей.

Для порошковых средств и хладонов основной вклад в тушение ЛГЖ вносит эффект ингибирования. Углекислота, применяемая для тушения ЛГЖ, в основном реализует охлаждающе-разбавляющий механизмы прекращения горения.

Анализ существующих средств пожаротушения ЛГЖ, показал, что данные средства и способы обеспечивают достаточно хороший результат в случае относительно небольших по размерам резервуаров с ЛГЖ. Для устранения большинства из перечисленных

недостатков воздушно-механических пен, для тушения ЛГЖ, ранее в наших работах было предложено использовать гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные составы (ГОС) [5, 6].

ГОС представляют собой бинарную систему, состоящую из двух раздельно хранимых и раздельно - одновременно подаваемых составов. Оба состава являются водными растворами, что облегчает их хранение и подачу в зону горения, обеспечивая при этом высокое охлаждающее действие благодаря наличию в их составе воды. Компоненты раствора подобраны таким образом, чтобы при их смешении образовывался нетекучий слой геля.

Здесь также необходимо отметить, что все компоненты ГОС являются веществами нерастворимыми в углеводородных горючих жидкостях. Этот факт важен для переработчиков нефти и нефтепродуктов, так как компоненты предложенной огнетушащей системы не загрязняют соответствующие жидкости, что облегчает их дальнейшую переработку и использование. Однако непосредственно использовать ГОС для тушения горючих жидкостей невозможно, так как гель тонет в большинстве ЛГЖ. Для решения проблемы положительной плавучести гелеобразных слоёв необходимо либо уменьшить плотность гелеобразного слоя, либо подобрать легкий носитель для слоя геля, на котором будет он формироваться.

Попытки получить газонаполненный гель путем совмещения газообразующих реакций и процесса гелеобразования не дали положительных результатов [7]. Несколько лучшие результаты дало нанесение слоя геля на поверхность пены. Однако и в этом случае максимальное время плавучести геля не превышало 15 минут. Положительные результаты дали опыты по формированию слоя геля на поверхности сплошного слоя пористых гранулированных неорганических материалов, таких как вспученные перлит и вермикулит, пеностекло и керамзит [6, 7]. Причём в случае применения некоторых видов пеностекла и керамзита образовавшийся бинарный слой оставался стабильным на поверхности бензина более 10 суток.

На основании анализа комплекса свойств, включающих экономические, экологические и технические параметры, в качестве легкого носителя нами было выбрано гранулированное пеностекло – негорючий, нелетучий материал, разрешенный к использованию как утеплитель в жилищном строительстве. В качестве устройства для подачи гранулированного пеностекла нами предложено использовать воздушный эжекционный аппарат, подающий гранулы пеностекла с помощью рукавных линий на горящую поверхность ЛГЖ.

Анализ литературних данных и постановка проблемы. На основании анализа литературных источников струйные эжекционные аппараты для транспортировки твёрдых сыпучих, различаются по принципу действия: непрерывного и периодического (циклического), а также по способу передачи энергии сухой смеси: пневматические; механические.

Исходя из задач, поставленных перед эжекционным аппаратом подачи пеностекла (ЭАПП), условий проведения пожаротушения ЛГЖ с использованием ГОС и теории эжекционных аппаратов, необходимо провести анализ теории и обосновать конструкцию и методику расчёта конструктивно-технологических параметров ЭАПП удовлетворяющего следующим требованиям:

- Непрерывность действия: может быть достигнута путем введения узла питания, дозирования, ворошения пеностекла в виде винтовой поверхности (шнека).
- Эффективную подачу пеностекла с использованием сжатого воздуха по резинотканевым рукавам-материалопроводам на расстояние до 75 м.: необходимо для обеспечения эффективной подачи и многослойного нанесения пеностекла на горящую поверхность ЛГЖ, проводимую на высоте с использованием спецтехники (автолестница, коленчатый подъёмник). В зависимости от размера фракций пеностекла, внутренний диаметр материалопроводов может быть принят от 38 до 68 мм.
- Малогабаритность: необходимо для удобства размещения, перевозки, быстрого оперативного развёртывания и эффективного использования при минимальном числе задействованных пожарных-спасателей.

В соответствии с вышеизложенным, предлагается конструкция ЭАПП основными элементами которого будут являться (рис. 1): расходный бункер пеностекла; полый шнековый дозатор-питатель; рабочее сопло шнекового дозатора-питателя; приводная часть шнекового дозатора-питателя; ворошитель-питатель пружинного типа; конфузор; камера смешения (разгонная трубка); дифузор; фланец подключения рукавной линии материалопровода.

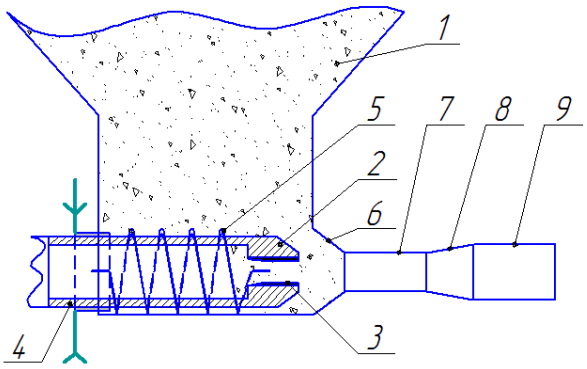


Рис. 1 – Схема эжекционной установки: 1 – расходный бункер пеностекла; 2 – полый шнековый дозатор-питатель; 3 – рабочее сопло шнекового дозатора-питателя; 4 – приводная часть шнекового дозатора-питателя; 5 – ворошитель- питатель пружинного типа; 6 – конфузор; 7 – камера смешения (разгонная трубка); 8 – дифузор; 9 – фланец подключения рукавной линии материалопровода

Непосредственная работа ЭАПП заключается в следующем: В расходный бункер загружается гранулированное пеностекло. Подача гранулированного пеностекла в конфузору осуществляет шнековый дозатор-питатель, который получает осевое вращение при помощи понижающей механической передачи, установленной на приводной части шнекового дозатора-питателя, приводимой во вращение пневматиче-

ским двигателем, при этом приводная часть шнекового дозатора-питателя жестко связана с ворошителем-питателем пружинного типа.

Подача сжатого воздуха с давлением примерно 0,5 Мпа осуществляется пневматическим компрессором через полый шнековый дозатор-питатель в эжекционную смесительную камеру, при этом гранулы пеностекла, приведенные во взвешенное состояние ворошителем-питателем, направляются к конфузору. Ввиду наличия разрежения в конфузоре, гранулы пеностекла засасывается в смесительную камеру и далее транспортируется по материалопроводу к зоне горения ЛГЖ. Необходимо учесть, что устойчивый режим работы ЭАПП во многом будет зависеть от чистоты, фракционного состава и влажности пеностекла, которая не может превышать 4...5 %.

Цель работы: провести теоретический анализ работы ЭАПП предложенной конструкции для использования при тушении горячих резервуаров ЛГЖ с использованием ГОС и предложить методику расчёта его конструктивно-технологических параметров.

Теоретический анализ работы и определение конструктивно-технологических параметров эжекционного аппарата подачи гранулированного пеностекла. Эффективность работы ЭАПП будет зависеть от физико-механических параметров сухой смеси пеностекла и условий ее подачи, которые в свою очередь зависят от конструктивных параметров узлов машины. Поэтому при проектировании ЭАПП, наряду с определением типа энергоносителя, необходимо рассчитывать конструктивные и режимные параметры ЭАПП.

Известен ряд работ посвященных систематизации методов расчета струйных аппаратов, где был дан вывод зависимостей для определения основных размеров струйного аппарата при заданных расчетных условиях [8–11]. В большинстве опубликованных работ, рассматриваются потоки, смешиваемые в аппаратах, которые находятся в одной и той же фазе и значительно меньше посвящено работ исследованиям потоков в разных фазах, например, сжатый воздух – твердое тело при транспортировании по материальным трубопроводам на некоторую дальность.

В работах [12–16] под руководством авторов проведены теоретические и экспериментальные исследования большинства типов струйных аппаратов, применяющихся на практике, а также приводятся методики расчета основных размеров струйных аппаратов и вывод уравнений для определения их рабочих характеристик. Исследования показали, что расчет струйных аппаратов с цилиндрической камерой смешения и работающих с потоками сред находящихся в одной фазе, можно полностью базировать на теоретических уравнениях, где опытными величинами являются коэффициенты скорости проточной части. Для аппаратов с различным агрегатным состоянием рабочего и эжектируемого потоков необходимо применять уравнения, частично построенные на эмпирических зависимостях.

Для проведения натурных испытаний технологии тушения горячих резервуаров ЛГЖ с использованием ГОС, необходимо создать масштабную экспериментальную модель ЭАПП, для этого требуется произвести расчет следующих конструктивных параметров ЭАПП: объемный и весовой расход энергоносителя, диаметр рабочего сопла подачи энергоносителя в эжектор, диаметр камеры смешения, длина свободной струи, от срезанного сопла до начала камеры смешения, а также произвести расчёт винтового шнекового механизма подачи частиц пеностекла.

Методику расчета конструктивных параметров ЭАПП целесообразно основывать на методиках расчета конструктивных параметров струйных аппаратов предложенных основоположниками теорий эжекционной подачи сухих материалов профессорами А. Я. Милевичем, Г. Н. Абрамовичем, Б. Э. Фридманом, В. И. Акуновым и др. Исходными условиями и данными для расчёта ЭАПП будут являться:

1. Требуемая производительность ЭАПП ($П_м$) – из условий проведения пожаротушения горящих ЛГЖ подача пеностекла должна составлять 10 $м^3$/мин. т. к. целесообразно создать на горящей поверхности ЛГЖ слой пеностекла толщиной от 30 мм. до 60 мм., при средней площади зеркала ЛГЖ 400,1 $м^2$ (в качестве среднего значения площади зеркала ЛГЖ принят резервуар РВС-5000).

2. Параметры энергоносителя – в качестве энергоносителя принят сжатый атмосферный воздух.

На основании анализа работ [10, 17–20], можно предложить следующий расчёт параметров энергоносителя используемого в ЭАПП.

Объемный расход энергоносителя:

$$Q = 1{,}88\ П_О \quad (1)$$

где $П_О$ – объёмная подача сухого материала $м^3$ /мин, 1,88 – эмпирический коэффициент

Весовой расход энергоносителя:

$$G_В = 1{,}45\ П_В \quad (2)$$

где $П_В$ – весовая подача сухого материала кг/мин, 1,45 – эмпирический коэффициент

Диаметр рабочего сопла подачи энергоносителя в эжектор [21]:

$$d_{Св} = 0{,}475\sqrt{G} \quad (3)$$

где $G_В$ – Весовой расход энергоносителя, 0,475 – эмпирический коэффициент

Диаметр камеры смешения:

$$d_{КС} = 1{,}62\sqrt{П_м} \quad (4)$$

где $П_м$ – производительность ЭАПП, 1,62 – эмпирический коэффициент

Длина камеры смешения по Б. Э. Фридману и В. И. Акунову:

$$L_{КС} = d_c,$$
$$L_{КС} = 122 + 2{,}36 \cdot (d_{КС} - d_C) \quad (5)$$

где $L_{КС}$ – длина камеры смешения; d_c – диаметр рабочего сопла; $d_{КС}$ – диаметр камеры смешения; 122 и 2,36 – эмпирические коэффициенты.

Длина свободной струи, от срезанного сопла до начала камеры смешения, по А. Я. Милевичу равна:

$$A = 6 \cdot d_C \quad (6)$$

где dc – диаметр рабочего сопла; 6 – эмпирический коэффициент

Длина цилиндрической части камеры смешения:

$$L_{ЦС} = 5…6\ d_c, \quad (7)$$

где dc – диаметр рабочего сопла

Полуугол разлета воздушной струи из рабочего сопла шнекового дозатора-питателя:

$$\alpha = K \cdot (1 \pm \frac{d_c}{V}) \quad (8)$$

где d_c – диаметр рабочего сопла; V – скорость воздушного потока; K – коэффициент, зависящий от конструктивно-геометрических параметров сопла: при истечении цилиндрической струи K = 0,9; при истечении ассиметричной струи из сопла K = 0,8; при истечении конической осесимметричной струи из сопла: K=1,4.

Длина начального участка (потенциального ядра) свободной струи согласно расчётам равна:

$$l_н = \frac{d_c}{2\ tg\alpha_1} \approx (1....1,5)\ d_C \quad (9)$$

где d_c – диаметр рабочего сопла; α – полуугол разлета воздушной струи из рабочего сопла шнекового дозатора-питателя

Конструктивное требование непрерывности действия ЭАПП может быть достигнуто при использовании шнекового механизма, который совмещает во времени транспортирование фракций пеностекла в воздушную камеру смешения и при этом разделяет зону высокого давления от атмосферного, т.е. образуется перепад давления между системой питания и транспортирования.

В предложенной конструкции ЭАПП, фракции пеностекла выходят из корпуса цилиндрического шнека сплошным цилиндром (пробка), который необходимо разрыхлить, привести во взвешенное состояние, что способствует транспортированию смеси гранул пеностекла по материалопроводу. Противодавление сжатого воздуха в смесительной камере, обеспечивается «пробковым» механизмом, который разделяет зону высокого давления от атмосферного. Данный процесс достаточно подробно описан в работах Быкова П.Н. и других исследователей [22, 23].

В классической конструкции эжекционного аппарата, как такового «пробкового» механизма не существует, поэтому для организации транспортирования пенотекла на требуемую дальность, возможным технологическим решением также является организация работы эжекционного узла под давлением дополнительно подводимого сжатого воздуха [24, 25]. Данная конструкционная схема предполагает на наш взгляд усложнение конструкции ЭАПП, за счёт наличия закрытого бункера пеностекла, что в свою очередь не допускает непрерывность действия. Рассмотренное техническое решение, также не может быть оправдано, т.к. при транспортных материальных трубопроводах диаметром 38...50 мм достигнуть дальности подачи пеностекла более 15 м практически невозможно при давлении сжатого воздуха 0,3. ..0,5 МПа.

Поэтому для транспортирования сухих компонентов смеси с объемной плотностью готового продукта 400...600 кг/м^3 и менее, наиболее рациональным техническим решением, является размещение в эжекционной камере ЭАПП специального ворошителя-питателя, способствующего поддержанию пеностекла во взвешенном состоянии и подаче (транспортированию) его через конфузор и разгонную трубку.

Для организации максимально эффективной работы ЭАПП, также требуется решение задачи по установлению взаимосвязи механического ворошителя-питателя с эжектором по производительности. В противном случае возможно запирание эжектора или работа ЭАПП с недогрузом. Для этого рассмотрим методику расчета винтового шнекового механизма ЭАПП.

Методику расчёта конструктивных параметров ворошителя-питателя пружинного типа ЭАПП, целесообразно основывать на известных методах расчета винтовых шнековых механизмов, так в работе [26] приводится теоретически обоснованная методика расчета мощности, потребляемой винтовым конвейером. Эта методика основывается на зависимостях, полученных при рассмотрении движения материальной частицы, опирающейся на винтовую поверхность и прижатую к стенке кожуха. Рассматривается общий случай – расположения оси винтового конвейера под углом к горизонту [27–29]. Данная теория расчета винтового шнекового механизма рассматривается применительно к конструкции винтового конвейера с неподвижным кожухом и подвижной винтовой поверхностью. Автором получена система дифференциальных уравнений, которая описывает неравномерное движение с изменяющейся угловой скоростью движения частицы относительно винтовой поверхности.

$$\left\{\begin{array}{l} N_b \cos\alpha - f_b N_b \sin\alpha - ma\left(\frac{d^2\phi r}{dt^2}\right) - mg\ \cos\gamma - f_K N_K \sin\beta = 0 \\ mg\ \cos\gamma \sin\varepsilon + f_k N_k \cos\beta - f_b N_b\ \cos\alpha - N_b \sin\alpha - mR\left(\frac{d^2\phi r}{dt^2}\right) = 0 \\ mg\ \cos\gamma \cos\varepsilon + mRw_0^2 + mR\left(\frac{d\phi r}{dt}\right)^2 - N_k - 2mRw_0\left(\frac{d\phi r}{dt}\right) = 0 \end{array}\right\} \quad (11)$$

где N_b , Nk – нормальные реакции винтовой поверхности и кожуха соответственно, Н; f_b, f_k – коэффициенты трения сухой смеси о винтовую поверхность и о внутреннюю поверхность камеры смешения, соответственно; R – наружный радиус винтовой поверхности, м; ω_0 – угловая скорость вращения винтовой поверхности, рад/с.; m — масса материальной частицы, кг; $\alpha = arctg\frac{S}{2\pi\ r}$ – угол подъема винтовой линии по радиусу r, град; S – шаг винтовой поверхности, м; φr – угол проскальзывания (угол, на который отклоняется материальная частица относительно винтовой по-

верхности при вращении ее с постоянной скоростью w_0), град; ε – угол, определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости, град; γ – угол наклона оси вала конвейера к вертикали, град; α = R tg α – параметр конвейера, град; β – угол между векторами переносной и абсолютной скоростей, град.

Отмечается, что решение данной системы дифференциальных уравнений в общем виде не может быть найдено, на основании приведенных расчетов, осуществленных численными методами, автор утверждает, что неустановившееся движение в конвейере (с изменяющейся угловой скоростью абсолютного движения) является кратковременным. Уже по истечении нескольких секунд или долей секунд движение становится устойчивым, с постоянными значениями средней осевой скорости и абсолютной угловой скорости вращательного движения.

При этом угловая скорость относительного движения материальной частицы определяется выражением:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\phi_0 \cos\alpha \sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)} = const \qquad (12)$$

где α – угол подъема винтовой линии по радиусу *r*, град; β – угол между векторами переносной и абсолютной скоростей, град.

Из системы уравнений следует, что нормальные реакции винтовой поверхности N_b и *Nk* кожуха равны

$$N_b = \frac{mg(\sin\gamma \sin\varepsilon \sin\beta - \cos\gamma \cos\beta)}{f_b \sin(\alpha+\beta) - \cos(\alpha+\beta)} \qquad (13)$$

$$N_k = \frac{mg(\sin\gamma \sin\varepsilon \sin\beta - \cos\gamma \cos\beta)(\cos\alpha - f_b \cos\alpha)}{f_k \sin\beta\,(f_b \sin(\alpha+\beta) - \cos(\alpha+\beta))} - \frac{mg\cos\gamma}{f_2 \sin\beta} \qquad (14)$$

где *fb, fk* – коэффициенты трения сухой смеси о винтовую поверхность и о внутреннюю поверхность камеры смешения, соответственно; *m* – масса материальной частицы, кг; $\alpha = arctg\frac{S}{2\pi r}$ – угол подъема винтовой линии по радиусу *r*, град; ε – угол, определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости, град; γ – угол наклона оси вала конвейера к вертикали, град; α = R tg α – параметр конвейера, град; β – угол между векторами переносной и абсолютной скоростей, град.

Представленные зависимости соответствуют горизонтальному положению конвейера при γ = 90°.

В соответствии с теоретическим походом и методикой расчёта мощности винтового шнекового механизма, затрачиваемой на перемещение сухой смеси предложенной профессором Григорьевым А.М., суммарная мощность, винтового шнекового механизма ЭАПП определяется следующим выражением:

$$P = P1 + P2 + P3. \qquad (15)$$

где Р1 – мощность требуемая на преодоление сил инерции, возникающих при изменении скорости движения сухой смеси от 0 до V_a (где V_a – абсолютная скорость движения сухой смеси, м/с); Р2 – мощность требуемая на преодоление сил трения сухой смеси о внутреннюю поверхность смесительной камеры; Р3 – мощность требуемая на перемещение груза вдоль оси винта и преодоление сил трения о винтовую поверхность.

Составляющие определяются выражениями:

$$P_1 = \frac{QV_a^2}{270g} \qquad (16)$$

где *Q* – производительность конвейера, т/ч.; V_a – абсолютная скорость движения сухой смеси, м/с

$$P_2 = \frac{f_k N_k V_a}{75} \qquad (17)$$

где *fk* – коэффициенты трения сухой смеси о внутреннюю поверхность камеры смешения; N_k – нормальная реакция поверхности кожуха; V_a – абсолютная скорость движения сухой смеси, м/с

$$P_3 = \frac{F_{ЦД} D_{ЦД}(w_0 - w_2)}{150} + \frac{F_0 D_{ЦД}(w_0 - w_2)}{150} \qquad (18)$$

где $F_{ЦД} = mg\sin\delta\, tg(\alpha_0 + \phi_1)$ – движущая сила, касательная к окружности, проходящей через центр давления груза на винтовую поверхность, Н; $F_0 = N_k \sin\theta\, tg(\alpha_0 + \phi_1)$ – окружная сила на наружной кромке винта, Н; $w_2 = \frac{2V_2}{D}$ – угловая скорость движения груза, рад/с; $D_{цд}$ = (0,7 – 0,8) *D* – диаметр окружности, проходящей через центр давления груза на винтовую поверхность шнека, м, где *D* – наружный диаметр винтовой поверхности, м; *m* – масса груза, находящегося в кожухе конвейера, кг; δ – угол наклона оси конвейера к горизонту, град; f_2 – коэффициент трения;

Угол подъема винтовой линии, проходящей через центр давления груза на винтовую поверхность шнека ($\alpha_{ЦД}$) и угол трения груза о поверхность шнека (ϕ_b) можно установить по следующим зависимостям:

$$\alpha_{ЦД} = arctg\frac{S}{\pi D_{ЦД}}, \text{ град;}$$

$$\phi_b = arctg\ f_b\ -, \text{ град.}$$

Таким образом, можно предложить следующую зависимость для расчета конструктивных параметров ворошителя-питателя пружинного типа ЭАПП, базируется на существующих методиках расчета винтового шнекового механизма [30-32].

Мощность на валу винтового ворошителя-питателя:

$$P = \frac{Q_{BK}}{367} \cdot (LW + H), \text{ кВт} \qquad (19)$$

где Q_{BK} – производительность винтового конвейера, т/ч;, *L* – длина транспортирования, м; *W* – коэффициент сопротивления движению, м; *H* – высота подъема груза, м.

Значение коэффициента *W* рекомендуется принимать в пределах от 1,5 до 4. Значение *W* = 4 следует принимать для тяжелых абразивных материалов, таких как цемент, гипс, шамот, известь, песок; для пе-

ностекла значение $W = 1 – 1,5$.

В результате теоретической проработки тактико-технических требований и конструкции ЭАПП, автором создан опытно-экспериментальный образец ЭАПП

Рис. 2 – Опытно-экспериментальный образец ЭАПП

Обсуждение результатов исследования теории работы и определения конструктивно-технологических параметров ЭАПП. Проведенный в статье анализ существующих методик расчета конструктивных параметров эжекционных аппаратов показал, что известные методики расчетов во многом базируется на экспериментальных данных и не учитывают физико-механических свойств транспортируемого материала, поэтому для дальнейшего проведения исследований конструкции и схем работы ЭАПП, необходимо провести экспериментальные исследования работы созданного автором опытно-экспериментального образца ЭАПП. Полученные, в лабораторных условиях, результаты экспериментальных исследований работ4ы опытно-экспериментального образца ЭАПП и анализ их результатов, позволит проверить и при необходимости уточнить полученные автором аналитические зависимости работы ЭАПП.

Учитывая применение ЭАПП для целей пожаротушении, научный и практический интерес также вызывает пропорциональный состав и поведение двухфазного воздушноматериального потока «воздух-пеностекло» при его движении по рукавным материалопроводам, а также при подаче на горящую поверхность ЛГЖ, что требует проведения дальнейших аналитических и эксперементальных исследований.

Таким образом, для дальнейшей проработки конструкции ЭАПП необходимо получить результаты экспериментальных исследований работы опытно-экспериментального образца ЭАПП, на которых будет основываться создание опытно-промышленного абзаца ЭАПП, что в свою очередь позволит провести его натурные экспериментальные исследования в условиях пожаротушения ЛГЖ.

Выводы

1. Для тушения горючих жидкостей предложено использовать гелеобразующие огнетушащие системы, при этом в качестве лёгкого носителя, обеспечивающего плавучесть огнетушащего слоя геля на поверхности горючей жидкости, предложено использовать экологически безопасный материал – гранулированное пеностекло.

2. Исходя из поставленных задач и условий проведения пожаротушения с использованием ГОС определены требования к конструкции ЭАПП, при этом установлено, что подача пеностекла должна составлять не менее 10 $м^3$/мин..

3. Разработана конструкция ЭАПП и методика расчёта её конструктивно-технологических параметров: объемный расход энергоносителя; весовой расход энергоносителя; диаметр рабочего сопла подачи энергоносителя в эжектор; диаметр камеры смешения; длина свободной струи, от срезанного сопла до начала камеры смешения; параметры винтового шнекового механизма

4. Недостаточная изученность механики процессов, происходящих при движении компонентов сухой смеси как в ЭАПП, так и в системе материалопроводов, а также ограниченный объем и номенкла-

тура методик вызывает необходимость проведения дополнительных аналитических и экспериментальных исследований ЭАПП. Что позволит эффективнее решать вопросы тушения резервуаров ЛГЖ в достаточно сложных условиях при выполнении работ в труднодоступных местах, где габаритные размеры ЭАПП имеют одно из важных значений.

Список литературы:

1. Статистический ежегодник «Украина в цифрах» [Текст]. – Государственный комитет статистики Украины. – К., 2014. – 600 с.
2. *Шараварников, А. С.* Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] / *А. С. Шараварников, В. П. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шараварников.* – М.: Калан, 2002. – 448 с.
3. *Антонов, А. В.* Вогнегасні речовини [Текст]: посібник / *А. В. Антонов, В. О. Боровиков, В. П. Орел та ін.* – К.: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
5. *Боровиков, В*. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів [Текст] / *В. Боровиков* // Пожежна та техногенна безпека. – 2015. – № 11 (26). – С. 28–29.
6. *Дадашов, И. Ф.* Моделирование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам горючих жидкостей [Текст] / *И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев, А. Я. Шаршанов, А. А. Чернуха* // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. – Вып. 40. – С. 78–83.
7. *Дадашов, И. Ф.* Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путем использования гелеобразующих средств [Текст] / *И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев* // Proceedings of Azerbaijan state marine academy. – 2016. – № 2. – С. 72–76.
8. *Дадашов, И. Ф.* Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении [Текст] / *И. Ф. Дадашов, Л. А. Михеенко, А. А. Киреев* // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – № 2 (31). – С. 44–51.
9. *Аронс, Г. А.* Струйные аппараты [Текст] / *Г. А. Аронс*. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 269 с.
10. *Каменев, П. Н*. Гидроэлеваторы в строительстве [Текст] / *П. Н. Каменев*. – М.: Стройиздат, 1970. – 169 с.
11. *Келлер, С. Ю*. Инжекторы [Текст] / *С. Ю. Келлер*. – М.: Машгиз, 1976. – 208 с.
12. *Шумелишский, М. Г.* Эжекторные холодильные машины [Текст] / *М. Г. Шумелишский*. – М.: Госторгиздат, 1961. – 261 с.
13. *Берман, Л. Д.* К выбору рационального профиля проточной части струйного аппарата [Текст] / *Л. Д. Берман* // Изв. ВТИ. – 1976. – № 3. – С. 13–18.
14. *Берман, Л. Д.* Экспериментальное исследование водоструйного эжектора [Текст] / *Л. Д. Берман, Г. Н. Ефимочкин* // Теплоэнергетика. – 1968. – № 9. – С. 9–14.
15. *Берман, Л. Д.* Расчетные зависимости для водоструйных эжекторов [Текст] / *Л. Д. Берман, Г. Н. Ефимочкин* // Теплоэнергетика. – 1964. – № 7. – С. 44–48.
16. *Берман, Л. Д.* Влияние длины камеры смешения на режим работы и экономичность водоструйного эжектора [Текст] / *Л. Д. Берман,*
17. *Г. Н. Ефимочкин* // Теплоэнергетика. – 1978. – № 12. – С. 66–71.
18. *Каменев, П. Н.* Гидроэлеваторы в строительстве [Текст] / *П. Н. Каменев.* – М.: Стройиздат, 1970. – 169 с.
19. *Акунов, В. И.* Струйные мельницы. Элементы теории и расчета [Текст] / *В. И. Акунов*. – М.: Машгиз, 1962. – 264 с.
20. *Абрамович, Г. Н.* Турбулентное смешение газовых струй [Текст] / *Г. Н. Абрамович.* – М.: Наука, 1974. – 287 с.
21. *Аронс, Г. А.* Струйные аппараты [Текст] / *Г. А. Аронс*. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 269 с.
22. *Абрамович, Г. Н.* Прикладная газовая динамика [Текст] / *Г. Н. Абрамович*. – М.: Наука, 1979. – 824 с.
23. *Дилгер, У.* Оборудование для механизации и переработки сухих и строительных смесей «М-тес» [Текст] / *У. Дилгер* // Строительные материалы. – 2005. – № 1. – С. 62–63.
24. *Гастерштад, Т. И*. Пневматический транспорт [Текст] / *Т. И. Гастерштад*. – Л.: изд. Сев. Зап. обл. промбюро ВСНЗ, 1927. – 126 с.
25. *Гринев, К. М.* Пневматический транспорт в цементной промышленности [Текст] / *К. М. Гринев, М. И. Крашенников, А. П. Кротков*. – М.: Промстройиздат, 1981. – 183 с.
26. Пат. № 2117123 C1 Российская Федерация. Торкрет-машина с непрерывной загрузкой. МПК 6E04 F21/12 [Текст] / *Азимов Ф. И., Абдуллин К. Ф.*; заявитель и патентообладатель Казань. Казан, гос. архит.-строит. академия. – № 96112501/03; заявл. 19.06.1996, опубл. 08.10.1998, Бюл. № 30. – 3 с.
27. Пат. № 2140504 C1 Российская Федерация. Торкрет-машина. МПК 6E04 F21/12 [Текст] / *Азимов Ф. И., Азимов Ю. И., Абдуллин К. Ф.*; заявитель и патентообладатель Казань. Казан, гос. архит.-строит. академия. – № 97111597/03; заявл. 14.07.1997; опубл. 27.10.1999, Бюл. № 28. – 4 с.
28. *Григорьев, А. М.* Винтовые конвейеры [Текст] / *А. М. Григорьев*. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
29. *Башкатов, Д. Н.* Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин [Текст] / *Д. Н. Башкатов*. – М.: Недра, 1968. – 192 с.
30. *Григорьев, А. М.* Элементы теории винтовых конвейеров [Текст] / *А. М. Григорьев* // Труды КХТИ. – 1957. – Вып. 22. – С. 40–43.
31. *Гутъяр, Е. М.* Элементарная теория вертикального винтового транспортера [Текст] / *Е. М. Гутьяр*. – М.: Труды (МИМЭСХ) Московского ин. механизации и электрификации сельского хозяйства, 1968. – 186 с.
32. *Григорьев, А. М.* К исследования горизонтального шнека [Текст] / *А. М. Григорьев* // Труды КХТИ. – 1957. – Вып. 22. – С. 18–24.
33. *Никифоров, М. Е.* О работе шнека с горизонтальной и наклонной осями [Текст] / *М. Е. Никифоров* // Труды КХТИ. – 1967. – Вып. 23. – С. 14–16.
34. *Никифоров, М. Е.* К вопросу о теории вертикального шнека [Текст] / *М. Е. Никифоров, А. М. Григорьев* // Торфяная промышленность. – 1988. – № 1. – С. 16–20.

Bibliography (transliterated):

1. Statisticheskiy ezhegodnik «Ukraina v cifrah» (2014). Gosudarstvenniy komitet statistiki Ukrainy. Kyiv, 600.
2. Sharavarnikov, A. S., Molchanov, V. P., Voevoda, S. S., Sharavarnikov, S. A. (2002). Tushenie pozharov nefti i nefteproduktov. Moscow: Kalan, 448.
3. Antonov, A. V., Borovykov, V. O., Orel, V. P. et. al. (2004). Vohnehasni rechovyny. Kyiv: Pozhinformtekhnika, 176.
4. Borovykov, V. (2015). Hasinnia pozhezh u rezervuarakh dlia zberihannia nafty ta naftoproduktiv. Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka,11 (26), 28–29.
5. Dadashov, I. F., Kireev, A. A., Sharshanov, A. Ya., Chernuha, A. A. (2016). Modelirovanie izoliruyushchih svoystv geleobraznogo sloya po otnosheniyu k param goryuchih zhidkostey. Problemy pozharnoy bezopasnosti, 40, 78–83.
6. Dadashov, I. F., Kireev, A. A. Povyshenie effektivnosti tusheniya goryuchih zhidkostey v rezervuarah putem ispol'zovaniya geleobrazuyushchih sredstv. Proceedings of Azerbaijan state marine academy, 2, 72–76.
7. Dadashov, I. F., Kireev, A. A. Vybor legkogo silikatnogo nositelya dlya gelevogo ognetushashchego sloya pri pozharotushenii. Keramika: nauka i zhizn', 2 (31), 44–51.
8. Arons, G. A. (1948). Struynye apparaty. Moscow: Gosenergoizdat, 269.
9. Kamenev, P. N. (1970). Gidroelevatory v stroitel'stve. Moscow: Stroyizdat, 169.
10. Keller, S. Yu. (1976). Inzhektory. Moscow: Mashgiz, 208.
11. Shumelishskiy, M. G. (1961). Ezhektornye holodil'nye mashiny. Moscow: Gostorgizdat, 261.
12. Berman, L. D. (1976). K vyboru racional'nogo profilya protochnoy chasti struynogo apparata. Izv. VTI, 3, 13–18.
13. Berman, L. D., Efimochkin, G. N. (1968). Eksperimental'noe issledovanie vodostruynogo ezhektora. Teploenergetika, 9, 9–14.

14. Berman, L. D., Efimochkin, G. N. (1964). Raschetnye zavisimosti dlya vodostruynyh ezhektorov. Teploenergetika, 7, 44–48.
15. Berman, L. D., Efimochkin, G. N. (1978). Vliyanie dliny kamery smesheniya na rezhim raboty i ekonomichnost' vodostruynogo ezhektora. Teploenergetika, 12, 66–71.
16. Kamenev, P. N. (1970). Gidroelevatory v stroitel'stve. Moscow: Stroyizdat, 169.
17. Akunov, V. I. (1962). Struynye mel'nicy. Elementy teorii i rascheta. Moscow: Mashgiz, 264.
18. Abramovich, G. N. (1974). Turbulentnoe smeshenie gazovyh struy. Moscow: Nauka, 287.
19. Arons, G. A. (1948). Struynye apparaty. Moscow: Gosenergoizdat, 269.
20. Abramovich, G. N. (1979). Prikladnaya gazovaya dinamika. Moscow: Nauka, 824.
21. Dilger, U. (2005). Oborudovanie dlya mekhanizacii i pererabotki suhih i stroitel'nyh smesey «M-tec». Stroitel'nye materialy, 1, 62–63.
22. Gastershtad, T. I. (1927). Pnevmaticheskiy transport. Leningrad: izd. Sev. Zap. obl. prombyuro ВСН3, 126.
23. Grinev, K. M., Krashennikov, M. I., Krotkov, A. P. (1981). Pnevmaticheskiy transport v cementnoy promyshlennosti. Moscow: Promstroyizdat, 183.
24. Azimov, F. I., Abdullin, K. F. (1996). Pat. No. 2117123 C1 Rossiyskaya Federaciya. Torkret-mashina s nepreryvnoy zagruzkoy. MPK 6E04 F21/12. No. 96112501/03; declareted: 19.06.1996, published: 08.10.1998, Bul. No. 30, 3.
25. Azimov, F. I., Azimov, Yu. I., Abdullin, K. F. (1997). Pat. No. 2140504 C1 Rossiyskaya Federaciya. Torkret-mashina. MPK 6E04 F21/12. No. 97111597/03; zayavl. 14.07.1997; opubl. 27.10.1999, Bul. No. 28, 4.
26. Grigor'ev, A. M. (1972). Vintovye konveyery. Moscow: Mashinostroenie, 184.
27. Bashkatov, D. N. (1968). Vrashchatel'noe shnekovoe burenie geologorazvedochnyh skvazhin. Moscow: Nedra, 192.
28. Grigor'ev, A. M. (1957). Elementy teorii vintovyh konveyerov. Trudy KHTI, 22, 40–43.
29. Gut'yar, E. M. (1968). Elementarnaya teoriya vertikal'nogo vintovogo transportera. Moscow: Trudy (MIMESKH) Moskovskogo in. mekhanizacii i elektrifikacii sel'skogo hozyaystva, 186.
30. Grigor'ev, A. M. (1957). K issledovaniya gorizontal'nogo shneka. Trudy KHTI, 22, 18–24.
31. Nikiforov, M. E. (1967). O rabote shneka s gorizontal'noy i naklonnoy osyami. Trudy KHTI, 23, 14–16.
32. Nikiforov, M. E., Grigor'ev, A. M. (1988). K voprosu o teorii vertikal'nogo shneka. Torfyanaya promyshlennost', 1, 16–20.

Поступила (received) 12.12. 2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Обгрунтування конструкції і методики розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ежекційного апарату застосовуваного при пожежогасінні/ Дадашов І. Ф. Ковальов О. О. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.122–129. – Bibliogr.:32. – ISSN 2079-5459

Обоснование конструкции и методики расчёта конструктивно-технологических параметров эжекционного аппарата применяемого при пожаротушении/ Дадашов И. Ф. Ковалёв А. А. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.122–129. – Bibliogr.:32. – ISSN 2079-5459

Substantiation of the design and methodology for calculating the design and technological parameters of the ejection apparatus used in fire extinguishing/ Dadashov I. Kovalev A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.122–129. – Bibliogr.:32. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковалёв Александр Александрович **–** кандидат технических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, доцент кафедры «Инженерной и аварийно-спасательной техники»; ул. Чернышевского 94, г. Харьков, 61023, e-mail:mralexkovalev@gmail.com.

Ковальов Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри «Інженерної та аварійно-рятувальної техніки»; вул. Чернишевського 94, м. Харків, 61023, e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

Kovalyov Alexander Aleksandrovich – PhD, National university of civil defense of Ukraine, associate professor of the department Engineering and emergency rescue equipment; str. Chernyshevsky 94, Kharkov, 61023, e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

Дадашов Ильгар Фарид **–** кандидат технических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, докторант кафедры «Специальной химии и химической технологии»; ул. Чернышевского 94, г. Харьков, 61023, e-mail:mralexkovalev@gmail.com.

Дадашов Ільгар Фарід – кандидат технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, докторант кафедри «Спеціальної хімії та хімічної технології, вул. Чернишевського 94, м. Харків, 61023, e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

Dadashov Ilgar Farid – PhD, National university of civil defense of Ukraine, doctoral candidate of the department «Special Chemistry and Chemical Technology»; str. Chernyshevsky 94, Kharkov? 61023, e-mail: mralexkovalev@gmail.com.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 614.8

Р. І. ШЕВЧЕНКО

ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ СКОРОЧЕННЯ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ МІСЦЕВОГО РІВНЯ ПОШИРЕННЯ

В роботі розглянуто процес формування математичної моделі організаційно-технічного методу скорочення негативних наслідків надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру. В ході якого проведена формалізація параметрів та формування низки припущень, що дозволило визначити еквіваленту схему інформаційно-комунікативного взаємовпливу процесів поширення негативних наслідків НС МБ характеру та розробити відповідну трьохфакторну імітаційну математичну модель залежності кількості загиблих та числа жертв у наслідок НС МБ характеру міського рівня.

Ключові слова: організаційно-технічний метод, наслідки надзвичайних ситуацій, медико-біологічні небезпеки

В работе рассмотрен процесс формирования математической модели организационно-технического метода сокращения негативных последствий чрезвычайных ситуаций медико-биологического характера. В ходе которого проведена формализация параметров и формирование ряда предположений, что позволило определить эквивалента схему информационно-коммуникативного взаимовлияния процессов распространения негативных последствий ЧС МБ характера и разработать соответствующую трехфакторная имитационную математическую модель зависимости количества погибших и числа жертв в результате НС МБ характера городского уровня.

Ключевые слова: организационно-технический метод, последствия чрезвычайных ситуаций, медико-биологические опасности

The paper considers the process of forming a mathematical model of organizational and technical method for reducing the negative consequences of emergency situations of medical and biological character. In the course of which the formalization of parameters and the formation of a number of assumptions were made, which allowed to determine the equivalent of the scheme of information and communication interaction of the processes of spreading the negative consequences of emergency situations of medical and biological character and to develop an appropriate three-factor simulation mathematical model of the dependence of the number of victims and the number of victims as a result of emergency situations of medical and biological the character of the urban level.

Keywords: organizational and technical method, consequences of emergencies, medical and biological hazards

Вступ. Аналізуючи сучасні наукові тенденції в провідних країн світу слід виділити наступну сукупність причин, що спричиняють (або можуть спричинити) максимальне поширення (переростання на наступний місцевий, регіональний, державний рівень) наслідків надзвичайних ситуацій медико-біологічного (НС МБ) характеру, а саме: зростання кількості населення та рівня урбанізації, формування нових параметрів середи життєдіяльності, кліматичні зміни, зростання глобального туризму, військові конфлікти, недостатність медичного забезпечення в регіонах потенційного поширення небезпек МБ характеру, зростання негативних інформаційних потоків. Процеси подолання негативного впливу зазначених причин мають прямі (або чітко виражені похідні) інформаційно-комунікативні характеристики, що дозволяє застосовувати, з метою скорочення (а саме не переростання НС на наступний рівень поширення) наслідків НС МБ характеру, як-то кількість жертв та постраждалих, методи впливу інформаційно-комунікативного характеру. Створенню математичної моделі організаційно-технічного методу впливу і присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема пошуку новітніх шляхів підвищення ефективності методів протидії процесам поширення небезпеки НС МБ характеру актуальна країнам ЄС та США. Маючи більш розгалужені та незалежні суспільні інститути формування та контролю інформаційних ресурсів, наукова спільнота цих країн приділяє посилену увагу як загальним та спеціалізованим дослідженням можливостей інформаційно-комунікативного впливу на мінімізацію наслідків масштабних НС у тому числі МБ характеру. Так в роботах [1, 2] розглядається питання комунікаційної стійкості соціально-технічних систем в залежності від якості інформації, яка обертається них. Автори робіт [3, 4] в якості критерію зростання ризику виникнення масштабних НС МБ характеру розглядають зміни клімату, а від так зміни специфіки поширення ареолу небезпечних збудників. В роботах [5, 6] проведено аналіз впливу на критичну інфраструктуру територій масштабних НС у тому числі МБ характеру. Для деяких типів НС запропонована модель каскадних ефектів на базі матриці взаємовпливів окремих факторів розвитку. Автори робіт [7, 8] розробили імітаційну модель з формування управлінських рішень з ресурсного забезпечення заходів протидії НС різного характеру, маючи за критерій кількісні зміни інформаційного потоку, втім лише кількісні.

Дослідження українських вчених у сфері подолання наслідків НС МБ характеру досить тривалий час відбувались в контексті загальних тенденцій, які притаманні регіональним особливостям розвитку країн Спільноти Незалежних Держав у цілому. Втім враховуючи регіональні особливості знаходження України та загальнодержавні тенденції розвитку країни, наукова спільнота актуалізує [9] свої дослідження у розрізі їх бачення науковцями провідних країн світу [10, 11]. Так в роботах [12, 13] розглянуто правове підгрунття та питання управління процесом надання гуманітарної допомоги постраждалим внаслідок НС мирного часу.

Попре чітке розуміння актуальності проблеми пошуку інноваційних шляхів мінімізації наслідків

© Р. І. Шевченко. 2017

НСМБ характеру та розвитку наукових досліджень українських вчених, принаймні останніх років, в руслі загальносвітових тенденцій системних досліджень стосовно формування теоретичного апарату організаційно-технічних методів скорочення наслідків НС МБ характеру не здійснювалося.

Постановка завдання та його вирішення. Завданням дослідження є формування математичної моделі організаційно-технічного методу скорочення негативних наслідків НС МБ характеру міського рівня поширення небезпеки.

Спираючись на існуючу в Україні нормативно-правову базу у сфері запобігання поширенню небезпек МБ характеру [14], до числа можливих керованих змінних формуємої математичної моделі слід віднести негативні наслідки від дій надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру, які поділяються на наступні: площа поширення небезпеки НС (ϱ_1); затрати на ліквідацію наслідків НС (ϱ_2); розмір заподіяної шкоди (ϱ_3); кількість загиблих (ϱ_4); кількість постраждалих (ϱ_5); кількість осіб з порушенням умов життєдіяльності (ϱ_6). Аналіз ступення безпеки функціонування природно-техногенно-соціального середовища в умовах негативного впливу НС МБ характеру, як в наукових дослідженнях світової спільноти, так і України (розділ 1 та 2) дозволяє стверджувати про виключну першочерговість та складність скорочення саме негативних наслідків ϱ_4 та ϱ_5 від дії НС МБ характеру. Відтак величину останніх доцільно визначити в якості керованих змінних формуємої математичної моделі.

В контексті [15] формування механізму інформаційно-комунікативного впливу на величину негативних наслідків в якості некерованих змінних математичної моделі приймаються наступні показники:

– ($T_{u\theta}$) – час надходження та обробки інформації від первічного джерела ідентифікації небезпечної події, який нормується до мінімального часу інфекціонування (часу збільшення величини керованої змінної ϱ_5 на 1) при поширенні небезпеки;

– (K_u) – ступінь повноти інформації про джерело виникнення небезпечної події та швидкість поширення небезпеки (яка є нормованою змінною, а саме відношення числа інформаційних повідомлень до фактичного числа джерел виникнення небезпеки МБ характеру);

– (K_θ) – корисність інформації щодо прийняття управляючого рішення стосовно заходів зі скорочення негативних наслідків, яка визначається відношенням вірогідності p_i досягнення цілі системою прийняття рішень після вибору і-го варіанту розвитку подій к вірогідності p досягнення визначеної цілі до вибору любого варіанту розвитку подій.

Для визначення цілевої функції формуємої математичної моделі розглянемо (рис. 1) механізм поширення негативних наслідків НС МБ характеру в умовах взаємовпливів інформаційно-комунікативного природи.

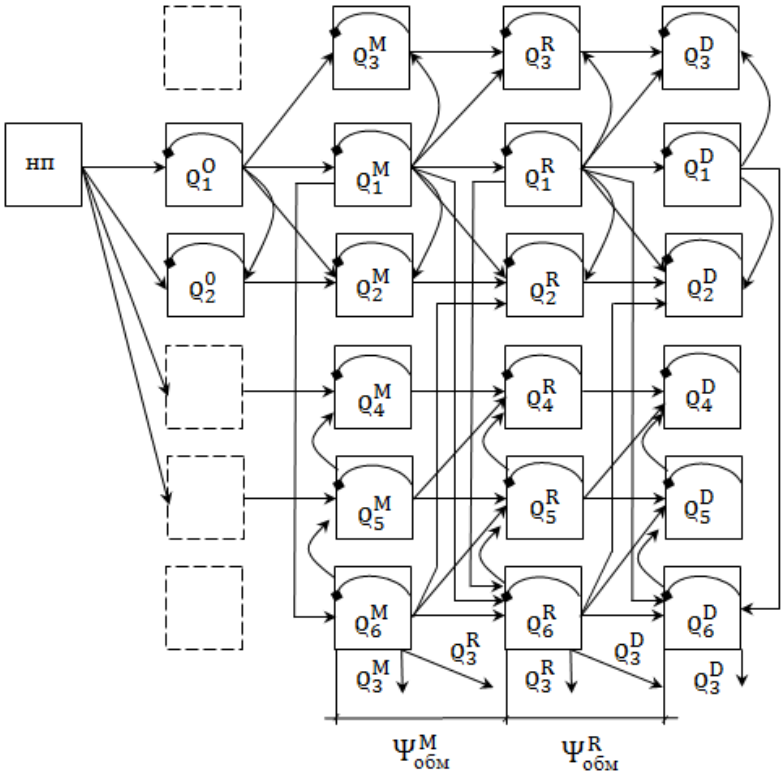


Рис. 1 – Схема поширення наслідків НС МБ характеру в умовах взаємовпливів інформаційно-комунікативного природи. (де НП – надзвичайна подія МБ характеру; ϱ_v^x - негативні наслідки групи (v $\in$ [1..6]) НС МБ характеру відповідно (x $\in$ { O,M,R,D}) – від об'єктового до державного рівнів поширення; $\Psi_{обм}^M$ та $\Psi_{обм}^R$ – область допустимих рішень)

Слід визначити, що наведена схема не ставить у чітке співвідношення керовані та некеровані зміні. Це відбувається через високу ступінь неформалізованості основних властивостей інформаційно-комунікативного процесу, до яких відносяться: діахроність Θ_1 (збереження повідомлення у часі), діатопність Θ_2 (подолання повідомленням значних відстаней та середовищ), мультипліцірованість Θ_3 (можливість багаторазового відтворення); сімультанність Θ_4 (можливість надання одного повідомлення різним отримувачам одночасно); реплікація Θ_5 (можливість регуляції своїх впливів безпосередньо засобами комунікації).

З іншого боку (рис. 2) процес скорочення негативних наслідків НС МБ характеру потребує інформації яка повинна бути максимально формалізована за наступними показниками: адекватність I_1, достовірність I_2, актуальність I_3, доступність I_4, оперативність I_5, надлишковість I_6, об'єктивність I_7, оновленість I_8. В рамках інформологічного представлення інформаційно-комунікативного середовища процесів поширення наслідків НС МБ характеру всі формалізовані параметри ($I_{1..8}$) є комбінацією Ξ_2 з різними ваговими коефіцієнтами некерованих змінних ($T_{u\theta}, K_u, K_\theta$), які отримані в процесі екстерналізації Ξ_1 неформалізованих властивостей ($\Theta_{1..5}$) інформаційно-комунікативного середовища поширення негативних наслідків НС МБ характеру.

Зазначені процеси відбуваються послідовно в рамках трансформації інформаційно-комунікативного потоку, яку в рамках кожного з напрямків поширення негативних наслідків НС МБ характеру можливо розглядати як єдиний процес укладений у еквівалентний функціональний елемент інформаційно-комунікативної схеми $AB_{\varrho\varrho}$. Процеси формування уточнюючої інформації є натомість послідовністю процесів інтерналізації Ξ_3 та соціалізації Ξ_4 які так само відбуваються послідовно та укладені у еквівалентний функціональний елемент інформаційно-комунікативної схеми $BA^{\varrho\varrho}$.

В якості технічної основи реалізації елементів еквівалентної інформаційно-комунікативної схеми необхідно використання засобів масової комунікації з максимальним рівнем насиченості основних властивостей інформаційно-комунікативного процесу.

На сьогодні засобами масової інформації які у повному обсязі задовольняють поставленій вимозі є інтегрірована телефонія та Internet. Проведений аналіз [16] дозволяє застосувати у якості технічної основи реалізації еквівалентного елементу $AB_{\varrho\varrho}$ апаратні засоби Internet – технологій, у якості технічної основи реалізації еквівалентного елементу $BA^{\varrho\varrho}$ апаратні засоби технології інтегрірованої телефонії.

Еквівалентною схемою інформаційно-комунікативного механізму поширення наслідків НС МБ характеру є інформаційно-комунікативна система з функціональним резервуванням, яка, для визначених керованих змінних ϱ_4 та ϱ_5, представлена на рис. 3.

Проведення еквівалентних перетворень дозволяє рівняння зв'язку для інформаційно-комунікативного простору процесу поширення негативних наслідків НС МБ характеру представити у вигляді:

$$p_\varrho(t) = \prod_{j=1}^{n}\left(1 - \prod_{i=1}^{m+1}\left[1 - f(x_k)\, p_i^{AB}(t)\right]\right), \qquad (1)$$

де $p_\varrho(t)$ – імовірність знаходження значень керованих змінних в області допустимих рішень; $f(x_k)$ – функція некерованих змінних; m – кількість еквівалентних елементів $AB_{\varrho\varrho}$ інформаційно-комунікативного резервування та $p_i^{AB}(t)$ – імовірність їх функціонування; n – кількість груп елементів (потоків) інформаційно-комунікативного резервування.

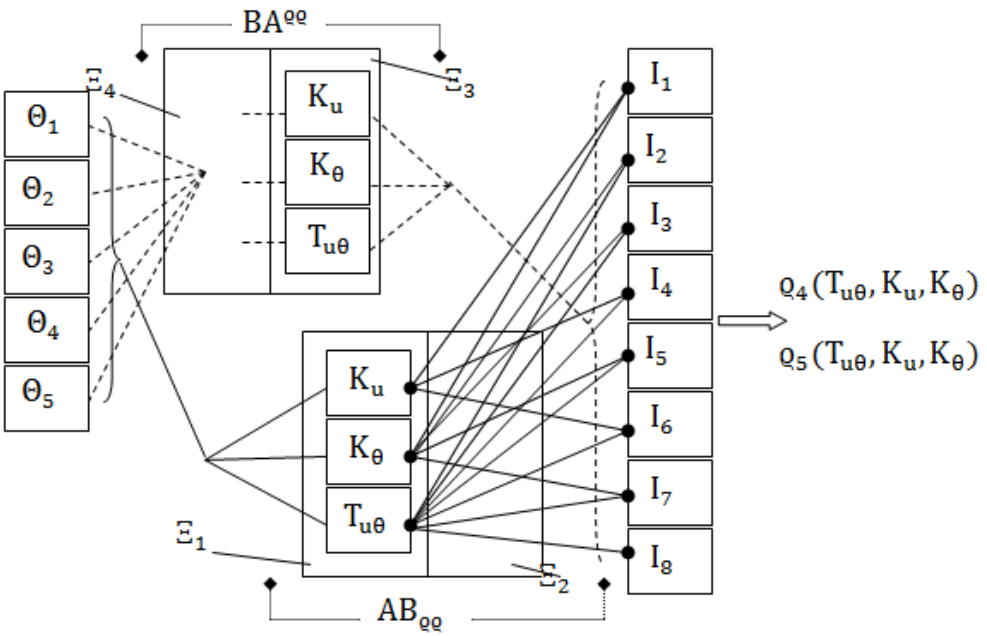


Рис. 2 – Формування функціональних елементів еквівалентної інформаційно-комунікативної схеми для прямого $AB_{\varrho\varrho}$. та зворотнього $BA^{\varrho\varrho}$ інформаційного забезпечення процесів скорочення наслідків НС МБ характеру; (де А та В рівні внутрішнього інформаційного простіру які обьєднані еквівалентним елементом; $\varrho\varrho$ – схема взаємовпливу наслідків НС МБ хара-

ктеру)

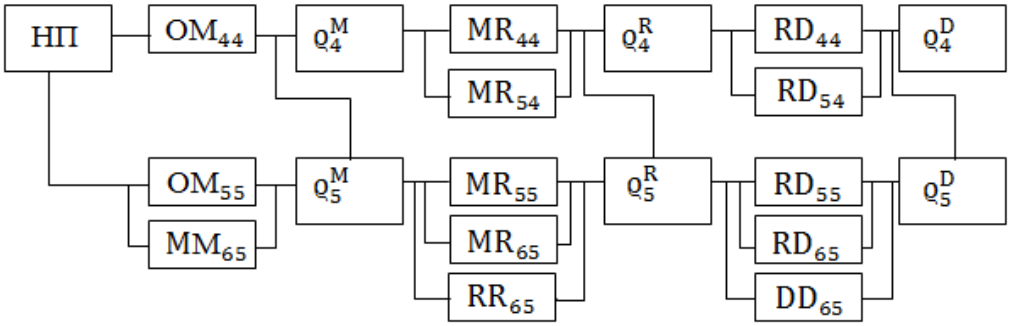


Рис. 3 – Еквівалентна схема з функціональним резервуванням інформаційно-комунікативної взаємодії поширення наслідків ϱ_4 та ϱ_5 НС МБ характеру. (MR_{54} … RD_{65} – еквівалентні інформаційно-комунікативні елементи в напрямку поширення негативних наслідків)

У випадку негативних наслідків НС МБ характеру типу ϱ_5, на міському рівні поширення небезпеки, показник кількості еквівалентних елементів визначається інформаційним взаємовпливом по основному напряму поширення інформації – MR_{55} та двом додатковим напрямкам MR_{65}, RR_{55} та приймає значення m=3, при цьому зазначені еквівалентні елементи інформаційно-комунікативної схеми об'єднані у одну функціональну групу n=1. Для негативних наслідків НС МБ характеру типу ϱ_4 існує два потоки інформації один з яких формується в рамках функціональної групи еквівалентних елементів за напрямком поширення наслідків типу ϱ_5, інший за основним напрямом MR_{44} та двома додатковими одним з яких є $\varrho\varrho_{54}$, MR_{54}. Показник кількості еквівалентних елементів для даної функціональної групи дорівнює m=3, кількість груп відповідно n=2.

Область пошуку рішення для математичної моделі міського рівня поширення негативних наслідків $\Psi(\varrho_4,\varrho_5)$ є область допустимих рішень $\Psi^{M}_{обм}$.

$$\Psi(\varrho_4,\varrho_5)\in\left[\Psi^{M}_{обм}\right). \qquad (2)$$

Недосягнення верхньої межі якої, за обидвома керованими змінними, є критерієм формування математичної моделі.

Далі визначимося з припущеннями, які мають місце при розробці математичної моделі залежності числа негативних наслідків ϱ_4 та ϱ_5 надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру місцевого рівня поширення, а саме:

– в умовах міського рівня поширення наслідків НС МБ характеру виконання умови (2) можливе лише за рахунок варіації внутрішніх параметрів $(T_{u\theta}, K_u, K_\theta)$ функції $f(x_k)$, що обумовлено малою приведеною щільністю керованих змінних по відношенню до площі інформаційно-комунікативного середовища:

$$\varrho_4(t)=f(T_{u\theta},K_u,K_\theta);\ \varrho_5(t)=f(T_{u\theta},K_u,K_\theta) \qquad (3)$$

за умови: $\frac{\varrho_5}{\varrho_1}\to 0;\ \frac{\varrho_4}{\varrho_1}\to 0$;

– на технічному рівні не існує перешкод щодо збільшення пропускної можливості (K_u/q) системи каналів зв'язків для передачі інформаційно-комунікативних потоків в умовах поширення небезпеки МБ характеру, що обумовлено сучасним розвитком нової технології інтелектуальних керованих динамічних MIMO радіоканалів з можливостями розподіленого інтелекту на фізичному рівні:

$$K_u/q=\text{const за умови } K_u\to 1, \qquad (4)$$

де q – швидкість передачі інформації;

– всі елементи еквівалентної схеми інформаційно-комунікативної взаємодії равнонадійні щодо забезпечення механізму поширення негативних наслідків НС МБ характеру:

$$p_i^{AB}=p_{i+1}^{AB}=\ldots=p_m^{AB}; \qquad (5)$$

– формування формалізованих параметрів інформації $(I_{1..8})$ в системі прийняття управлінських рішень керівником з ліквідації негативних наслідків НС МБ характеру відбувається в рамках процесу комбінації Ξ_2 у вигляді рівняння:

$$I_i=\alpha_{1i}K_{u3i}+\alpha_{2i}K_{4i}+\alpha_{u}T_{\theta}+\alpha_{u}K_{\theta}K_{u}+ \\ +\alpha_{5i\theta}K_{u\theta}T_{\theta}+\alpha_{6i}K_{u}T_{u\theta}+\alpha_{7i}K_{u}K_{\theta}T_{u\theta} \qquad (6)$$

за умови $(\alpha_{1i},\alpha_{2i},\alpha_{3i})\gg(\alpha_{4i},\alpha_{5i},\alpha_{6i})\gg(\alpha_{7i})$.

З урахуванням наведених припущень та рівняння зв'язку (1) для керованих змінних математична модель залежності числа негативних наслідків ϱ_4 та ϱ_5 надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру місцевого рівня поширення приймає наступний вигляд:

$$\varrho_5(t)=\varrho_{u\theta}^{R}\{1-\left[1-K_u\right]\}\left(\ \right)^{m+1}; \qquad (7)$$

$$\varrho_4(t)=\varrho_{u\theta}^{R}\{1-\left[1-K_u\right]\}\left(\ \right)^{m\ n}, \qquad (8)$$

за умови одночасності виконання припущень (3)–(6) та фактичного значення для m та n відповідно (m=3; n=2).

Враховуючи умову (2), організаційно-технічний метод скорочення негативних наслідків ϱ_4 та ϱ_5 НС МБ характеру міського рівня поширення полягає у дотриманні, при формуванні варіаційних комбінацій некерованих змінних K_{uo}, T_{uo}), критерію вибору організаційно-технічного рішення:

$$\varrho_5(t) < \varrho_5^R \cup \varrho_4(t) < \varrho_4^R . \quad (9)$$

Слід зазначити, що поведінка похідної групи негативних наслідків НС МБ характеру (з погляду інформаційно-комунікативного взаємовпливу) враховується у вигляді: $\varrho_1(t)$, $\varrho_6(t)$ - кількості та властивості якості резервних елементів еквівалентної схеми; $\varrho_1(t)$, $\varrho_6(t)$, $\varrho_2(t)$, $\varrho_3(t)$ – верхньої межі області допустимих рішень $\Psi_{обм}^{M}$.

Висновки. Таким чином, формалізація параметрів та врахування низки припущень дозволило визначити еквіваленту схему інформаційно-комунікативного взаємовпливу процесів поширення негативних наслідків НС МБ характеру, як схему інформаційно-комунікативної системи з функціональним резервуванням та розробити відповідну імітаційну математичну модель залежності кількості загиблих та числа жертв у наслідок НС МБ характеру міського рівня поширення від внутрішніх факторів інформаційно-комунікативного взаємовпливу як-то: часу надходження та обробки інформації від первинного джерела ідентифікації небезпечної події; повноти інформації про джерело виникнення небезпечної події; корисності інформації щодо можливості застосування організаційно-технічних заходів зі скорочення можливих негативних наслідків; які вимірюються в нормованих експертних оцінках.

Список літератури:

1. *Fisher, C. W.* Criticality of data quality as exemplified in two disasters [Text] / *C. W. Fisher, B. R. Kingma* // Information & Management. – 2001. – Vol. 39, Issue 2. – P. 109–116. doi: 10.1016/s0378-7206(01)00083-0
2. *Sanquini, A. M.* A communications intervention to motivate disaster risk reduction [Text] / *A. M. Sanquini, S. M. Thapaliya, M. M. Wood* // Disaster Prevention and Management: An International Journal. – 2016. – Vol. 25, Issue 3. – P. 345–359. doi: 10.1108/dpm-11-2015-0256
3. *Kelman, I.* Linking disaster risk reduction, climate change, and the sustainable development goals [Text] / *I. Kelman* // Disaster Prevention and Management: An International Journal. – 2017. – Vol. 26, Issue 3. – P. 254–258. doi: 10.1108/dpm-02-2017-0043
4. *Larsson, G.* Crisis management at the government offices: a Swedish case study [Text] / *G. Larsson, F. Bynander, A. Ohlsson, E. Schyberg, M. Holmberg* // Disaster Prevention and Management: An International Journal. – 2015. – Vol. 24, Issue 5. – P. 542–552. doi: 10.1108/dpm-11-2014-0232
5. *Baloye, D. O.* Urban critical infrastructure interdependencies in emergency management [Text] / *D. O. Baloye, L. G. Palamuleni* // Disaster Prevention and Management: An International Journal. – 2017. – Vol. 26, Issue 2. – P. 162–182. doi: 10.1108/dpm-10-2015-0231
6. *Von Meding, J.* Competence-based system development for post-disaster project management [Text] / *J. von Meding, J. Wong, S. Kanjanabootra, M. T. Tafti* // Disaster Prevention and Management: An International Journal. – 2016. – Vol. 25, Issue 3. – P. 375–394. doi: 10.1108/dpm-07-2015-0164
7. *Berariu, R.* Resource deployment under consideration of conflicting needs in times of river floods [Text] / *R. Berariu, C. Fikar, M. Gronalt, P. Hirsch* // Disaster Prevention and Management: An International Journal. – 2016. – Vol. 25, Issue 5. – P. 649–663. doi: 10.1108/dpm-04-2016-0081
8. *Scott, Z.* Monitoring and evaluating disaster risk management capacity [Text] / *Z. Scott, K. Wooster, R. Few, A. Thomson, M. Tarazona* // Disaster Prevention and Management: An International Journal. – 2016. – Vol. 25, Issue 3. – P. 412–422. doi: 10.1108/dpm-01-2016-0002
9. *Клеєвська, В. Л.* Підвищення рівня інформованності населення у сфері цивільного захисту [Текст]: наук.-практ. конф. / *В. Л. Клеєвська, В. В. Кручина* // Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку. – Київ: ІДУЦЗ, 2017. – С. 197–198.
10. *Гречищева, Д. В.* Інформаційні аспекти розвитку волонтеріату в системі цивільного захисту України [Текст] / *Д. В. Гречищева* // Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського розвитку: Матеріали 17 Всеукраїнської науково-практичної рятувальників. – Київ: ІДУЦЗ, 2015. – С. 480–483.
11. *Волянський, П. Б.* Мінімізація наслідків надзвичайних ситуацій, аспектизарубіжного досвіду [Текст] / *П. Б. Волянський, М. П. Стрюк, А. М. Макаренко, Н. В. Дрозденко, М. Л. Долгий* // Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського розвитку: Матеріали 18 Всеукраїнської науково-практичної рятувальників. – Київ: ІДУЦЗ, 2016. – С. 95–97.
12. *Гур'єв, С. О.* Наукові засади організації медичної допомоги постраждалим внаслідок надзвичайних ситуацій природного характеру (принципи організації та координація гуманітарної допомоги) [Текст]: монографія / *С. О. Гур'єв, П. Б. Волянський, В. В. Федорчак, М. І. Стрюк, А. В. Терент'єва; ред. С. О. Гур'єв, П. Б. Волянський*; Ін-т держ. упр. у сфері цив. захисту, ДЗ "Укр. наук.-практ. центр екстр. мед. допомоги та медицини катастроф МОЗ України". – К., 2013. – 304 с.
13. *Гур'єв, С. О.* Правове забезпечення медичного захисту населення України [Текст]: наук.-практ. конф. / *С. О. Гур'єв, В. П. Печиборщ, М. Д. Близнюк, В. В. Вороненко, П. Б. Волянський, Н. В. Гуселєтова, М. М. Михайловський* // Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку. – Київ: ІДУЦЗ, 2017. – С. 120–123.
14. *Шевченко, Р. І.* Аналіз сучасних тенденцій наукових досліджень в галузі моніторингу надзвичайних ситуацій [Текст] / *Р. І. Шевченко* // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – С. 132–142.
15. *Шевченко, Р. І.* Визначення теоретичних основ інформаційно-комунікативного підходу до формування та аналізу систем моніторингу надзвичайних ситуацій [Текст] / *Р. І. Шевченко* // Системи обробки інформації. – 2016. – № 5 (142). – С. 202–206.
16. *Абрамов, Ю. А.* Информационное обеспечение мониторинга и антикризисного управления в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст]: учеб. пос. / Ю. А. Абрамов, Е. М. Гринченко, А. Ю. Кирочкин, А. А. Левтеров, В. П. Садковой, В. В. Тютюник, Р. И. Шевченко. – Харьков: УГЗУ, 2006. – 288 с.

Bibliography (transliterated):

1. Fisher, C. W., Kingma, B. R. (2001). Criticality of data quality as exemplified in two disasters. Information & Management, 39 (2), 109–116. doi: 10.1016/s0378-7206(01)00083-0
2. Sanquini, A. M., Thapaliya, S. M., Wood, M. M. (2016). A communications intervention to motivate disaster risk reduction. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 25 (3), 345–359. doi: 10.1108/dpm-11-2015-0256
3. Kelman, I. (2017). Linking disaster risk reduction, climate change, and the sustainable development goals. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 26 (3), 254–258. doi: 10.1108/dpm-02-2017-0043
4. Larsson, G., Bynander, F., Ohlsson, A., Schyberg, E., Holmberg, M. (2015). Crisis management at the government offices: a Swedish case study. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 24 (5), 542–552. doi: 10.1108/dpm-11-2014-0232

5. Baloye, D. O., Palamuleni, L. G. (2017). Urban critical infrastructure interdependencies in emergency management. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 26 (2), 162–182. doi: 10.1108/dpm-10-2015-0231

6. Von Meding, J., Wong, J., Kanjanabootra, S., Taheri Tafti, M. (2016). Competence-based system development for post-disaster project management. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 25 (3), 375–394. doi: 10.1108/dpm-07-2015-0164

7. Berariu, R., Fikar, C., Gronalt, M., Hirsch, P. (2016). Resource deployment under consideration of conflicting needs in times of river floods. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 25 (5), 649–663. doi: 10.1108/dpm-04-2016-0081

8. Scott, Z., Wooster, K., Few, R., Thomson, A., Tarazona, M. (2016). Monitoring and evaluating disaster risk management capacity. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 25 (3), 412–422. doi: 10.1108/dpm-01-2016-0002

9. Kleievska, V. L., Kruchyna, V. V. (2017). Pidvyshchennia rivnia informovannosti naselennia u sferi tsyvilnoho zakhystu. Suchasnyi stan tsyvilnoho zakhystu Ukrainy ta perspektyvy rozvytku. Kyiv: IDUTsZ, 197–198.

10. Hrechyshcheva, D. V. (2015). Informatsiyni aspekty rozvytku volonteriatu v systemi tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. Suchasnyi stan tsyvilnoho zakhystu Ukrainy: perspektyvy ta shliakhy do Yevropeiskoho rozvytku: Materialy 17 Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi riatuvalnykiv. Kyiv: IDUTsZ, 480–483.

11. Volianskyi, P. B., Striuk, M. P., Makarenko, A. M., Drozdenko, N. V., Dolhyi, M. L. (2016). Minimizatsiya naslidkiv nadzvychainykh sytuatsiyi, aspektyzarubizhnoho dosvidu. Suchasnyi stan tsyvilnoho zakhystu Ukrainy: perspektyvy ta shliakhy do Yevropeiskoho rozvytku: Materialy 18 Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi riatuvalnykiv. Kyiv: IDUTsZ, 95–97.

12. Huriev, S. O., Volianskyi, P. B., Fedorchak, V. V., Striuk, M. I., Terentieva, A. V.; Huriev, S. O., Volianskyi, P. B. (Eds.) (2013). Naukovi zasady orhanizatsiyi medychnoi dopomohy postrazhdalym vnaslidok nadzvychainykh sytuatsiyi pryrodnoho kharakteru (pryntsypy orhanizatsiyi ta koordynatsiya humanitarnoi dopomohy). Kyiv, 304.

13. Huriev, S. O., Pechyborshch, V. P., Blyzniuk, M. D., Voronenko, V. V., Volianskyi,P. B., Huselietova, N. V., Mykhailovskyi, M. M. (2017). Pravove zabezpechennia medychnoho zakhystu naselennia Ukrainy. Suchasnyi stan tsyvilnoho zakhystu Ukrainy ta perspektyvy rozvytku. Kyiv: IDUTsZ, 120–123.

14. Shevchenko, R. I. (2015). Analiz suchasnykh tendentsiyi naukovykh doslidzhen v haluzi monitorynhu nadzvychainykh sytuatsiyi. Problemy nadzvychainykh sytuatsiyi, 21, 132–142.

15. Shevchenko, R. I. (2016). Vyznachennia teoretychnykh osnov informatsiino-komunikatyvnoho pidkhodu do formuvannia ta analizu system monitorynhu nadzvychainykh sytuatsiyi. Systemy obrobky informatsiyi, 5 (142), 202–206.

16. Abramov, Yu. A., Grinchenko, E. M., Kirochkin, A. Yu., Levterov, A. A., Sadkovoy, V. P., Tyutyunik, V. V., Shevchenko, R. I. (2006). Informacionnoe obespechenie monitoringa i antikrizisnogo upravleniya v usloviyah chrezvychaynyh situaciy. Kharkiv: UGZU, 288.

Надійшла (received) 07.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Формування математичної моделі організаційно-технічного методу скорочення негативних наслідків надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру місцевого рівня поширення / Шевченко Р. І. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.130–135. – Bibliogr.:16. – ISSN 2079-5459

Формирование математической модели организационно-технического метода сокращения негативных последствий чрезвычайных ситуаций медико-биологического характера местного уровня распространения/ Шевченко Р. И. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.130–135. – Bibliogr.:16. – ISSN 2079-5459

Formation of the mathematical model of the organizational and technical method of reducing the negative consequences of emergency situations of the medical and biological character of the local level of distribution/ Shevchenko R. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.130–135. – Bibliogr.:16. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шевченко Роман Іванович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет цивільного захисту України, начальник наукового відділу проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки; вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023; e-mail: shevchenko605@i.ua.

Шевченко Роман Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный университет гражданской защиты Украины, начальник научного отдела проблем гражданской защиты и техногенно-экологической безопасности; ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023; e-mail: shevchenko605@i.ua.

Shevchenko Roman – PhD, senior researcher, National University of Civil Protection of Ukraine, head of the scientific department of problems of civil protection and technogenic and ecological safety; Chernyshevskaya, str., 94, Kharkov, Ukraine, 61023; e-mail: shevchenko605@i.ua.

УДК [616-07:004.9]:612.821

Ю. Ю. ОНИКІЄНКО

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ФУНКЦІЮ СТАТИЧНОЇ РІВНОВАГИ ФАХІВЦІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ВИДІВ ДІЯЛЬНОСТІ

Розглядається питання визначення інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги. В якості метода дослідження статичної рівноваги використовується модифікований варіант кефалографічної установки. Визначені ключові інформативні показники, що характеризують просторовий динамічний діапазон та особливості коливань тіла відносно осі z, а саме: коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркового математичного сподівання $K_{\tilde{m}_r}$; коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркової дисперсії $K_{\tilde{D}_r}$ та коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркової асиметрії $K_{\tilde{a}_r}$. Результати роботи можуть бути використані під час проведення психофізіологічного відбору.

Ключові слова: кефалографія, кефалографічна установка, кефалограма, маркер, інформативний показник, статична рівновага, коефіцієнт, психофізіологічний стан, вестибулярний апарат, екстремальні умови.

Рассматривается вопрос определения информативных показателей, характеризующих функцию статического равновесия. В качестве метода исследования статического равновесия используется модифицированный вариант кефалографической установки. Определены ключевые информативные показатели, характеризующие пространственный динамический диапазон и особенности колебаний тела относительно оси z, а именно: коэффициент, характеризующий изменение выборочного математического ожидания $K_{\tilde{m}_r}$; коэффициент, характеризующий изменение выборочной дисперсии $K_{\tilde{D}_r}$ и коэффициент, характеризующий изменение выборочной асимметрии $K_{\tilde{a}_r}$. Результаты работы могут быть использованы при проведении психофизиологического отбора.

Ключевые слова: кефалография, кефалографическая установка, кефалограма, маркер, информативный показатель, статическое равновесие, коэффициент, психофизиологическое состояние, вестибулярный аппарат, экстремальные условия.

The paper deals with problems of determination of the informative indices, which characterize the function of the human balance (human static equilibrium). The kefalographic method for research of the human static equilibrium is suggested. The kefalographic plant for this method implementation was modified. The informative indices, which characterize the function of the static equilibrium, were determined.

As a scientific novelty, the further development of non-invasive study the function of the human static balance (human static equilibrium), which differs from the existing application of the properties of the point camera model, has made it possible to expand the measurement range of the controlled amount and improve the accuracy of the kefalographic reproduction.

The suggested criteria were firstly used for selection of the polar explorers worked at the Antarctic station “Academician Vernadsky”. Their application has decreased a time necessary for selection of the polar explores with improved possibilities for extreme activity.

Keywords: kefalography, kefalografic plant, kefalogram image, marker, informative indices, human static equilibrium, coefficient, psychophysiological state, vestibular apparatus, extreme conditions.

Вступ. Як показує практичний досвід, фахівці екстремальних видів діяльності в залежності від професійної сфери можуть мати проблеми зі станом здоров’я, що пов’язано з наявністю зниженої адаптаційної здатності організму, яка не була вчасно виявлена на етапі професійного відбору. Зазвичай вони найбільш чутливі до негативного впливу факторів середовища і мають схильність до дизадаптаційних та десинхронозних розладів із розвитком ознак депресії, стресового стану, проявами локальної та генералізованої гіпоксії, оксидаційного стресу тощо.

Діагностика дисфункційних станів надзвичайно ускладнена відсутністю специфічних критеріїв і ознак, які можна зареєструвати традиційними біомедичними методами та засобами. Як результат, через недосконаліть методів оцінювання психофізіологічного стану зростає вірогідність розвитку непередбачуваної дисфункції, втрати працездатності і, як наслідок, загроза виконанню планової роботи і падіння її ефективності.

У зв’язку з наведеним, дослідження додаткових критеріїв оцінювання психофізіологічного стану фахівців екстремальних видів діяльності є актуальними як на етапах професійного відбору, так і у процесі фахової діяльності в екстремальних умовах. Враховуючи те, що на сьогодні в Україні і в світі практично відсутні біотехнічні системи оцінювання психофізіологічного стану та ранньої діагностики адаптаційних можливостей організму фахівців екстремальних видів діяльності, в роботі пропонується методика визначення інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги, як додаткового критерію оцінювання психофізіологічного стану фахівців екстремальних видів діяльності.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Для дослідження функції статичної рівноваги в роботі використана вдосконалена модифікація кефалографічної установки, структурна схема якої приведена на рис. 1 [1–6]. На відміну від існуючих варіантів побудови кефалографів [7–9], ця модифікація відрізняється відсутністю механічного зв’язку між фахівцем та реєструючим пристроєм під час дослідження, що дало можливість позбутись спотворень в отриманих результатах, та підвищити точність проведення дослідження за рахунок використання в якості реєструючого пристрою камери. Сутність підходу, що реалізований в даному засобі, полягає в наступному. Досліджуваному фахівцю одягають на голову матерчату шапочку чорного кольору, на зовнішній стороні якої знаходиться маркер білого кольору – квадрат зі сторонами 10 мм. Досліджуваний фахівець займає вертикальне положення з витягнутими вперед руками (поза Ромберга) на спеціальній платформі без взуття [10]. На експериментально встановленій фіксованій відстані (25 см) від голови у вертикальному напрямку розташовується камера, яка кріпиться до штативу (ростоміру).

Протягом 2-х хвилин при відкритих та закритих очах проводиться дослідження коливань маркера у

© Ю. Ю. Оникієнко. 2017

площині відносно центрального положення тіла досліджуваного фахівця.

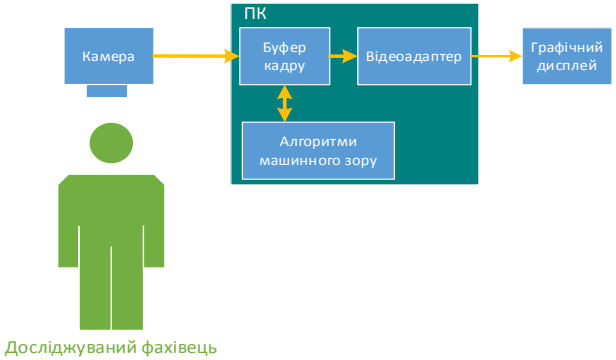


Рис. 1 – Структурна схема вдосконаленої кефалографічної установки

Отримане камерою зображення передається на персональний комп'ютер, який в режимі реального часу аналізує отриману інформацію, і як результат, на графічному дисплеї відображається проекція вектора відхилень маркера відносно центрального положення тіла досліджуваного фахівця у вигляді певного двовимірного рисунку (кефалограми) індивідуальних коливань результуючої діяльності статичних і статокінетичних рефлексів (рис. 2). Подальша математична обробка отриманих рисунків дозволяє визначити кількісні показники, що характеризують функцію статичної рівноваги досліджуваного фахівця екстремальних видів діяльності.

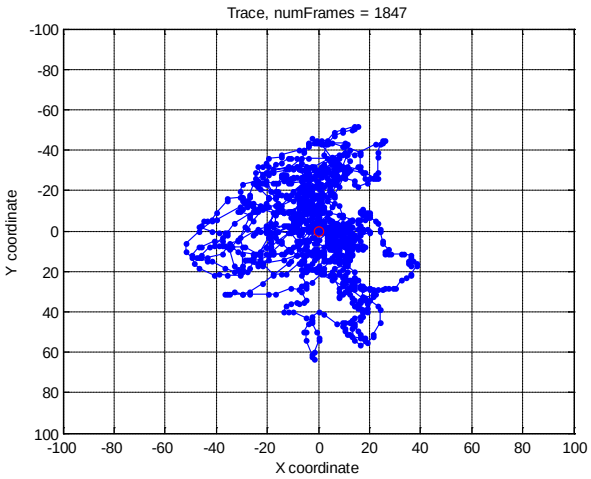


Рис. 2 – Проекція вектора відхилень маркера відносно центрального положення тіла досліджуваного фахівця

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги досліджуваного фахівця на основі аналізу отриманих кефалограм.

Задачею дослідження є знаходження можливих стандартизованих значень, що дозволять класифікувати фахівців в групи з подальшим визначенням спроможності праці в екстремальних умовах.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Визначити інформативні показники, що характеризують функцію статичної рівноваги в різних режимах дослідження;

2. Нормалізувати отримані інформативні показники для фахівців екстремальних видів діяльності для створення класифікаційної рекомендаційної системи психофізіологічного відбору.

Матеріали та методи дослідження. Перейдемо безпосередньо до визначення інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги досліджуваного фахівця.

Фактично даний процес орієнтований на аналіз проекції вектора переміщення маркера r (радіуса) відносно осей OX та OY протягом встановленого часу дослідження (рис. 3).

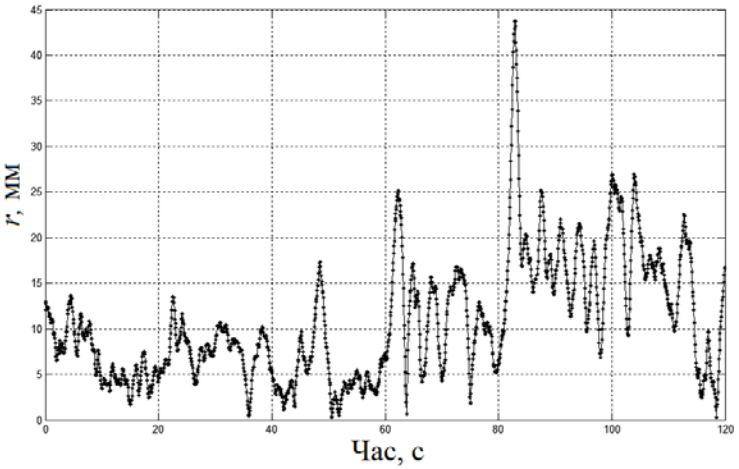


Рис. 3 – Графік зміни проекції вектора r (радіуса) переміщення маркера в часі

Основними етапами визначення інформативних показників є:

- розрахунок вибіркових (точкових) параметрів розподілу проекції вектора переміщення r для двох режимів дослідження («Відкриті очі», «Закриті очі»);
- знаходження довірчих інтервалів для розрахованих вибіркових (точкових) параметрів розподілу проекції вектора переміщення r для двох режимів дослідження («Відкриті очі», «Закриті очі»);
- підбір теоретичного та емпіричного законів розподілу проекції вектора переміщення r для двох режимів дослідження («Відкриті очі», «Закриті очі»);
- розрахунок показників, що характеризують визначений закон розподілу;
- розрахунок коефіцієнтів, що характеризують функцію статичної рівноваги досліджуваного фахівця.

Надалі розглянемо більш детально деякі з вищевказаних етапів. Для аналізу якості досліджуваної системи пропонується використовувати вибіркові параметри розподілу (точкові оцінки), а саме вибіркові математичне сподівання $\tilde{m}_r$, дисперсію $\tilde{D}_r$, середньоквадратичне відхилення $\tilde{\sigma}_r$, асиметрію $\tilde{a}_r$ і ексцес $\tilde{e}_r$, що розраховуються за формулами [11–14]:

$$\tilde{m}_r = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} r_i \,, \quad (1)$$

$$\tilde{D}_r = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(r_i - \tilde{m}_r\right)^2 \,, \quad (2)$$

$$\tilde{\sigma}_r = \sqrt{\tilde{D}_r} \,, \quad (3)$$

$$\tilde{a}_r = \frac{1}{(n-1)\tilde{\sigma}_r^3}\sum_{i=1}^{n}\left(r_i - \tilde{m}_r\right)^3 \,, \quad (4)$$

$$\tilde{e}_r = \frac{1}{(n-1)\tilde{\sigma}_r^4}\sum_{i=1}^{n}\left(r_i - \tilde{m}_r\right)^4 - 3 \,. \quad (5)$$

Дані показники розраховуються окремо для режимів дослідження «Відкриті очі» та «Закриті очі», та позначаються відповідно як: $\tilde{m}_{rv}$, $\tilde{D}_{rv}$, $\tilde{a}_{rv}$, $\tilde{e}_{rv}$, $\tilde{m}_{rz}$, $\tilde{D}_{rz}$, $\tilde{a}_{rz}$, $\tilde{e}_{rz}$. На кефалограмах дані режими обмежуються часовим інтервалом, а саме перша хвилина дослідження – «Відкриті очі», друга хвилина дослідження – «Закриті очі». Необхідно відмітити, що важливими серед даних показників є асиметрія та ексцес, адже вони характеризують ступінь відхилення в сагітальній та фронтальній площинах та швидкість відновлення початково стану (повернення до центральної осі тіла людини) відповідно.

Що ж стосується інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги тіла досліджуваного фахівця, то такими показниками є: коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркового математичного сподівання $K_{\tilde{m}_r}$ проекції вектора переміщення маркера; коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркової дисперсії $K_{\tilde{D}_r}$ проекції вектора переміщення маркера; коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркової асиметрії $K_{\tilde{a}_r}$ проекції вектора переміщення маркера; коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркового ексцесу $K_{\tilde{e}_r}$ проекції вектора переміщення маркера.

Зазначені інформативні показники розраховуються, як відношення вибіркових (точкових) параметрів розподілу проекції вектора переміщення r в режимі «Закриті очі» до вибіркових (точкових) параметрів розподілу проекції вектора переміщення r в режимі «Відкриті очі» за формулами:

$$K_{\tilde{m}_r} = \frac{\tilde{m}_{rz}}{\tilde{m}_{rv}} \,, \quad (6)$$

$$K_{\tilde{D}_r} = \frac{\tilde{D}_{rz}}{\tilde{D}_{rv}} \,, \quad (7)$$

$$K_{\tilde{a}_r} = \frac{\tilde{a}_{rz}}{\tilde{a}_{rv}} \,, \quad (8)$$

$$K_{\tilde{e}_r} = \frac{\tilde{e}_{rz}}{\tilde{e}_{rv}} \,. \quad (9)$$

Дані інформативні показники в цілому характеризують функцію статичної рівноваги тіла досліджуваного фахівця.

Результати дослідження та обговорення. В результаті проведеного п'ятирічного транс-Атлантичного експерименту були визначені нормовані значення інформативних показників та довірчі інтервали можливих змін під дією екстремального середовища. Дані нормовані значення та відповідні довірчі інтервали наведені в табл. 1–3.

Таблиця 1 – Нормовані значення та довірчі інтервали вибіркових (точкових) параметрів розподілу проекції вектора переміщення r для режиму дослідження «Відкриті очі»

$\tilde{m}_{rv}$	$\tilde{D}_{rv}$	$\tilde{a}_{rv}$	$\tilde{e}_{rv}$
2,17<2,21<2,25	1,32<1,41<1,51	-0,12<-0,05<-0,02 0,02<0,05<0,12	-0,15<-0,1<-0,07 0,07<0,1<0,15
5,25<5,36<5,47	6,7<7,17<7,67	-0,69<-0,3<-0,13 0,13<0,3<0,69	-0,82<-0,54<-0,36 0,36<0,54<0,82
8,34<8,51<8,68	12,08<12,9<13,84	-1,61<-0,7<-0,3 0,3<0,7<1,61	-1,96<-1,3<-0,86 0,86<1,3<1,96
11,86<12,1<12,34	17,96<19,22<20,57	-2,99<-1,3<-0,57 0,57<1,3<2,99	-3,1<-2,05<-1,36 1,36<2,05<3,1

Таблиця 2 – Нормовані значення та довірчі інтервали вибіркових (точкових) параметрів розподілу проекції вектора переміщення r для режиму дослідження «Закриті очі»

$\tilde{m}_{rz}$	$\tilde{D}_{rz}$	$\tilde{a}_{rz}$	$\tilde{e}_{rz}$
2,36<2,41<2,46	1,21<1,3<1,39	-0,23<-0,1<-0,04 0,04<0,1<0,23	-0,45<-0,3<-0,2 0,2<0,3<0,45
6,00<6,12<6,24	11,59<12,4<13,27	-1,04<-0,45<-0,2 0,2<0,45<1,04	-1,1<-0,73<-0,48 0,48<0,73<1,1
9,64<9,83<10,03	21,96<23,5<25,15	-2,14<-0,93<-0,4 0,4<0,93<2,14	-2,36<-1,56<-1,03 1,03<1,56<2,36
13,89<14,17<14,45	36,11<38,64<41,34	-2,97<-1,29<-0,56 0,56<1,29<2,97	-3,2<-2,12<-1,4 1,4<2,12<3,2

Таблиця 3 – Нормовані значення та довірчі інтервали інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги для режимів дослідження «Відкриті очі» та «Закриті очі»

$K_{\tilde{m}_r}$	$K_{\tilde{D}_r}$	$K_{\tilde{a}_r}$	$K_{\tilde{e}_r}$
0,48<0,49<0,5	0,23<0,25<0,27	0,46<1,05<2,42	0,71<1,07<1,62
0,85<0,87<0,89	1,94<2,08<2,23	0,48<1,1<2,53	1,21<1,83<2,76
1,27<1,3<1,33	5,52<5,91<6,32	0,52<1,2<2,76	1,66<2,5<3,78
1,79<1,83<1,87	8,61<9,21<9,85	0,57<1,32<3,04	2,03<3,07<4,64

Окрім цього, були встановлені можливі закони розподілу значень проекції вектора переміщення r, а саме:

- розподіл «Екстремальних значень»;
- «Гама» розподіл;
- розподіл «Вейбула»;
- «Логістичний» розподіл.

Розподіл значень проекції вектора переміщення r за будь-яким з даних розподілів говорить про фізіологічну норму с точки зору психофізіологічного стану. Якщо ж говорити про інші можливі розподіли проекції вектора переміщення r (наприклад «Нормальний», «Гамбелівський», «Релеєвський» та ін.), то необхідно зазначити, що вони спостерігаються тільки в випадках деякого захворювання або погіршення стану фахівців екстремальних видів діяльності.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Розроблена в роботі методика оброблення результатів дослідження функції статичної рівноваги дозволяє визначити інформативні показники, що характеризують просторовий динамічний діапазон та особливості коливання тіла фахівця відносно осі z.
2. Дані показники разом з встановленими нормованими значеннями, що були приведені в табл. 1, 2, можуть бути використаними в процесі професійного відбору фахівців екстремальних видів діяльності.

Список літератури:

1. *Гуралевич, В. С.* Засіб оцінки психофізіологічного стану полярників [Текст] / *В. С. Гуралевич, О. В. Булигіна, Ю. Ю. Оникієнко* // III Міжнародний полярний рік 2007–2008: результати та перспективи: IV Міжнародна Антарктична Конференція. – К., 2009. – С. 229.
2. *Оникієнко, Ю. Ю.* Розробка нових апаратно-програмних шляхів оцінювання психоемоційного стану оператора [Текст] / *Ю. Ю. Оникієнко* // Антарктика і глобальні системи Землі: нові виклики та перспективи: V Міжнародна Антарктична Конференція. – К., 2011. – С. 318–319.
3. *Оникієнко, Ю. Ю.* Апаратно-програмний комплекс оцінювання психофізіологічного стану оператора [Текст] / *Ю. Ю. Оникієнко, В. Д. Кузовик* // Новітні науково-навчальні досягнення медицини транспорту. – 2011. – С. 109–111.
4. *Оникієнко, Ю. Ю.* Створення апаратно-програмного комплексу обстеження функції ЦНС антарктичних зимівників [Текст] / *Ю. Ю. Оникієнко, В. Д. Кузовик, Є. В. Моісеєнко* // Інтернаціоналізація досліджень в Антарктиці – шлях до духовної єдності людства: VI Міжнародна антарктична конференція. – К., 2013. – С. 392–393.
5. *Кузовик, В. Д.* Створення апаратно-програмного комплексу оцінювання додаткових інформаційних критеріїв функції ЦНС [Текст] / *В. Д. Кузовик, Є. В. Моісеєнко, Ю. Ю. Оникієнко* // Информационные технологии в неврологии, психиатрии, епилептологии и медицинской статистике: научно-практическая конференция с межнародным участием. – К., 2013. – С. 160–161.
6. *Kuzovyk, V. D.* Hardware-software system of evaluation criteria of the additional information CNS [Text] / *V. D. Kuzovyk, Y. Y. Onykiienko* // The sixth world congress “Aviation in the XXI-st Century” “Safety in Aviation and Space Technologies”. – K., 2014. – P. 1.7.23–1.7.25.
7. *Базаров, В. Г.* Клиническая вестибулометрия [Текст] / *В. Г. Базаров*. – К.: Здоров’я, 1988. – 198 с.
8. *Бариляк, Р. А.* К усовершенствованию методики кефалографии [Текст] / *Р. А. Бариляк, А. Е. Кицера, А. В. Борисов* // Журн. ушных, носовых и горловых болезней. – 1981. – № 6. – С. 66–67.
9. *Гаже, П. М.* Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека [Текст] / *П. М. Гаже, Б. Вебер*; под ред. В. И. Усачева. – СПб.: Изд. дом СПбМАПО, 2008. – 316 с.
10. *Оникієнко, Ю. Ю.* Розробка нової технології оцінювання порушень психофізіологічних функцій людини [Текст] / *Ю. Ю. Оникієнко, Є. В. Моісеєнко* // Актуальні питання курортології, фізіотерапії та медичної реабілітації: матеріали XII Науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Ялта, 2012. – С. 144.
11. *Володарський, Є. Т.* Статистична обробка даних [Текст]: навч. пос. / *Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева*. – К.: НАУ, 2008. – 308 с.
12. *Смирнов, Н. В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений [Текст] / *Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский*. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
13. *Тьюки, Дж.* Анализ результатов наблюдений [Текст] / *Дж. Тьюки* // Разведочный анализ. – М.: Мир, 1981. – 696 с.
14. *Дубров, А. М.* Многомерный статистический анализ [Текст] / *А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, Л. И. Трошин*. – М.: «Финансы и статистика», 2000. – 352 с.

Bibliography (transliterated):

1. Huralevych, V. S., Bulyhina, O. V., Onykiienko, Yu. Yu. (2009). Zasib otsinky psykhofiziolohichnoho stanu poliarnykiv. III Mizhnarodnyi poliarnyi rik 2007–2008: rezultaty ta perspektyvy: IV Mizhnarodna Antarktychna Konferentsiya. Kyiv, 229.
2. Onykiienko, Yu. Yu. (2011). Rozrobka novykh aparatno-prohramnykh shliakhiv otsiniuvannia psykhoemotsiynoho stanu operatora. Antarktyka i hlobalni systemy Zemli: novi vyklyky ta perspektyvy: V Mizhnarodna Antarktychna Konferentsiya. Kyiv, 318–319.
3. Onykiienko, Yu. Yu., Kuzovyk, V. D. (2011). Aparatno-prohramnyi kompleks otsiniuvannia psykhofiziolohichnoho stanu operatora. Novitni naukovo-navchalni dosiahnennia medytsyny transportu, 109–111.

4. Onykiienko, Yu. Yu., Kuzovyk, V. D., Moiseienko, Ye. V. (2013). Stvorennia aparatno-prohramnoho kompleksu obstezhennia funktsiyi TsNS antarktychnykh zymivnykiv. Internatsionalizatsiya doslidzhen v Antarktytsi – shliakh do dukhovnoi yednosti liudstva: VI Mizhnarodna antarktychna konferentsiya. Kyiv, 392–393.

5. Kuzovyk, V. D., Moiseienko, Ye. V., Onykiienko, Yu. Yu. (2013). Stvorennia aparatno-prohramnoho kompleksu otsiniuvannia dodatkovykh informatsiinykh kryteriyv funktsiyi TsNS. Informacionnye tekhnologii v nevrologii, psihiatrii, epileptologii i medicinskoy statistike: nauchno-prakticheskaya konferenciya s mezhnarodnym uchastiem. Kyiv, 160–161.

6. Kuzovyk, V. D., Onykiienko, Y. Y. (2014). Hardware-software system of evaluation criteria of the additional information CNS. The sixth world congress “Aviation in the XXI-st Century” “Safety in Aviation and Space Technologies”. Kyiv, 1.7.23–1.7.25.

7. Bazarov, V. G. (1988). Klinicheskaya vestibulometriya. Kyiv: Zdorov’ya, 198.

8. Barilyak, R. A., Kicera, A. E., Borisov, A. V. (1981). K usovershenstvovaniyu metodiki kefalografii. Zhurn. ushnyh, nosovyh i gorlovyh bolezney, 6, 66–67.

9. Gazhe, P. M., Veber, B.; Usachev, V. I. (Ed.) (2008). Posturologiya. Regulyaciya i narusheniya ravnovesiya tela cheloveka. Sankt-Peterburg: Izd. dom SPbMAPO, 316.

10. Onykiienko, Yu. Yu., Moiseienko, Ye. V. (2012). Rozrobka novoi tekhnolohiyi otsiniuvannia porushen psykhofiziolohichnykh funktsiyi liudyny. Aktualni pytannia kurortolohiyi, fizioterapiyi ta medychnoi reabilitatsiyi: materialy XII Naukovo-praktychnoi konferentsiyi z mizhnarodnoiu uchastiu. Yalta, 144.

11. Volodarskyi, Ye. T., Kosheva, L. O. (2008). Statystychna obrobka danykh. Kyiv: NAU, 308.

12. Smirnov, N. V., Dunin-Barkovskiy, I. V. (1969). Kurs teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki dlya tekhnicheskih prilozheniy. Moscow: Nauka, 512.

13. T'yuki, Dzh. (1981). Analiz rezul'tatov nablyudeniy. Razvedochniy analiz. Moscow: Mir, 696.

14. Dubrov, A. M., Mhitaryan, V. S., Troshin, L. I. (2000). Mnogomernyy statisticheskiy analiz. Moscow: «Finansy i statistika», 352.

Надійшла (received) 15.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Методика визначення інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги фахівців екстремальних видів діяльності/ Оникієнко Ю. Ю. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.136–140. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Методика определения информативных показателей, характеризующих функцию статического равновесия специалистов экстремальных видов деятельности/ Оникиенко Ю. Ю. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.136–140. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Method of determining the informative indicators with characterizing the function of the static equilibrium for specialist's of extreme types of activities/ Onykiienko Y. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.136–140. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Оникієнко Юрій Юрійович - кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри «Біокібернетики та аерокосмічної медицини»; вул. проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058; e-mail: yurii.onykiienko@gmail.com.

Оникиенко Юрий Юрьевич - кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры «Биокибернетики и аэрокосмической медицины»; ул. проспект Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина., 03058; e-mail: yurii.onykiienko@gmail.com.

Onykiienko Yurii – candidate of technical sciences (PhD), National aviation university, associate professor of the department «Biocybernetics and Aerospace Medicine»; pr. Komarova, 1, Kyiv, Ukraine, 03058; e-mail: yurii.onykiienko@gmail.com.

УДК: 004.02/.942:159.9.078/.075

Л. М. РИСОВАНА, О. В. ВИСОЦЬКА, І. Ю ПАНФЬОРОВА, Ю. Є. ЗІНЧЕНКО

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПСИХОЕМОЦІЙНИХ РОЗЛАДІВ У ЖІНОК З РІЗНИМ СТАНОМ СІМЕЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

В статті представлено інформаційну технологію визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії, яка забезпечує детальне відображення процесу визначення психоемоційних розладів, зо допомогою проектування IDEF0 діаграм. Отримані результати відображають структурований опис психодіагностичного процесу, який дозволяє визначити психоемоційні розлади і більш чітко уявити психологічну взаємодію осіб, які беруть участь в дослідженні. Дана інформаційна технологія може бути використана психологами і лікарями–психотерапевтами.

Ключові слова: інформаційна технологія, бізнес–процес, IDEF0 діаграми, визначення психоемоційних розладів, сімейна взаємодія.

В статье представлена информационная технология определения психоэмоциональных расстройств у женщин с различным состоянием семейного взаимодействия, которая обеспечивает детальное отображение процесса определения психоэмоциональных расстройств, со помощью проектирования IDEF0 диаграмм. Полученные результаты отражают структурированное описание психодиагностического процесса, которое позволяет определить психоэмоциональные расстройства и более четко представить психологическое взаимодействие лиц, участвующих в исследовании. Данная информационная технология может быть использована психологами и врачами–психотерапевтами.

Ключевые слова: информационная технология, бизнес–процесс, IDEF0 диаграммы, определение психоэмоциональных расстройств, семейное взаимодействие.

The article analyzes the existing methods for the definition of psychoemotional disorders and presents information technology for the definition of psychoemotional disorders in women with various family interaction conditions that contributes to the establishment of a clear structure in the development of the information system and provides a detailed mapping of the process of determining psychoemotional disorders by designing IDEF0 diagrams. The results reflect a structured description of the psychodiagnostic process, which allows to determine psychoemotional disorders and to more clearly represent the psychological interaction of persons participating in the study. The presented technology allows to reduce the time for collection and processing of a large amount of information about the psychoemotional state of a woman and to identify the main risk factors for the development of emotional disorders. This information technology can be used by psychologists and physicians-psychotherapists.

Keywords: information technology, business process, IDEF0 diagrams, definition of psychoemotional disorders, family interaction.

Вступ. На сучасному етапі розвитку Українського суспільства різні політичні, економічні, культурні та соціальні перетворення в Україні призводять до погіршення стану більшої частини населення. Існує ціла група захворювань, які називаються «психогенними захворюваннями». В таких видах захворювань психічний фактор виступає в якості вагомого чинника виникнення психосоматичних хвороб [1].

В свою чергу психосоматичні захворювання вимагають збору як медичного, так і психологічного, і особистісного анамнезу, аналізу життя пацієнта. Структурувати світ людини досить складно і часто поведінка, психоемоційні стани, сімейні, психологічні та соматичні проблеми здаються малозрозумілими і важко пояснити [2].

На сьогоднішній день інститут сім'ї зазначає значних змін. Важливо відмітити, що соціально небезпечне становище родини впливає як на фізичний так і на психологічний стан кожного її члена, причому спостерігаються як легкі медико–біологічні відхилення, так і яскраво виражені захворювання [1–5].

Важливо зазначити, що психоемоційні розлади на фоні сімейної кризи серед жінок поширені на 26 %, в той час як серед чоловіків цей показник становить всього 12 % [3–5].

Одним із пріоритетних напрямків у боротьбі з розповсюдженням психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії є своєчасне визначення факторів, за допомогою яких можна оцінити вплив того чи іншого показника на психоемоційний стан людини [2].

У жінок, які живуть в кризових і некризових родинах, психоемоційні розлади виражені не однаково, інколи навіть вони майже не мають прояву, тому діагностика цих розладів є досить складним завданням. Наявність великої кількості взаємозалежних показників, що характеризують психічні та психологічні розлади, аналіз яких вимагає застосування математичних методів і програмних засобів, визначило необхідність розробки й реалізації інформаційної технології (ІТ) визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії.

Першим етапом розробки будь–якої ІТ є побудова IDEF0 діаграм, яка дозволяє провести аналіз і реорганізацію бізнес–процесів. Розробка IDEF0 діаграм сприяє структурованому опису процесів, які автоматизуються [6]. Таким чином, необхідність розробки IDEF0 діаграми для процесу визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії є актуальною задачею.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В даний час використовується ряд інформаційних технологій та систем. Відома автоматизована система оцінки рівня реабілітаційного потенціалу у жінок, залежних від психоактивних речовин, яка відноситься до психологічної діагностики в наркологічної практиці. Використання даної системи дозволяє визначити фактори, які впливають на формування реабілітаційного потенціалу та ремісії шляхом тестування за допомогою стандартного опитувальника. За допомогою цієї автоматизованої системи оцінюються біологічні та соціальні фактори, особливості споживання психоактивних речовин, а також фактори психологічної групи, які специфічні для молоді у віці 19–32 роки [13]. Недоліком цієї системи є неможливість враховувати психологічні зміни жінок у віці старше 32 років та визначення психоемоційного розладу у жінок, які не вживають психоактивні речовини.

Інформаційна система визначення ризику виникнення психічних розладів у співробітників органів

© Л. М. Рисована, О. В. Висоцька, І. Ю панфьорова, Ю. Є. Зінченко. 2017

внутрішніх справ заснована на проведені оцінки факторів психічної дезадаптації на підставі психологічного тестування за багаторівневим особистісним опитувальником «Адаптивність» та методики «Дослідження тривожності» Ч. Д. Спілбергера-Ю. Л. Ханіна [14]. Недоліком даної системи є те, що вона не враховує стан сімейної взаємодії, тому стає неможливим визначення психоемоційного розладу на фоні наявності чи відсутності сімейної кризи.

Діагностичний програмно–апаратний комплекс CMS (Current Mental State), в основі якого покладена технологія оцінки психічного стану людини за фізіологічними даними (кардіоритмограма) [15], була розроблена для виявлення кризових ситуацій в родині. Але недоліком цієї технології є відсутність дослідження особистості та самореалізації жінки, що не дозволяє визначити саме причину кризової ситуації, що впливає на стан сім'ї.

Європейська інформаційна система визначення психічного здоров'я, що являє собою систему збору, обробки, аналізу, зберігання, розповсюдження інформації про надання психічної та психіатричної допомоги населенню, дозволяє приймати рішення в усіх аспектах системи охорони психічного здоров'я [16]. Недоліком цієї системи є складність її використання.

Комплекс комп'ютерних систем для діагностики і профілактики старіння, а також для задач загального оздоровлення, біоактивації і оцінки психічної працездатності. Системи містять постійно оновлюваний довідковий матеріал з інструкціями користувача [17] За допомогою комплексу комп'ютерних систем «Стрес-Плюс», «Антистрес» і «Оцінка психічної працездатності» проводиться оцінка рівня стресу і можливостей систем адаптації організму. Системи оцінки психічної працездатності дозволяє проводити анкетування в автоматичному режимі, проводити ряд тестів з використанням комп'ютера, автоматично обробляти дані анкетування, будувати за даними тестів графіки, видавати в автоматичному режимі висновок і супроводжувати його коментарями, вести базу даних пацієнтів, проводити роздруківку графіків і текстів з текстового редактора [17]. Навчально–дослідницька програма «Антистрес» дозволяє: проводити стимуляцію, розслаблення або комбінований вплив ритмами шляхом задавання їх частоти і кольору миготіння, а також супроводжувати програми звуковими файлами. Програми імітують ритми мозку. Комп'ютерна система «Стрес–Плюс» призначена для оперативного визначення ряду показників стресу і адаптації людини. Програма містить ряд тестів для визначення параметрів стресу і адаптації [17], а саме: оцінку вродженої стресостійкості та особистісної тривожності; тест на стресовий стан; тести на збереження концентрації і уваги; нейро–м'язовий тест і тест з фізичного та інтелектуального навантаження; тести на наявну нервову напругу, тощо. Недоліками цих систем є неможливість визначення сімейної взаємодії, в наслідок чого стає неможливим виявлення психоемоційних розладів на фоні сімейної кризи.

Психолого-педагогічна система моніторингу стану здоров'я студентів, яка оцінює рівень психічного і фізичного здоров'я за результатами медичного огляду [18]. В результаті оцінки психоемоційного стану за допомогою даної системи, стає можливим виявлення емоційних розладів тільки у студентської молоді. Також недоліком даної системи є те, що для складання повного звіту про рівень психічного і фізичного здоров'я студентів в університеті доводиться залучати працівників навчально–методичного управління. Крім того, звіти з оцінки рівня психічного здоров'я студентів доводиться складати вручну.

Комп'ютерна програма "Порушення психіки" для оцінки поточного стану психіки, дозволяє залучати клінічні феноменологічні стандарти як психічної норми, так і варіантів її патології, а стан пацієнта постійно і багаторазово зіставляється з ними в процесі обстеження [19]. Дана програма використовується для відстеження зміни психічного стану пацієнтів, оцінки впливу різних чинників на психічний стан пацієнтів, для самоконтролю психічного стану в процесі різних видів діяльності і тренінгу. Але дана програма використовується для роботи з психічно хворими пацієнтами.

АПК «Амсат-Коверт» дозволяє визначити психічний стан людини, вивчивши параметри шкірної електропровідності [20]. Недоліком даного методу є наявність великого кількість вихідної інформації, яка формується на підставі тільки одного електрографічного обстеження.

Аналіз існуючих систем і технологій, які дозволяють визначати психоемоційні розлади, показав, що головним недоліком є відсутність коректного визначення психоемоційного стану саме жінки. Недостатньо приділяється уваги і до особистісного розвитку жінки, що унеможливлює приділити достатньо уваги до глибокого вивчення проблеми. Серед інформаційних технологій було виявлено дефіцит саме тих, що дозволяють визначати психоемоційні розлади з урахуванням наявності або відсутності сімейної кризи.

Ціль та задачі дослідження. Аналіз і використання інформаційного та функціонального моделювання дозволить описати процес визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії, що сприятиме встановленню чіткої структури при розробці інформаційної системи.

Отже, метою роботи є розробка інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії і побудова моделі потоків даних за допомогою IDEF0 діаграм, які дозволять візуалізувати цей процес.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі задачі:

– провести аналіз існуючих засобів визначення психоемоційних розладів;

– запропоновувати інформаційну технологію визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії.

Розробка інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії. Була побудована функціональна модель процесу визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії з використанням CASE–засобу All Fusion Process Modeler r7.3 (BPwin), який підтримує методологію IDEF0 (функціональна модель), IDEF3 (WorkFlowDiagram) і DFD (DataFlowDiagram).

На першому кроці створення IDEF0 діаграми нами було описано всі її елементи: вхід, вихід, управління, механізм і роботу. На рис. 1 приведено контекстну діаграму інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії.

Для даного бізнес–процесу необхідні: нормативна документація, факторний аналіз, регресійний аналіз, алгоритм захисту інформації AES, самоактуалізаційний тест, опитувальник вираженості психопатологічної симптоматики, опитувальник Кеттелла, опитувальник Локус контролю, опитувальник оцінки сімейної кризи.

На вхід математичної моделі надходять паспортні дані, анамнез життя та результати психоемоційного тестування пацієнта. Механізмом даної моделі є лікар або медичний психолог. На виході моделі отримуємо звіт про відвідування медичного психолога «Протоколи (журнал) індивідуальних консультацій» або витяг з форми №003/о «Картка стаціонарного хворого».

Роботою математичної моделі є визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії.

Для більш детального опису інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії була побудована діаграма декомпозицій першого рівня, яка представлена на рис. 2.

Модель визначення психоемоційних розладів у жінок включає в себе чотири важливих процеси: «Реєстрація даних про пацієнта», «Обробка результатів тестів», «Визначення факторів оцінки психоемоційних розладів», «Формування звіту».

На початковому етапі надання медичної допомоги вносяться паспортні дані, анамнез життя та результати тестування та опитування пацієнта, а на наступному етапі проводиться обробка цих даних. Далі визначаються фактори, за допомогою яких відбувається оцінка психоемоційного стану. На останньому етапі формується звіт про відвідування медичного психолога або витяг з форми №003/о.

Результатом роботи «Реєстрація даних про пацієнта» є масив даних про пацієнта, який приходить на вхід роботи «Обробка результатів тестів», результатом якого є отримання закодованих та відфільтрованих даних.

Початком для роботи «Визначення факторів оцінки психоемоційних розладів» є дані, отримані з попередньої роботи. Результатом «Визначення факторів оцінки психоемоційних розладів» є інформація про фактори та індекс визначення психоемоційних розладів, на підставі яких визначаються основні психоемоційні розлади у жінок, які живуть в родинах з різним станом сімейної взаємодії.

Ця інформація використовується у роботі «Формування звіту», в якій формується «Протокол (журнал) індивідуальних консультацій» або витяг з картки стаціонарного хворого.

Таким чином, процес «Визначення факторів оцінки психоемоційних розладів», зазначений на діаграмі першого рівня, деталізується за допомогою шести функцій на діаграмі другого рівня (рис. 3).

Даний процес містить у собі такі роботи: «Підготовка вихідної матриці результатів психоемоційного тестування», «Обчислення критерію адекватності вибірки Кайзера-Мейера-Олкіна (КМО)», «Виділенні факторів», «Отримання факторних навантажень методом обертання варимакс», «Визначення факторних значень», «Виявлення психоемоційних розладів». Всі зазначені етапи пов'язані між собою.

Результатом першої роботи є матриця вихідних даних, яка є вхідною інформацією для виконання роботи «Обчислення критерію адекватності вибірки Кайзера-Мейера-Олкіна (КМО)». На виході другої роботи отримуємо матриці взаємозв'язків змінних між собою, яка надходить на початок роботи «Виділенні факторів», де формується матриця–компонент. Далі дані прямують на вхід «Отримання факторних навантажень методом обертання варимакс», а на виході отримуємо матрицю повернених компонент методом обертання за Варімаксом з нормалізацією Кайзера. Повернена матриця є входом до п'ятої роботи «Виявлення факторних значень», а на виході отримуємо матрицю перетворення компонент, яка поступає на вхід останньої роботи. На виході останньої роботи «Виявлення психоемоційних розладів» отримуємо фактори, за допомогою яких визначаються психоемоційні розлади.

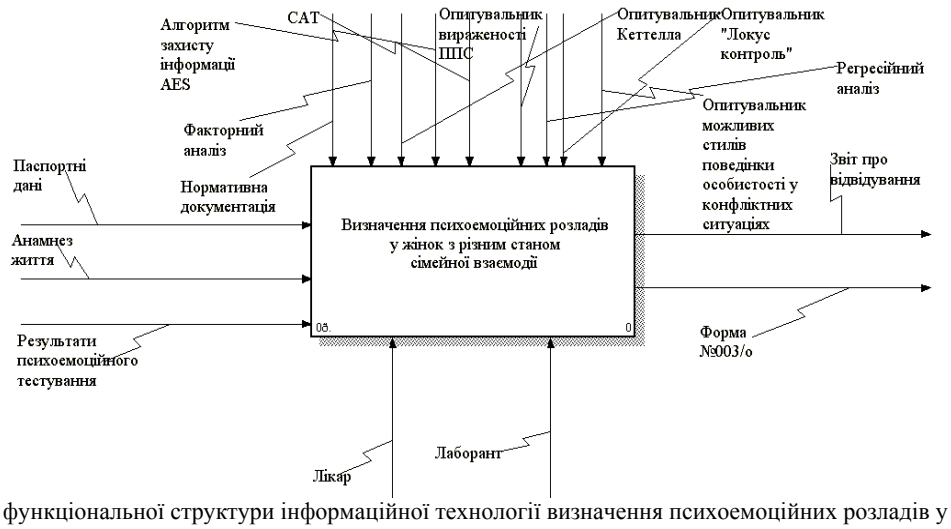


Рис. 1 – Схема функціональної структури інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії (контекстна діаграма)

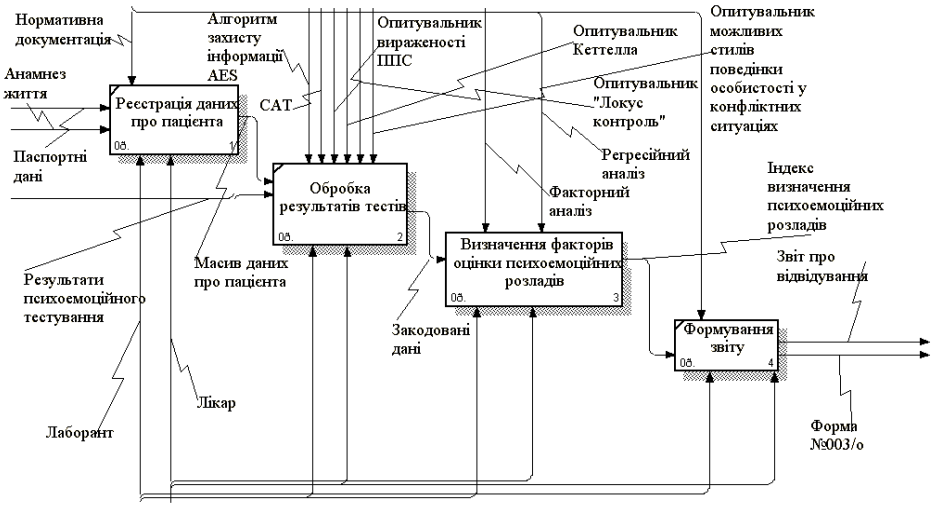


Рис. 2 – Схема функціональної структури інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії (декомпозиція 1–го рівня)

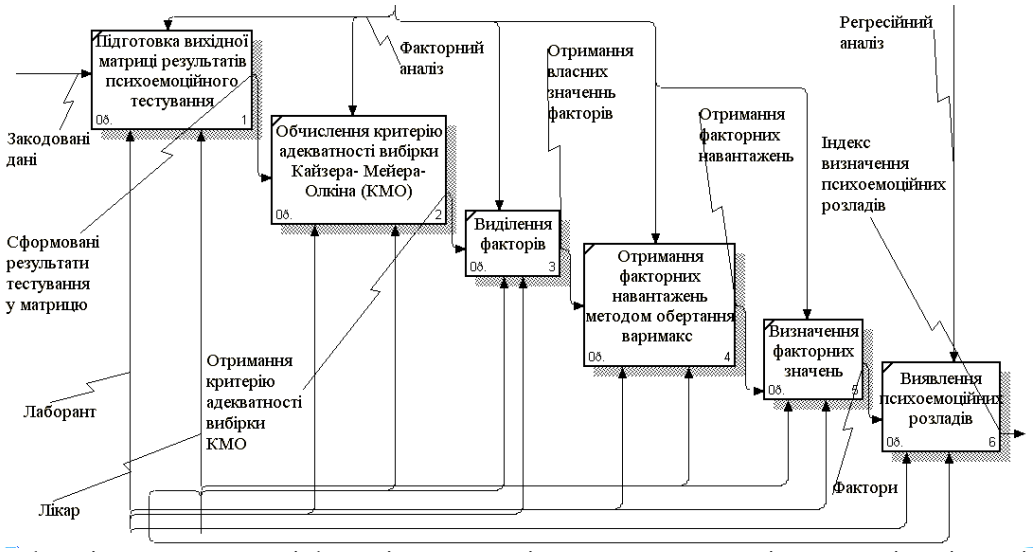


Рис. 3 – Схема функціональної структури інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії (декомпозиція процесу «Визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії»)

Висновки. Таким чином, в роботі описано інформаційну технологію визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії. Спроектовані IDEF0 діаграми є початковим етапом процесу створення інформаційної технології визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії. Представлена технологія дозволяє скоротити час на збір та обробку великого обсягу інформації про психоемоційний стан жінки і визначити основні фактори ризику розвитку емоційних порушень. Дана інформаційна технологія буде корисна психологам і лікарям–психотерапевтам.

Список літератури:

1. *Фальова, О. Є.* Актуальний психоемоційний стан кризисних сімей, розлучених жінок та жінок зі звичайних сімей [Текст] / *О. Є. Фальова* // Теорія і практика управління соціальними системами. – 2013. – № 4. – С. 112–122.
2. *Rysovana, L.* Factor analysis of crisis emergence in family relations, contributing to the development of dyscirculatory encephalopathy [Text] / *L. Rysovana, O. Vysotska, H. Falyova, M. Georgiyants, V. Klymenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 4 (85). – P. 40–49. doi: 10.15587/1729-4061.2017.91428
3. *Качанная, О. И.* Семейные кризисы и пути их преодоления [Текст] / *О. И. Качанная* // Молодой ученый. – 2011. – Т. 2, № 10. – С. 141–145.
4. *Верещагина, А. В.* Кризис традиционной семьи и альтернативы развития института семьи в России: теоретический анализ с позиций синергетической парадигмы [Текст] / *А. В. Верещагина, С. И. Самыгин* // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 3. – С. 135–147.
5. *Falyova, H.* Peculiarities of interconnection of self–actualization and psychopathological symptomatology of women and men from the crisis families [Text] / H. *Falyova, H. Vysotckaya* // Modern European Researches. – 2016. – Issue 1. – P. 11–18.
6. *Елиферов, В. Г.* Бизнес-процессы. Регламентация и управление [Текст] / *В. Г. Елиферов, В. В. Репин*. – М.: НИЦ ИНФРА–М, 2013. – 319 с.
7. *Черемных, С. В.* Структурный анализ систем: IDEF-технологии [Текст] / *С. В. Черемных, И. О. Семенов, В. С. Ручкин*. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 208 с.
8. *Висоцька, О. В.* Функціональна модель інформаційної системи визначення ступеня тяжкості колоректального раку [Текст] / *О. В. Висоцька, І. Ю. Панфьорова, А. С. Козюк, Г. С. Доброродня* // Спеціалізовані системи, мережі та інформаційні технології. – 2016. – № 4 (78). – С. 69–76.
9. *Репин, В. В.* Бизнес-процессы: Моделирование, внедрение, управление [Текст] / *В. В. Репин*. – М.: Манн, Иванов и Фебер, 2014. – 512 с.

10. *Кузнецов, М. В.* MySQL 5. В подлиннике [Текст] / *М. В. Кузнецов, И. В. Симдянов.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 1007 с.
11. *Самуйлов, К. Е.* Основы формальных методов описания бизнес-процессов [Текст] / *К. Е. Самуйлов, Н. В. Серебренникова, А. В. Чукарин, Н. В. Яркина*. – М.: РУДН, 2008. – 130 с.
12. *Кнышов, Г. В.* Особенности проектирования медицинской информационной системы поддержки принятия решений, основанной на интеллектуальном анализе данных [Текст] / *Г. В. Кнышов, А. В. Руденко, Е. А. Настенко, А. В. Яковенко, С. О. Сиромаха, С. С. Галич* // Кибернетика и вычислительная техника. – 2014. – № 177. – С. 79–87.
13. Пат. № WO 2011056053 A1. Способ оценки уровня реабилитационного потенциала у лиц, зависимых от психоактивных веществ. A61B5/16, A61B5/16H, G06F19/36A, G06F19/34N [Текст] / *Катков А. Л., Ережепов Н. Б., Юссопов О. Г.* – № PCT/KZ2009/000019; заявл. 05.10.2009; опубл. 12.05.2011. – Режим доступа: https://www.google.com/patents/WO2011056053A1?cl=ru
14. Способ определения риска возникновения психической дезадаптации у сотрудников органов внутренних дел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://edrid.ru/rid/216.013.6621.html
15. Система диагностики психического состояния [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://1tulatv.ru/news/2016/12/16-64173-v-tule-poyavitsya-sistema-diagnostiki-psihicheskogo-sostoyaniya.html
16. Mental health information systems [Text]. – World Health Organization. – Switzerland, 2005. – 100 p.
17. Информационная система диагностики и профилактики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.moscowuniversityclub.ru/home.asp?artId=11828
18. *Ковалева, С. Н.* Психолого-педагогическая система мониторинга состояния здоровья студентов вуза [Электронный ресурс] / *С. Н. Ковалева* // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 12. – С. 92–96. – Режим доступа: http://e-koncept.ru/2017/770229.htm
19. Метод оценки текущего психического состояния [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://osteo-spb.ru/stati/metod-ocenki-tekuschego-psihicheskogo-so.html
20. Психика женщины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.megamedportal.ru/articles/psihiatriya/psihika_zhenshhini.html

Bibliography (transliterated):

1. Falova, O. Ye. (2013). Aktualnyi psykhoemotsiynyi stan kryzysnykh simei, rozluchenykh zhinok ta zhinok zi zvychainykh simei. Teoriya i praktyka upravlinnia sotsialnymy systemamy, 4, 112–122.
2. Rysovana, L., Vysotska, O., Falyova, H., Georgiyants, M., Klymenko, V. (2017). Factor analysis of crisis emergence in family relations, contributing to the development of dyscirculatory encephalopathy. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (4 (85)), 40–49. doi: 10.15587/1729-4061.2017.91428
3. Kachannaya, O. I. (2011). Semeynye krizisy i puti ih preodoleniya. Molodoy uchenyy, 2 (10), 141–145.
4. Vereshchagina, A. V., Samygin, S. I. (2014). Krizis tradicionnoy sem'i i al'ternativy razvitiya instituta sem'i v Rossii: teoreticheskiy analiz s pozicii sinergeticheskoy paradigm. Inzhenernyy vestnik Dona, 3, 135–147.
5. Falyova, H., Vysotckaya, H. (2016). Peculiarities of interconnection of self–actualization and psychopathological symptomatology of women and men from the crisis families. Modern European Researches, 1, 11–18.
6. Eliferov, V. G., Repin, V. V. (2013). Biznes-processy. Reglamentaciya i upravlenie. Moscow: NIC INFRA–M, 319.
7. Cheremnyh, S. V., Semenov, I. O., Ruchkin, V. S. (2003). Strukturniy analiz sistem: IDEF-tekhnologii. Moscow: Finansy i statistika, 208.
8. Vysotska, O. V., Panforova, I. Yu., Koziuk, A. S., Dobrorodnia, H. S. (2016). Funktsionalna model informatsiynoi systemy vyznachennia stupenia tiazhkosti kolorektalnoho raku. Spetsializovani systemy, merezhi ta informatsiini tekhnolohiyi, 4 (78), 69–76.
9. Repin, V. V. (2014). Biznes-processy: Modelirovanie, vnedrenie, upravlenie. Moscow: Mann, Ivanov i Feber, 512.
10. Kuznecov, M. V., Simdyanov, I. V. (2010). MySQL 5. V podlinnike. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 1007.
11. Samuylov, K. E., Serebrennikova, N. V., Chukarin, A. V., Yarkina, N. V. (2008). Osnovy formal'nyh metodov opisaniya biznes-processov. Moscow: RUDN, 130.
12. Knyshov, G. V., Rudenko, A. V., Nastenko, E. A., Yakovenko, A. V., Siromaha, S. O., Galich, S. S. (2014). Osobennosti proektirovaniya medicinskoy informacionnoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy, osnovannoy na intellektual'nom analize dannyh. Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika, 177, 79–87.
13. Katkov, A. L., Erezhepov, N. B., Yussopov, O. G. (2009). Pat. No. WO 2011056053 A1. Sposob ocenki urovnya reabilitacionnogo potenciala u lic, zavisimyh ot psihoaktivnyh veshchestv. A61B5/16, A61B5/16H, G06F19/36A, G06F19/34N. No. PCT/KZ2009/000019; declareted: 05.10.2009; published: 12.05.2011. Available at: https://www.google.com/patents/WO2011056053A1?cl=ru
14. Sposob opredeleniya riska vozniknoveniya psihicheskoy dezadaptacii u sotrudnikov organov vnutrennih del. Available at: https://edrid.ru/rid/216.013.6621.html
15. Sistema diagnostiki psihicheskogo sostoyaniya. Available at: https://1tulatv.ru/news/2016/12/16-64173-v-tule-poyavitsya-sistema-diagnostiki-psihicheskogo-sostoyaniya.html
16. Mental health information systems (2005). World Health Organization. Switzerland, 100.
17. Informacionnaya sistema diagnostiki i profilaktiki. Available at: http://www.moscowuniversityclub.ru/home.asp?artId=11828
18. Kovaleva, S. N. (2017). Psihologo-pedagogicheskaya sistema monitoringa sostoyaniya zdorov'ya studentov vuza. Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal «Koncept», 12, 92–96. Available at: http://e-koncept.ru/2017/770229.htm
19. Metod ocenki tekushchego psihicheskogo sostoyaniya. Available at: http://osteo-spb.ru/stati/metod-ocenki-tekuschego-psihicheskogo-so.html
20. Psihika zhenshchiny. Available at: https://www.megamedportal.ru/articles/psihiatriya/psihika_zhenshhini.html

Поступила (received) 29.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Інформаційна технологія визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії/ Рисована Л. М., Висоцька О. В., Панфьорова І. Ю., Зінченко Ю. Є. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.141–146. – Bibliogr.:20. – ISSN 2079-5459

Информационная технология определения психоэмоциональных расстройств у женщин с различными состояниями семейного взаимодействия/ Рисованая Л. М., Высоцкая Е. В., Панферова И. Ю., Зинченко Ю. Е. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.141–146. – Bibliogr.:20. – ISSN 2079-5459

Information technology of the determination of psychoemotional disorders in women with different state of family interaction/ Rysovana L., Vysotska O., Panforova I., Zinchenko Yu. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.141–146. – Bibliogr.:20. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Рисована Любов Михайлівна – асистент кафедри "Медична та біологічна фізика і медична інформатика", Харківський національний медичний університет, пр. Науки, 4, м. Харків, Україна, 61022;

Висоцька Олена Володимирівна – доктор технічних наук, професор кафедри "Інформаційні керувальні системи", Харківський національний університет радіоелектроніки, п.р. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166

Панфьорова Ірина Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри "Інформаційні керувальні системи", Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166;

Зінченко Юлія Євгенівна – студентка кафедри "Біомедичної інженерії", Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: pharjul@ukr.net.

Рисованая Любовь Михайловна – ассистент кафедры "Медицинская и биологическая физика и медицинская информатика", Харьковский национальный медицинский университет, пр. Науки, 4, г. Харьков, Украина, 61022; e-mail: rluba_24@ukr.net.

Высоцкая Елена Владимировна – доктор технических наук, профессор кафедры "Информационные управляющие системы", Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: olena.vysotska@nure.ua.

Панферова Ирина Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры "Информационные управляющие системы", Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: iren@kture.kharkov.ua.

Зинченко Юлия Евгеньевна – студентка кафедры "Биомедицинской инженерии", Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: pharjul@ukr.net.

Rysovana Lyubov – assistant, Department of Medical and Biological Physics and Medical Informatics, Kharkiv National Medical University, Nauky ave., 4, Kharkov, Ukraine, 61022; e-mail: rluba_24@ukr.net.

Vysotska Olena – Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Information Control Systems, Kharkov National University of Radio Electronics, Nauky ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; e-mail: olena.vysotska@nure.ua.

Panforova Iryna – Cand. Sc. (Technology), Associate Professor of the Information Control Systems Department of the Kharkiv National University of Radioelectronics, Nauky ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166;

Zinchenko Yuliia – Student Department of Biomedical Engineering, Kharkov National University of Radio Electronics, Nauky ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; e-mail: pharjul@ukr.net.

УДК 504.064

С. В. ТЫНЫНА, И. И. ЧОБОТЬКО

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗГОРАЕМОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

В статье приведен анализ статистики по горящим и не горящим породным отвалам в Украине, рассмотрены основные типы породных отвалов их достоинства и недостатки, особенности формирования, проблемы эксплуатации породных отвалов и их техногенные угрозы. Методы нормализации теплового состояния отвалов, создание закладочных массивов с использованием смесей из пустых пород, уменьшение объема выработанного пространства и площадей отводимых под отвалы, мероприятия по ликвидации очагов возгорания, предотвращение размыва склона породных отвалов. Утилизация при помощи соляных и гипсовых шахт.

Ключевые слова: статистика, породные отвалы, техногенные угрозы, обьем, ликвидация, очаг возгорания, смеси, закладочный массив, утилизация.

У статті наведений аналіз статистики по палаючим та не палаючим породним відвалам в Україні, розглянуті основні типи породних відвалів їх переваги та недоліки, особливості формування, проблеми експлуатації та їх техногенні загрози. Методи нормалізації теплового стану відвалів, створення закладного масиву з використанням сумішей з порожніх порід, зменшення об´єму відпрацьованого простору та площі, які відводяться під відвали, заходи по ліквідації вогнищ займання, запобігання розмиву схилу породних відвалів. Утилізація за допомогою соляних та гіпсових шахт.

Ключові слова: статистика, породні відвали, техногенні загрози, об´єм, ліквідація, вогнище займання, суміші, закладний масив, утилізація

There is an analysis of statistics in the article about the fiery and non–fiery waste rock pile in Ukraine, the main types of the waste rock pile are considered, their advantages and disadvantages forming features exploitation problems and man–made disasters. Nevertherless, the normalization of the termal condition of the waste rock pile the creation of filling masses with the use of gob mixtures, shrinkage the drown space and the area which is appropriated for the waste rock pile,measures of elimination the fire´s origin point, prevention actions of waste rock pile erosioned slopes. Utilization with the ase of salt and gypsum mines.

The conditions of the rock heaps for the years 2013, 2014, 2015 are also determined, the main factors influencing the external and internal processes that occur in the dumps are determined. The categories of environmental hazard have been established for the environment. The measures of struggle against these phenomena in the form of land reclamation, protection of slope dumps from washing out, creation of packing massifs are considered.

Keywords: statistics, waste rock pile, man–made disasters, mixtures, filling mass, utilization.

© С. В. Тынына, И. И. Чоботько. 2017

Введение. В Украине насчитывается 1500 породных отвалов, их занимаемая площадь около 165 тыс. га (4 % территории Украины).

До недавнего времени вопросам теории и практики отвалообразования не уделялось должного внимания, хотя отвальные работы составляют значительную часть всего комплекса горных работ.

С ростом добычи полезных ископаемых объемы отвальных работ по видам механизации укладки породы в отвал будут увеличиваться [1].

Породные отвалы содержат значительное количество полезного ископаемого, в составе которого содержится пирит и сернистый ангидрит.

Вместе эти два компонента вызывают серьезные проблемы в виде возникновения очагов горения при проникновении влаги и повышенной температуры окружающей среды. Поэтому столь важен контроль нормализации температурного состояния отвалов для борьбы с горением и безопасности эксплуатационных работ.

Анализ статистики. На диаграмме (рис. 1) изображено количество горящих и не горящих и выведенных из эксплуатации породных отвалов на Донецкой (А) и Луганской (Б) областях по типам за 2013 г. [12].

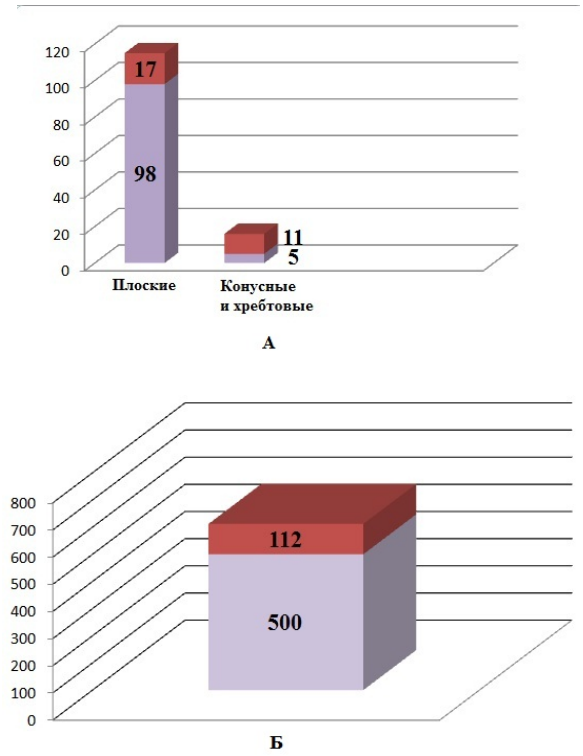


Рис. 1 – Диаграмма количества горящих и не горящих и выведенных из эксплуатации породных отвалов на Донецкой и Луганской областях. Состояние породных отвалов: А – действующих; Б – выведенных из эксплуатации; – не горят; – горят

По данным на 01.01.2014 г. на вне балансовых счетах предприятий, которые принадлежат к Минэнергоуглю Украины находится 365 действующих и недействующих породных отвала (рис. 2) [13].

Исходя из статистических данных по породным отвалам Украины за 2015 г., (табл. 1) в Донецкой области сосредоточено 66 % потенциально опасных горящих отвалов [11].

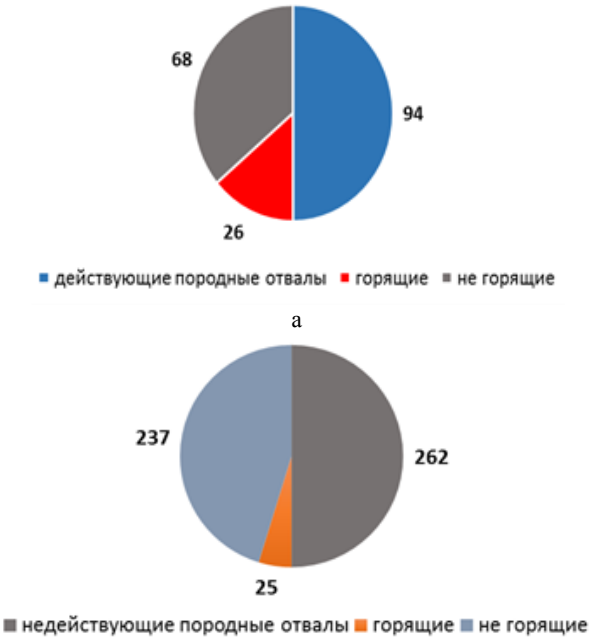


Рис. 2 – Отвалы Украины: а – действующие, б – недействующие

Таблица 1 – Статистические данные по породным отвалам

регионы	отвалы	горящие	не горящие
Донецкий	246	69	177
Луганский	280	36	244
Львовско–Волынский	9	2	7

Типы породных отвалов. Отвал – насыпь, которая образуется вследствие укладки на местности отходов обогащения или пустой породы [2].

В зависимости от способа укладки материала отвалы делятся на следующие виды (рис. 3).

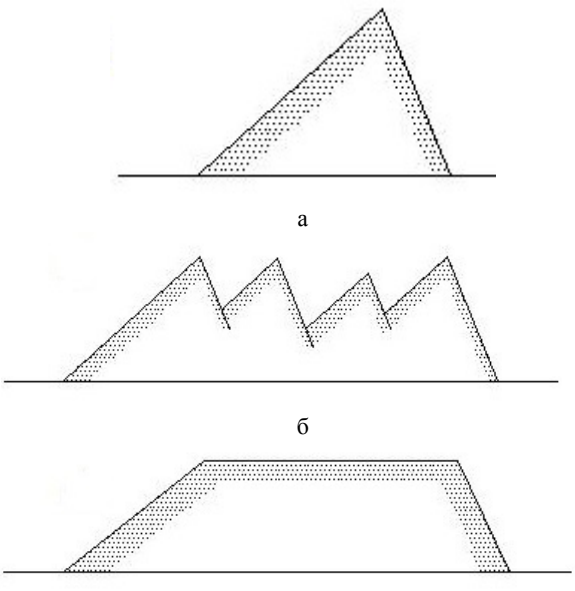


Рис. 3 – виды отвалов: а – конические; б – хребтовые; в – плоские

Конический породный отвал (терриконик) создается при откатывании породы опрокидывающимися вагонетками или скипами.

К **достоинствам** отвалов можно отнести занимаемую малую площадь, высоту около 100 м и углы откосов 45°.

Недостатки: запыление, горение терриконов приводит к значительному изменению состава атмосферного воздуха и выпадению кислотных дождей, т.к. из одного горящего отвала за сутки в среднем выделяется в атмосферу 4–5 т оксидов углерода и от 600 до 1100 кг сернистого ангидрида. Небольшие количества сероводорода, оксидов азота и других продуктов горения более 600°. С и выше подвержены размыву, являются источниками радиоактивного излучения, по их отсыпку отводятся плодородные земли, что приводит к обеднению последних.

Хребтовые создаются при вывозе породы вагонетками подвесной канатной дороги или конвейерами.

Достоинства: большая приемная способность, т.е. могут разгружаться несколькими вагонетками, подвесной дорогой или конвейерами.

Недостатки: большая занимаемая площадь, несколько десятков гектар, внутренние процессы окисления вследствие попадания влаги.

Плоские создаются при вывозе отходов (породы) в самосвалах и формировании штабеля при помощи бульдозеров, находятся в ближайшем от предприятия понижении рельефа.

Достоинства: сглаживание рельефа местности и формирования определенного ландшафта, увеличение объемов складирования породы и возможности дальнейшего функционирования комплекса «шахта – породный отвал», быстрая разгрузка, не требуют подвода путей вагонеток, конвейеров и канатных дорог в связи с близким расположением к предприятию.

Недостатки: увеличение площади основания породного отвала и одалживание из оборота земель, нарушение установившегося равновесия системы «породный отвал – окружающая природная среда» при его перепрофилировании, повышенное пылегазовыделение и рост контакта с окружающей природной средой за счет изменения площади боковой поверхности породного отвала. Так как окислительные процессы могут подниматься на поверхность штабеля, возникают трудности с рекультивацией данного типа отвала.

Проблемы эксплуатации отвалов. Проблемы эксплуатации отвалов связаны с внешними и внутренними процессами, протекающими в породных отвалах. К внешним процессам относится воздействие на поверхность породных отвалов, изменяющейся температуры окружающей атмосферы, осадков, ветра, которое приводит к разрушению части крупных кусков до размеров пыли. В сухую погоду эта пыль ветром сдувается с отвалов и уносится на значительные расстояния, загрязняя атмосферу. Установлено, что концентрация пыли при скорости ветра 3–3,5 м/сек и влажности воздуха 90% на расстоянии 150 м от породных отвалов составляет 10–15 мг/м^3. К внутренним процессам отвалов относится окисление, протекающее с выделением большого количества тепловой энергии. Это приводит к самовозгоранию углей или пород, содержащих уголь, который сорбирует на своей поверхности из воздуха молекулярный кислород, образуя с углеродом нестойкое пероксидное соединение. Последнее легко разлагается, выделяя при этом активный кислород, окисляющий уголь и превращающий его в богатые кислородом стойкие соединения [3].

Выделяют следующие основные стадии геомеханических процессов внутри отвалов [1, 4]:

– газообмен на контакте поверхности отвальной породы с адсорбцией и десорбцией кислорода;

– окисление пород с эндогенным нагревом;

– термическое разложение пород;

– теплообмен внутри массива отвала и с внешней средой.

Так как этот процесс экзотермический, то он сопровождается повышением температуры, ускоряющим процесс окисления, что в конечном счете, приводит к самовозгоранию. В горении отвальной породы выделяют несколько стадий: самонагревание влажной горной породы вследствие биохимического и химического окислительного выщелачивания пирита, завершающееся образованием в ней химического реактора; прогревание химическим реактором поверхностного слоя горной породы и обогащение его элементарной серой; воспламенение паров серы на воздухе вблизи поверхности самонагревающейся горной породы при температуре 248…261°. С; возникновение устойчивого горения десорбирующегося метана, продуктов термической деструкции и газификации горной породы согласно Уханевой М. И. [5]. Для предотвращения горения важны процессы перепрофилирования породных отвалов, они достаточно трудоемки, опасны и распределены во времени. Особенное место отводится в этом случае горящим породным отвалам, а их по статистике около 30 % от общего числа. В соответствии с правилами горящие породные отвалы необходимо потушить, а лишь только потом возможно начать их разборку [6]. Тушение горящих породных отвалов включает в себя определение очагов пожаров (температурная съемка), их оконтуривание, непосредственно тушение до тех пор, пока температурная съемка не позволит оценить состояние породного отвала как не горящего [7].

Для анализа статистики загрязнения окружающей среды были отобраны 224 пробы воздуха вблизи породных отвалов, 123 из которых анализировались на окись углерода, а остальные на сернистый газ (табл. 2) [8].

Таблица 2 – Содержание вредных газов в атмосфере

Расстояние от отвала, м	Концентрация газа, мг/м^3			
	CO		SO_2	
	максимальная	средняя	максимальная	средняя
Шахта им. Ленина				
0	62,5	12,02	1,67	0,63
100	125	22,03	1,05	0,75
300	125	76,66	1,65	0,83
800	62,5	21,60	–	–
Шахта им. Артема				
0	125	31,4	–	–
100	125	43,82	–	–
300	62,5	46,25	–	–
800	60,5	30,66	–	–

Анализ полученных данных показывает, что атмосфера на расстоянии до 800 м от горящих отвалов интенсивно загрязняется сернистым газом и окисью углерода.

В угледобывающих районах Украины горящие породные отвалы шахт и обогатительных фабрик выделяют в сутки в среднем: 9,7 т CO; 150 тыс. т CO_2, 14 тыс. т SO_2; 0,4 т H_2S; и 0,07 т ($NO + NO_2$). Классификация терриконов по степени экологической опасности природных отвалов приведена в (табл.3).

I степень – максимальная потенциальная экологическая опасность для окружающей среды (объекты находятся непосредственно у подножия террикона);

II степень – средняя потенциальная экологическая опасность для окружающей среды (объекты находятся в пределах охранной зоны, то есть до 500 м);

III степень – слабая потенциальная экологическая опасность для окружающей среды (объекты находятся в пределах от 500 до 1000 м);

IV степень – относительная потенциальная экологическая опасность для окружающей среды (объекты находятся в пределах от 1000 до 2000 м);

V степень – косвенная потенциальная экологическая опасность (объекты находятся далее 2000 м) [9].

Горящие отвалы представляют большую опасность для обслуживающих их рабочих и добычного оборудования, т. к. на поверхности отвала воронки не всегда имеют открытый выход, он может перекрываться тонким слоем спекшихся пород, которые легко обрушаются при движении по ним человека. Особенно часто такие воронки встречаются на контакте с рыхлыми частями ствола, которые приурочены к выгоревшим, но не уплотнившимся участкам, у трещин разлома и оседания, где есть свободный доступ атмосферного воздуха к очагам горения газов, выходящих из глубины отвала, и выход продуктов сгорания [8]. На таких отвалах могут происходить случаи взрыва и гибели людей вследствие отравления и попадания их в очаги горения, температура в которых достигает 800–900° С.

Таблица 3 – Классификация терриконов по степени экологической опасности

Степень воздействия	Виды экологической опасности					
	воздействие на жителей населенных пунктов	Воздействие на почвенный покров		воздействие на кормовые угодья	воздействие на речную сеть	воздействие на водоемы
		приусадебных участков	Пахотных земель			
I	28%	38%	18%	16%	9%	14%
II	30%	42%	38%	34%	34%	39%
III	14%	12%	5%	24%	27%	20%
IV	26%	5%	12%	23%	9%	15%
V	3%	3%	27%	3%	20%	14%

Меры борьбы. Меры борьбы с возгоранием породных отвалов представляют собой захоронение отходов в подземном пространстве выработок шахт и рудников, рекультивацию отвалов приведенную на (рис. 4), создание закладочных массивов в закрывающихся угольных шахтах с использованием смесей из пустых пород [10].

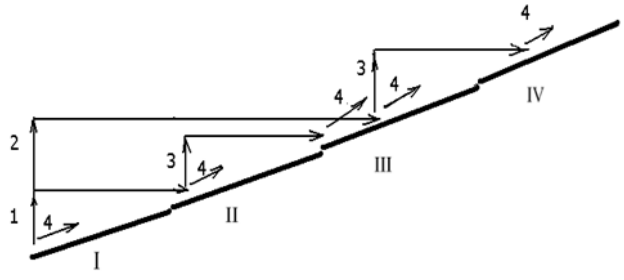


Рис. 4 – Схема рекультивационных и регулирующих воздействий (регулирующей рекультивации) на развитие растительного покрова техногенных земель на примере породных отвалов угольных шахт

I, II, III, IV – стадии естественной сукцессии от пионерных бактериально–водорослево–сосудистых (I) через стадии бурьянистых (II) и корневищных (III) сообществ к дерновинно–злаковым и древесно–кустарниковым (IV) биогеоценозам; 1 – переформирование отвала и выполаживание склонов; 2 – формирование искусственной почвы; 3 – создание рекультивационных насаждений; 4 – регулирование пространственной и видовой структуры биогеоценозов, их динамики.

Согласно исследованиям, проведенным в ДИОС, такие меры позволяют ослабить процессы оседания земной поверхности и восстановить водоупоры.

Для уменьшения размыва склонов необходимо предусматривать сбор воды на террасах и ее отвод через специальные трубы по склону. Важным является озеленение наклонной части отвала, которое можно выполнить следующими способами:

1. На склонах укладывать крупные куски породы, промежутки между ними заполнять плодородным слоем.

2. Для удержания плодородного слоя от вымывания предусматривать укладывание на склонах специальных железобетонных решеток или сетей из капрона.

3. Для защиты склонов от вымывания предусматривать посадку специально отобранных трав и кустарников. Все эти меры значительно улучшат экологическую обстановку угольных регионов [8].

Внешние отвалы пустых пород имеют высоту более 100 м. Отвалы отсыпаются в несколько ярусов по 15–40°м, в результате чего образуется пересеченный рельеф. При этом вскрышные породы перемешиваются, и на поверхность отвалов укладываются малоплодородные, скальные, а иногда и абсолютно непригодные для произрастания растений горные породы.

Рациональное землепользование предусматривает уменьшение объема выработанного пространства и сокращения площадей, отводимых под отвалы за счёт

увеличения доли внутренних отвалов и оптимизации параметров внешних.

Исходя из зарубежного опыта, наиболее пригодны для утилизации отходов гипсовые и соляные шахты. Как известно, соли, гипс, вмещающие их породы являются устойчивыми, сухими, а горные выработки таких шахт представляют собой идеальные условия для хранения отходов.

Таким образом, применяя данные технологии утилизации внешних породных отвалов и рациональный выбор места по их хранению, позволит значительно снизить риск взрыва и гибели людей.

Выводы. В результате анализа статистики состояния породных отвалов за 2013, 2014, 2015 года, определены основные факторы, влияющие на внешние и внутренние процессы, которые протекают в отвалах. Установлены категории экологической опасности на окружающую среду. Рассмотрены меры борьбы с этими явлениями в виде рекультивации земель, защиты склонов отвалов от вымывания, созданием закладочных массивов.

Таким образом, мы можем повысить безопасность работ на отвалах и снизить риск возникновения пожаров и экологической опасности.

Список литературы:

1. Кузык, И. Н. Формирование критериев экологической опасности породных отвалов шахт [Текст] / И. Н. Кузык // Екологія і природокористування. – 2009. – Вип. 12. – С. 156–160.
2. Отвал (горное дело) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Отвал_(горное_дело)
3. Калюжный, Д. Н. Загрязнение атмосферного воздуха сернистым газом от шахтных терриконов [Текст] / Д. Н. Калюжный, С. А. Давыдов, Л. Г. Дукарская, М. Б. Аксельрод // Гигиена и санитария. – 1950. – № 5. – С. 19–24.
4. Твердов, А. А. Профилактика и ликвидация горения породных отвалов [Текст] / А. А. Твердов, А. Б. Яновский, С. Б. Никишичев // Уголь. – 2010. – С. 3–6.
5. Зборщик, М. П. Природа опасных и экологически вредных проявлений в пиритсодержащих породах [Текст] / М. П. Зборщик, В. В. Осокин // Уголь Украины. – 1998. – № 5. – С. 26–27.
6. Технологические схемы рекультивации терриконов и плоских породных отвалов шахт и обогатительных фабрик [Текст]. – Пермь, 1981. – 160 с.
7. ДНАОП 1.1.30-5.37-96. Инструкция по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов.
8. Воробьев, Е. А. Влияние породных отвалов на окружающую среду [Текст] / Е. А. Воробьев, С. А. Сокирка, Е. А. Сухар. – Горловка, 2010.
9. Зубова, Л. Г. Терриконы, их утилизация и рекультивация [Текст]: монография / Л. Г. Зубова. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 80 с.
10. Головнева, Е. Е. К вопросу о комплексном использовании техногенного пространства для преодоления экологических проблем в Донецкой области [Текст] / Е. Е. Головнева, Я. Ю. Асламова, М. В. Варварина. – Донецк, 2010.
11. Васильева, И. В. Актуальные вопросы мониторинга породных отвалов угольных шахт и охраны окружающей среды [Текст] / И. В. Васильева // Мінеральні ресурси України. – 2015. – № 3. – С. 39–45.
12. Радченко, В. В. Охрана окружающей среды. «Стан породних відвалів вітчизняних вугільних шахт» [Текст] / В. В. Радченко, В. А. Кулиш, Е. В. Чепига, В. С. Сторожчук // Уголь Украины. – 2013.
13. Плахотній, С. А. Шляхи зменшення негативного впливу породних відвалів ліквідованих шахт на екологічний стан вугледобувних регіонів [Текст] / С. А. Плахотній, А. В. Павличенко // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Форум гірників – 2016». – 2016. – Т. 2. – С. 229–233.

Bibliography (transliterated):

1. Kuzyk, I. N. (2009). Formirovanie kriteriev ekologicheskoy opasnosti porodnyh otvalov shaht. Ekolohiya i pryrodokorystuvannia, 12, 156–160.
2. Otval (gornoe delo). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Отвал_(горное_дело)
3. Kalyuzhnyy, D. N., Davydov, S. A., Dukarskaya, L. G., Aksel'rod, M. B. (1950). Zagryaznenie atmosfernogo vozduha sernistym gazom ot shahtnyh terrikonov. Gigiena i sanitariya, 5, 19–24.
4. Tverdov, A. A., Yanovskiy, A. B., Nikishichev, S. B. (2010). Profilaktika i likvidaciya goreniya porodnyh otvalov. Ugol', 3–6.
5. Zborshchik, M. P., Osokin, V. V. (1998). Priroda opasnyh i ekologicheski vrednyh proyavleniy v piritsoderzhashchih porodah. Ugol' Ukrainy, 5, 26–27.
6. Tekhnologicheskie skhemy rekul'tivacii terrikonov i ploskih porodnyh otvalov shaht i obogatitel'nyh fabrik (1981). Perm', 160.
7. DNAOP 1.1.30-5.37-96. Instrukciya po preduprezhdeniyu samovozgoraniya, tusheniyu i razborke porodnyh otvalov.
8. Vorob'ev, E. A., Sokirka, S. A., Suhar, E. A. (2010). Vliyanie porodnyh otvalov na okruzhayushchuyu sredu. Gorlovka.
9. Zubova, L. G. (2008). Terrikony, ih utilizaciya i rekul'tivaciya. Lugansk: Izd-vo VNU im. V. Dalya, 80.
10. Golovneva, E. E., Aslamova, Ya. Yu., Varvarina, M. V. (2010). K voprosu o kompleksnom ispol'zovanii tekhnogennogo prostranstva dlya preodoleniya ekologicheskih problem v Doneckoy oblasti. Doneck.
11. Vasil'eva, I. V. (2015). Aktual'nye voprosy monitoringa porodnyh otvalov ugol'nyh shaht i ohrany okruzhayushchey sredy. Mineralni resursy Ukrainy, 3, 39–45.
12. Radchenko, V. V., Kulish, V. A., Chepiga, E. V., Storozhchuk, V. S. (2013). Ohrana okruzhayushchey sredy. «Stan porodnykh vidvaliv vitchyznianykh vuhilnykh shakht». Ugol' Ukrainy.
13. Plakhotniy, S. A., Pavlychenko, A. V. (2016). Shliakhy zmenshennia nehatyvnoho vplyvu porodnykh vidvaliv likvidovanykh shakht na ekolohichnyi stan vuhledobuvnykh rehioniv. Materialy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsiyi «Forum hirnykiv – 2016», 2, 229–233.

Поступила (received) 06.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Проблемы эксплуатации и методы предотвращения возгораемости породных отвалов/ Чоботько И. И., Тынына С. В. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.146–151. – Bibliogr.:13. – ISSN 2079-5459

Проблеми експлуатації та методи запобігання загоранню породних відвалів/ Чоботько І. І., Тинина С. В. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.146–151. – Bibliogr.:13. – ISSN 2079-5459

Problems of operation and methods for preventing ignition of rock heaps/ Chobotko I., Tynyna S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.146–151. – Bibliogr.:13. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тынына Сергей Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ул. Симферопольська 2А, Украина, г. Днепр, 49000; e–mail: haritonroots@gmail.com.

Тиніна Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, вул. Сімферопольська 2А, Україна, м. Дніпро, 49000,

Tynyna Sergey – PhD, senior colleague of the Institute of Geotechnical Mechanics. N.S. Polyakova National Academy of Sciences of Ukraine, st. Simferopolska 2A, Dnepr, Ukraine, 49000; e–mail: haritonroots@gmail.com.

Чоботько Игорь Игоревич – аспирант кафедры горных машин и инжиниринга Национальный горный університет, просп. Дмитрия Яворницкого,19, г. Днепр, Украина, 49000; e–mail: efilonov79@gmail.com

Чоботько Ігор Ігоревич – аспірант кафедри гірничих машин та інжинірингу Національній гірничий університет м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницкого,19, Украина, 49000; e–mail: efilonov79@gmail.com

Chobotko Ihor – Postgraduate Student, department of Mining Machines and Engineering, National Mining University, Dnepr, avenue. Dmitry Yavornytsky, 19, Ukraine, 49000; e–mail: efilonov79@gmail.com

УДК 331.45

О. Г. ЛЕВЧЕНКО, О. С. ІЛЬЧУК

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ ТА ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ЕКОНОМІЧНИХ РЕСУРСІВ ПРИ ВИБОРІ ПРОЕКТІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ДЛЯ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБНИЦТВ

У роботі обґрунтовано застосування системи моніторингу охорони праці. Визначено принципи її функціонування. Сформульовано математичну детерміновану постановку задачі параметричного програмування вибору проектів з охорони праці для машинобудівних виробництв.

Розглянуто задачу вибору проектів з охорони праці за допомогою методу випадкового пошуку для трьох машинобудівних виробництв України. Визначено оптимальну сукупність проектів з охорони праці, які дають максимально можливу ефективність за результатами використання наданих економічних ресурсів.

Ключові слова: охорона праці, система моніторингу, ефективність управління, метод випадкового пошуку, машинобудування.

В работе обосновано применение системы мониторинга охраны труда. Определены принципы её функционирования. Сформулирована математическая детерминированная постановка задачи параметрического программирования выбора проектов по охране труда для машиностроительных производств.

Рассмотрена задача выбора проектов по охране труда с помощью метода случайного поиска для трех машиностроительных производств Украины. Определена оптимальная совокупность проектов по охране труда, которые дают максимально возможную эффективность по результатам использования имеющихся экономических ресурсов.

Ключевые слова: охрана труда, система мониторинга, эффективность управления, метод случайного поиска, машиностроение.

Application of the system of monitoring of the labor protection was substantiated in the work, which makes it possible to track the production potential in each reporting period. Functions and base principles were shown. The work substantiates the need for an integrated approach to the adoption of managerial decisions on labor protection. The mathematical deterministic problem statement of parametric programming of the choice of projects for the labor protection for machine-building enterprises was formulated.

The task of selecting projects on the labor protection with the method of random search for three machine-building enterprises of Ukraine is considered. The optimal set of projects on the labor protection which give the maximum possible efficiency for the results of the use of provided economic resources is determined. As a result, the set of labor protection projects remains less effective, which are not selected after a shortage of budget resources for these purposes.

Keywords: labor protection, system of monitoring occupational safety, the effectiveness of management, random search method, mechanical engineering,

Вступ. Система управління охороною праці на виробництві включає в себе програму вибору проектів, яка представляє собою сукупність науково-технічних та інноваційних проектів, що об'єднуються загальною метою, строками виконання та механізмами фінансування.

Необхідною основою для обліку, контролю та ранжування [1] інформації, яка поступає стосовно вибору проектів з охорони праці на виробництві для подальшого планування витрат є створення системи моніторингу охорони праці (СМОП).

СМОП базується на принципах об'єктивності даних, що отримуємо, незалежності, безперервності пооб'єктного контролю та обліку інформації, яка поступає для подальшого планування заходів з охорони праці, захист від суб'єктивної інтерпретації того, хто збирає чи представляє інформацію, що досягається чіткістю, визначеністю параметрів, які фіксуються кількісно.

До СМОП входять такі функції як організація та комплексний аналіз регулярних потоків інформації стосовно вибору проектів з охорони праці у попередньому періоді, їх об'єми фінансування. Аналіз зібраної інформації про стан виробничого травматизму є основою для проведення оцінки, в результаті якої визначаються управлінські дії з поліпшення стану охорони праці на виробництві.

© О. Г. Левченко, О. С. Ільчук .2017

Система моніторингу дозволяє відслідковувати потенціал в галузі охорони праці в кожному звітному періоді шляхом вибору та реалізації проектів з охорони праці, враховуючи при цьому виділені фінансові ресурси.

Аналіз впровадження та реалізації планів вибору проектів з охорони праці показав, що:

а) структура планів різноманітна;

б) групування проектів з охорони праці довільне.

Крім того, ефективність проектів з охорони праці часто розглядається як аналітичний (довідковий) матеріал та недостатньо враховується при прийнятті планових рішень. Вибір та розроблення визначених проектів з охорони праці нерідко здійснюється без достатньо глибокого економічного обґрунтування. В загальному комплексі проектів з охорони праці нарівні з великими та відносно капіталоємними, включаються проекти, реалізація яких не потребує великих фінансових витрат [2].

Метою дослідження є визначення оптимальної сукупності проектів з охорони праці для трьох машинобудівних виробництв України шляхом використання методу випадкового пошуку.

Матеріал і результати дослідження. Процес прийняття управлінських рішень з охорони праці потребує комплексного підходу та обґрунтованого аналізу. Результат формалізованих аналітичних процедур не повинен бути єдиним критерієм для прийняття того чи іншого управлінського рішення щодо рівня ефективності управління охороною праці та стану виробничого травматизму. Результати аналізу – "матеріальна основа" управлінських рішень, прийняття яких повинно бути засноване на системному підході.

Сформулюємо математичну детерміновану постановку задачі параметричного програмування вибору проектів з охорони праці для машинобудівних виробництв.

Часто необхідні витрати на виконання проектів з охорони праці значно перевищують фінансові ресурси, які виділяються виробництву на дані цілі. Виникає необхідність вибору проектів з охорони праці, для остаточного включення їх до плану вибору та підвищення ефективності управління охороною праці вцілому [3, 4].

На ранньому етапі моніторингу важливо визначити потребу у фінансових ресурсах, яких не вистачає на виконання проектів з охорони праці, необхідність їх вибору [3].

Разом з цим, ґрунтуючись на законі Парето [5], досить сформулювати ряд конкретних норм і механізмів прямої дії. Оцінюючи ефективність рішень, що приймаються, заходів, проектів з охорони праці, необхідно вийти за звичні рамки оцінки. Ефективність проектів має набагато ширший горизонт оцінки, що узагальнює ефекти, що отримуються на всіх етапах планування вибору та впровадження проектів [6].

Нехай загальна кількість вибраних проектів з охорони праці – n і $j=\overline{1,\ n}$. Кожний j-проект дає ефект (зменшення рівня виробничого травматизму) в розмірі c_j. Витрати фінансових ресурсів на реалізацію кожного проекту позначимо a_j. Відомий виділений об'єм фінансових ресурсів R. За результатами ранжування визначено поточний стан рівня охорони праці на машинобудівних підприємствах q_i, $i=\overline{1,K}$. Метою рішення задачі є вибір з сукупності проектів з охорони праці найбільш ефективних за умов виділених економічних ресурсів з метою досягнення максимально-можливої ефективності.

Враховуючи, що кількість проектів, які пропонуються до вибору більше числа тих, які будуть вибрані, можна ввести дискретні змінні x_j, які відповідають кожному вибраному проекту. При цьому ($j=\overline{1,\ n}$)

$$x_j=\begin{cases}1, \text{якщо } j\text{-ий проект вибирається для реалізації;}\\ 0, \text{якщо } j\text{-ий проект не вибирається.}\end{cases}$$

Цільова функція буде мати вигляд

$$Z=f(x_j)=max\sum_{j=1}^{n}c_jx_j\cdot \tag{1}$$

Обмеження на економічні ресурси

$$\sum_{j=1}^{n}a_j\cdot x_j\le R;\qquad x_j=\{0,1\};\ \overline{j}=\overline{1,\ n}, \tag{2}$$

де $x_j=\{0,1\}$ і $0\le a_j\le R$ – обмеження на змінні та коефіцієнти відповідно;

c_jx_j – величина економії у грн, яка буде дорівнювати 0, якщо проект не вибирається;

a_jx_j – величина необхідних витрат економічних ресурсів, якщо j - ий проект з охорони праці вибирається для використання (якщо ні, тоді величина витрат дорівнює 0).

Об'єм необхідних економічних ресурсів для вибору усіх проектів з охорони праці буде $\sum_{j=1}^{n}a_jx_j$. При цьому витрати не повинні перевищувати ресурси R, які були виділені з бюджету на кожне машинобудівне виробництво. Згідно фізичному змісту змінні a_j та x_j, R – додатні величини.

Задача [7-13] представляє собою звичайну задачу лінійного програмування. Отримана задача оптимізації, вирішується відомими методами [12], наприклад, реалізується за допомогою методу випадкового пошуку [13]. Рішення задачі цим методом забезпечує можливість розрахунку ефективності за початковими джерелами економічних ресурсів та дає можливість оперативного перерахунку вибору оптимальної сукупності проектів з охорони праці, які дають більший ефект економії ресурсів.

Задача параметричного програмування, в якій вхідні дані залежать від деякого параметру t та в якій коефіцієнти цільової функції лінійно залежать від цього параметру t, полягає в знаходженні для кожного значення параметру t з проміжку його зміни $[\alpha, \beta]$ максимального значення функції [14]. Сформулюємо цільову функцію

$$Z=f(x_j)=max\sum_{j=1}^{n}(c_j'+c_j''t)x_j\cdot \tag{3}$$

Врахування ефективного функціонування, досягнення бажаної можливої ефективності враховується наступним чином:

$$E_i = g(q_i,\ f(u_i, r_i)) \to max, \quad i = \overline{1,K} \tag{4}$$

де q_i, $i = \overline{1, K}$ − деякий визначений рівень стану виробничого травматизму за результатами ранжування машинобудівних виробництв (K – кількість машинобудівних виробництв); u_i − вектор показників, що характеризують економічні ресурси для досягнення можливої ефективності з охорони праці; r_i − вектор показників, що характеризують поточний стан рівня травматизму i-ого виробництва; g − функція, що відображає фактичні результати та потенціали ефективності охорони праці на виробництвах машинобудування.

Обмеження:

$$\sum_{j=1}^{n} a_j \cdot x_j \le R, \tag{5}$$

$$0 \le a_j \le R, \tag{6}$$

де c_j', a_j'', R_j − задані постійні значення.

Важлива роль рішення даної задачі полягає в можливості її використання для визначення оптимальної сукупності ефективних проектів. Визначається оптимальна сукупність проектів з охорони праці, які дають максимально-можливу ефективність за результатами використання економічних ресурсів, які надаються [3]. В результаті залишається сукупність проектів менш ефективних, які не вибираються в наслідок нестачі бюджетних ресурсів на ці цілі. Крім того, важливо розглянути об'єктивні причини більш низької ефективності цих проектів, необхідність та важливість їх вибору [3].

Розглянемо розв'язання задачі вибору проектів з охорони праці за допомогою методу випадкового пошуку.

Для прикладу розглянемо 3 машинобудівні виробництва: Y1 – ВАТ "Турбоатом"; Y2 − Волочиський машинобудівний завод ПАТ "Мотор Січ"; Y3 − ДП "Завод Електроважмаш".

Вхідними даними є перелік проектів з охорони праці, які плануються до вибору.

За моделлю (1, 2) використовуємо метод випадкового пошуку [13], який включає в себе наступні кроки:

Крок 1. Проводимо аналіз вхідних даних від машинобудівних виробництв.

Нехай на поточний звітній період моніторингу були заплановані для вибору наступні проекти з охорони праці:

x_1 − забезпечення всіх виробничих підрозділів інформаційними стендами з питань ОП; x_2 − проведення інспекторського аудиту з ОП; x_3 − придбати комп'ютерну програму фірми «Злагода» для навчання і перевірки знань з ОП; x_4 − провести навчання робітників з ОП; x_5 − атестація робочих місць; x_6 − обладнати кран-балки оглядовими майданчиками для технічного обслуговування в приміщенні ремонтної майстерні й цеху металовиробів; x_7 − реконструкція виробничих приміщень; x_8 − обладнати зварювальні кабіни витяжними системами; x_9 − модернізація обладнання; x_{10} − забезпечення всіх виробничих підрозділів знаками і плакатами безпеки, сигнальними стрічками; x_{11} − нанести на виробниче обладнання, комунікації та інші об'єкти сигнальні кольори та знаки безпеки; x_{12} − забезпечити всі підрозділи, ділянки будівельних робіт і водійський склад медичними аптечками; x_{13} − виконати електрофізичні виміри, провести випробування засобів захисту від ураження електричним струмом; x_{14} − придбати, згідно розрахунку, первинні засоби пожежогасіння; x_{15} − придбати спецодяг, взуття.

Бюджетні фінансові ресурси для вибору сукупності проектів з охорони праці для кожного машинобудівного виробництва (табл. 1) складають 50000 грн.

Крок 2. Використовуючи метод випадкового пошуку [13], враховуючи обмеження, отримуємо результуючі дані, які відображають оптимальний розподіл економічних бюджетних ресурсів для усіх машинобудівних виробництв.

Для ВАТ "Турбоатом", враховуючи обмеження, модель розрахунку має такий вигляд:

$$\begin{aligned}\phi_1(x_j) = {} & 25000x_1 + 10000x_2 + 9800x_3 + 7950x_4 + \\ & + 36000x_5 + 130000x_6 + 180000x_7 + 80000x_8 + \\ & + 500000x_9 + 20000x_{10} + 12500x_{11} + 2000x_{12} + \\ & + 15600x_{13} + 340000x_{14} + 40000x_{15} \le 50000,\end{aligned} \tag{7}$$

$$x_j = \{0,1\}, \quad i = \left(\overline{1,15}\right), \tag{8}$$

де $\phi_1(x_j)$ − кошторисна вартість вибору проектів з охорони праці, грн; x_j – проекти з охорони праці.

Методом випадкового пошуку враховуючи обмеження (2) був отриманий наступний результат набору проектів з охорони праці для ВАТ "Турбоатом":

$x_1^* = 0,\ x_2^* = 1,\ x_3^* = 1,\ x_4^* = 0,\ x_5^* = 0,$
$x_6^* = 0,\ x_7^* = 0,\ x_8^* = 0,$
$x_9^* = 0,\ x_{10}^* = 0,\ x_{11}^* = 1,\ x_{12}^* = 1,$
$x_{13}^* = 1,\ x_{14}^* = 0,\ x_{15}^* = 0.$

Результуюча економія у грн за звітній період складе

$f_1(x_j) =$ 44 300 грн;

$\phi^*\left(x_2^*,\ x_3^*,\ x_{11}^*\ x_{12}^*,\ x_{13}^*\right) =$ 49900 грн < 50000 грн.

Оптимальним у випадку обмежень (8) є вибір проектів $x_2, x_3, x_{11}, x_{12}, x_{13}$. Аналогічні розрахунки проводимо для всіх виробництв у галузі машинобудування.

Вдосконалене програмне забезпечення, розроблене у середовищі Microsoft Excel за допомогою макроса, представляє собою самостійний програмний продукт і може бути використаний для аналізу будь-якого роду інформації. Головне вікно програми у се-

редовищі Microsoft Excel представлене на рис. 1.

Сума, грн	Проект
25 000	n1
10 000	n2
9 800	n3
7950	n4
36 000	n5
130 000	n6
180 000	n7
80 000	n8
500 000	n9
20 000	n10
12 500	n11
2 000	n12
15 600	n13
340 000	n14
40 000	n15

Мінімальний вибір	1
Максимальний вибір	14
Кількість чисел	14
Необхідна сума	50 000,00
Допустима похибка ±	200,00
Можливі комбінації	16 383

Знайти рішення

Проекти	Загальна сума, грн
=40000+10000	50000
=40000+9800	49800
=2 000+40000+7950	49950
=2 000+20000+15600+12500	50100
=2 000+15600+12500+10000+9800	49900

Рис. 1 – Головне вікно програми для ВАТ "Турбоатом"

Отримані результатів розрахунків за допомогою методу випадкового пошуку наведено в табл. 1.

Остаточні результати відображають оптимальний розподіл бюджетних економічних ресурсів, за яких досягається максимально можливий ефект від вибору сукупності проектів з охорони праці.

У наступному звітному періоді, в результаті моніторингу проектів з охорони праці, які були впроваджені та використаних економічних бюджетних ресурсів у попередньому звітному періоді (табл. 1), робиться корегування (доповнення) іншими проектами з охорони праці за виділеними економічними ресурсами в наступному звітному періоді. Цим досягається подальша робота у сфері підвищення рівня ефективності управління охороною праці.

Розрахунок для подальшого звітного періоду проводиться аналогічно, враховуючи лише зміну набору проектів з охорони праці.

Таким чином, реалізація СУОП у галузі машинобудування направлена на аналіз та подальше впровадження проектів з охорони праці в умовах виділених економічних ресурсів.

Таблиця 1 − Результати розрахунків для задачі параметричного програмування за допомогою методу випадкового пошуку

№ п/п	Назва машинобу- дівного виробництва	Проекти з охорони праці, які плануються для вибору	Вартість розробки та впровадже-ння проектів з охорони праці, грн
1	ВАТ "Турбоатом"		
1.1		Проведення інспекторського аудиту з ОП	10 000
1.2		Придбати комп'ютерну програму фірми «Злагода» для навчання і перевірки знань з ОП	9 800
1.3		Нанести на виробниче обладнання, комунікації та інші об'єкти сигнальні кольори та знаки безпеки	12 500
1.4		Забезпечити всі підрозділи, ділянки будівельних робіт і водійський склад медичними аптечками	2 000
1.5		Виконати електрофізичні виміри, провести випробування засобів захисту від ураження електричним струмом	15 600
		Разом	49900
2	Волочиський машинобудівний завод ПАТ "Мотор Січ"		
2.1		Придбати комп'ютерну програму фірми «Злагода» для навчання і перевірки знань з ОП	9800
2.2		Провести навчання робітників з ОП	7950
2.2		Нанести на виробниче обладнання, комунікації та інші об'єкти сигнальні кольори та знаки безпеки	12500
2.3		Забезпечити всі підрозділи, ділянки будівельних робіт і водійський склад медичними аптечками	4000
2.4		Виконати електрофізичні виміри, провести випробування засобів захисту від ураження електричним струмом	15600
		Разом	49850
3	ДП "Завод Електроважмаш"		
3.1		Проведення інспекторського аудиту з ОП	10 000
3.2		Придбати комп'ютерну програму фірми «Злагода» для навчання і перевірки знань з ОП	9 800
3.3		Нанести на виробниче обладнання, комунікації та інші об'єкти сигнальні кольори та знаки безпеки	12 500
3.4		Забезпечити всі підрозділи, ділянки будівельних робіт і водійський склад медичними аптечками	2 000
3.5		Виконати електрофізичні виміри, провести випробування засобів захисту від ураження електричним струмом	15 600
		Разом	49900

Висновки. Запропонована методика ефективного моніторингу охорони праці дозволяє визначити сукупність проектів, які підлягають впровадженню, що забезпечують отримання оптимального розподілу та перерозподілу економічних ресурсів на машинобудівних виробництвах України, шляхом застосування математичного інструментарію.

Список літератури:

1. *Адасовський, Б. І.* Системний підхід до моделювання моніторингу екологічної системи [Текст] / *Б. І. Адасовський* // Наукові вісті Галицької академії. – 2009. – № 2 (16). – С. 87–95.
2. *Розен, В. П.* Планирование оптимального использования потенциала энергосбережения промышленных предприятий Украины [Текст] / *В. П. Розен, А. И. Соловей, А. В. Чернявский, М. А. Казмирук* // Технічна електродинаміка. – 2006. – № 5. – С. 59–68.
3. *Нейкова, Л. И.* Анализ эффективности технического перевооружения промышленных предприятий [Текст] / *Л. И. Нейкова*. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 87 с.
4. *Ковалко, М. П.* Основні засади створення системи інформаційно-аналітичного забезпечення паливно-енергетичного комплексу України [Текст] / *М. П. Ковалко, С. П. Денисюк, Ю. І. Шульга, О. В. Дитиненко, І. А. Примаченко, О. В. Ковальов*. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2000. – 106 с.
5. *Koch R.* Закон Парето или Принцип 80\20 [Электронный ресурс] / *R. Koch* // Режим доступа: http://www.elitarium.ru/print.php?id=1995&npage=1
6. *Ковальчук, В. В.* Об оптимизации подходов к энергосбережению [Электронный ресурс] / *В. В. Ковальчук* // Режим доступа: http://www.energohelp.net/articles/energy-solutions/62745
7. *Ковалко, М. П.* Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України [Текст] / *М. П. Ковалко, С. П. Денисюк.* – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
8. *Мелехин, В. Т.* Организация и планирование энергохозяйства промышленных предприятий [Текст] / *В. Т. Мелехин, Г. Л. Багиев, В. А. Полянский.* – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
9. *Степанов, В. С.* Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности [Текст] / *В. С. Степанов, Т. Б. Степанова.* – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 248 с.
10. *Левичев, П. И.* О планировании мероприятий по энергосбережению [Текст] / *П. И. Левичев, И. Д. Царькова* // Промышленная энергетика. – 1998. – № 7. – С. 7–9.
11. *Соловей, О. І.* Енергетичний аудит [Текст]: навч. пос. / *О. І. Соловей, В. П. Розен, Ю. Г. Лега, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбаса*. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
12. *Зайченко, Ю. П.* Дослідження операцій [Текст]: підручник / *Ю. П. Зайченко*. – 4-е вид., перероб. і допов. – К.: 2000. – 688 с.
13. *Растригин, Л. А*. Случайный поиск в процессах адаптации [Текст] / *Л. А. Растригин*. – Рига: Зинатне, 1973. – 131 с.
14. *Акулич, И. Л.* Математическое программирование в примерах и задачах [Текст]: учеб. пос. / *И. Л. Акулич*. – М.: Высш. шк., 1986. – 319 с.

Bibliography (transliterated):

1. Adasovskyi, B. (2009). System approach to modeling the monitoring of the ecological system. Scientific news of the Galician Academy, 2 (16), 87–95.
2. Rozen, V. P., Solovei, A. Y., Cherniavskyi, A. V., Kazmyruk, M. A. (2006). Planning the optimal use of the energy saving potential of industrial enterprises in Ukraine. Technical electrodynamics, 5, 59–68.
3. Neikova, L. (1990). Analysis of the efficiency of technical re-equipment of industrial enterprises. Moscow: Finance and Statistics, 87.
4. Kovalko, M. (2000). Basic principles of the creation of a system of informational and analytical provision of the fuel and energy complex of Ukraine. Kyiv: Ukrainian encyclopedic knowledge, 106.
5. Koch, R. The Pareto Principle. Available at: http://www.elitarium.ru/print.php?id=1995&npage=1
6. Kovalchuk, V. Optimization of energy-saving approaches. Available at: http://www.energohelp.net/articles/energy-solutions/62745
7. Kovalko, M., Denysiuk, S. (1998). Energy conservation is a priority direction of Ukraine's state policy. Kyiv: UEZ Publ., 506.
8. Melekhyn, V., Bahyev, H., Polianskyi, V. (1998). Organization and planning of energy companies of industrial enterprises. Moscow: Energoatomizdat, 224.
9. Stepanov, V., Stepanova, T. (1990). Potential and reserves of energy saving in industry. Novosibirsk: Science. Sib., 248.
10. Levychev, P., Tsarkova, Y. (1998). About the planning of energy saving measures. Industrial Power Engineering, 7, 7–9.
11. Solovei, O., Rozen, V., Leha, Y., Sytnyk, O., Cherniavskyi, A., Kurbasa, H. (2005). Energy Audit. Cherkasy: ChSTU, 299.
12. Zaichenko, Y. (2000). Operations Research. Kyiv: VIOPL, 688.
13. Rastryhyn, L. (1973). Random search in adaptation processes. Riga: Zinatne, 131.
14. Akulych, I. (1986). Mathematical Programming in Examples and Tasks. Moscow: Higher Education, 319.

Поступила (received) 15.09.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оптимальне управління розподілом та перерозподілом економічних ресурсів при виборі проектів з охорони праці для машинобудівних виробництв/ Левченко О. Г., Ільчук О. С. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.151–156. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Оптимальное управление распределением и перераспределением экономических ресурсов при выборе проектов по охране труда для машиностроительных производств/ Левченко О. Г., Ильчук О. С. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.151–156. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Optimal management of distribution and redistribution of economic resources of the choice of projects for labor protection for machine-building enterprises/ Levchenko O., Ilchuk O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.151–156 . – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Л***евченко Олег Григорович*** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кафедра охорони праці, промислової та цивільної безпеки, вул. Борщагівська, 115, м. Київ, Україна, 03056.

Ільчук Оксана Степанівна − асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кафедра охорони праці, промислової та цивільної безпеки, вул. Борщагівська, 115, м. Київ, Україна, 03056, e-mail: oksana_i@i.ua.

Левченко Олег Григорьевич − д.т.н., профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», кафедра охраны труда, промышленной и гражданской безопасности, ул. Борщаговская, 115, г. Киев, Украина, 03056.

Ильчук Оксана Степановна − ассистент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», кафедра охраны труда, промышленной и гражданской безопасности, ул. Борщаговская, 115, г. Киев, Украина, 03056, e-mail: oksana_i@i.ua.

Levchenko Oleg − doctor of sciences, professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Department of Labor protection, industrial and civil safety, Borshchagivska str., Kyiv, Ukraine, 03056.

Ilchuk Oksana – assistant, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Department of Labor protection, industrial and civil safety, Borshchagivska str., Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: oksana_i@i.ua.

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 534.232

С. Л. ВОЛКОВ, Н. Ф. КАЗАКОВА, С. Д. АСАБАШВІЛІ

МОДЕЛЬ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНОГО СТАНУ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

В роботі запропоновано модель експертної системи яка здійснює моніторинг та діагностику якісного стану технічної системи та пропонує рішення щодо усунення причин його зниження. Наведено математичні вирази реалізації продукційної і прецедентної моделей прийняття рішень. У якості прикладу запропоновано параметричне представлення множини прецедентів у вигляді множини кортежів та його вибір методом найближчого сусіда з використанням Евклідової метрики. Запропоновано правило вибору прецеденту.

Ключові слова: модель експертної системи, моніторинг якісного стану технічної системи, діагностика якісного стану технічної системи, експертне оцінювання, продукційна і прецедентна моделі прийняття рішень, правило вибору прецеденту.

В работе предложена модель экспертной системы, которая осуществляет мониторинг и диагностику качественного состояния технической системы и предлагает решения по устранению причин его снижения. Приведены математические выражения реализации продукционной и прецедентной моделей принятия решений. В качестве примера предложено параметрическое представление множества прецедентов в виде множества кортежей и его выбор методом ближайшего соседа с использованием Евклидовой метрики. Предложено правило выбора прецедента.

Ключевые слова: модель экспертной системы, мониторинг качественного состояния технической системы, диагностика качественного состояния технической системы, экспертная оценка, продукционная и прецедентное модели принятия решений, правило выбора прецедента.

The paper proposes a structural and mathematical model of an expert quality assessment system that monitors the quality of a technical system and provides its diagnostics by identifying a node or element that has lowered its qualitative indicators and proposes solutions to causes that could lead to the occurrence of this event and recommendations for its elimination. A characteristic feature of the model is the use of a production model of knowledge representation and a precedent method, which is used in the event of an unpredictable knowledge base frame of the system. The mathematical expressions of realization of production and precedent models of decision-making are given. As an example, we propose a parametric representation of the set of precedents in the form of a set of tuples and its selection by the neighboring method using the Euclidean metric. The rule of precedent selection is proposed.

Keywords: model of the expert system, monitoring of the qualitative state of the technical system, diagnostics of the qualitative state of the technical system, expert evaluation, production and precedent decision making models, rule of precedent.

Вступ. Основою розвитку технічних систем (ТС), в світі прийняття концепції Індустрії 4.0, є широкомасштабна інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій і інтелектуалізація промислового виробництва, через впровадження кіберфізичних систем (Cyber Physical Systems, CPS). Однак, перший досвід впровадження та експлуатації промислових CPS показав відсутність дієвих методів та засобів зведення і обробки великих обсягів різноманітної вимірювальної інформації для ідентифікації та інтерпретації складних подій і критичних станів системи, що призвело до появи потоків локальних відмов технологічного і інфокомунікаційного обладнання [1–4]. «… на даний момент у нас немає комплексної бездротової мережевої взаємодії компонентів, постійного обміну інформацією, зведення воєдино різних даних від датчиків для ідентифікації складних подій і критичних станів і їх інтерпретації на основі ситуації, що склалася, а також планування подальших дій, виходячи з отриманих результатів» – це цитата з виступу професора Вольфганг Вольстера директора Німецького дослідного центру штучного інтелекту на церемонії відкриття Гановерської ярмарки 2011 року (Hannover Messe 2011).

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Можливість застосування експертних систем для діагностування стану автоматизованих систем є одним з провідних досліджень як зарубіжних так і вітчизняних вчених [5]. На сучасному етапі розвитку найбільш дієвою прийнята прогностична модель діагностики (Prognostics and health management, PHM), яка, на основі статистичних даних історії роботи і відмов системи, оцінює її деградацію і прогнозує потенційні відмови. Однак, існуючі методи ігнорують дані життєвого циклу досліджуваної і ідентичних систем і конфігурацій, що значно знижує її прогностичні можливості [6].

Актуальність вирішуваної проблеми заснована на твердженні, що запропонований єдиний підхід до визначення поточного стану та діагностики технічних, зокрема кіберфізичних систем, якій базується на синтезі та аналізі показників якості досліджуваної системи на всіх етапах її життєвого циклу з урахуванням попередніх етапів, дасть змогу створення уніфікованих діагностичних систем [7].

Ціль та задачі дослідження. Метою даної роботи є створення моделі експертного оцінювання якісного стану технічної системи в складі функціональних систем моніторингу якості та діагностування.

Виклад основного матеріалу. У відповідності до [8] *експертна система якості* технічної (кіберфізичної) системи – це розподілена експертна система, метою якої є вирішення завдання оцінки поточного стану, діагностики та прогнозування роботи досліджуваної системи на основі аналізу її показників якості. Загальна модель структури експертної системи наведена на рис. 1.

Як видно із наведеної структурної схеми (рис. 1), експертна система складається з наступних функціональних систем:

© С. Л. Волков, Н. Ф. Казакова, С. Д. Асабашвілі. 2017

– *Функціональної системи моніторингу якості.* Функція – оцінка і фіксація у разі зниження якості одного чи декількох показників якості, поточного стану досліджуваної технічної системи.

– *Функціональної системи діагностики*. Функція – виявлення вузла чи елемента який знизив свої якісні показники, аналіз причин які могли привести до виникнення цієї події та рекомендації щодо її усунення.

– *Функціональної системи прогнозування*. Функція – прогноз щодо імовірного зниження якісного стану елемента чи вузла досліджуваної системи та можливих наслідків щодо працездатності елемента, вузла і системи в цілому.

За основу моделі експертної системи якості ТС приймемо типову структуру динамічної експертної системи з додатковими модулями призначення яких буде описане нижче: Модуль бази даних (БД), Модуль бази знань (БЗ), Модуль бази прецедентів (БП), Модуль логічного висновку, Модуль поповнення БЗ, Модуль пояснень, Модуль діалогу, Модуль зв'язку із зовнішнім оточенням, Модуль моделювання зовнішнього оточення (рис. 2).

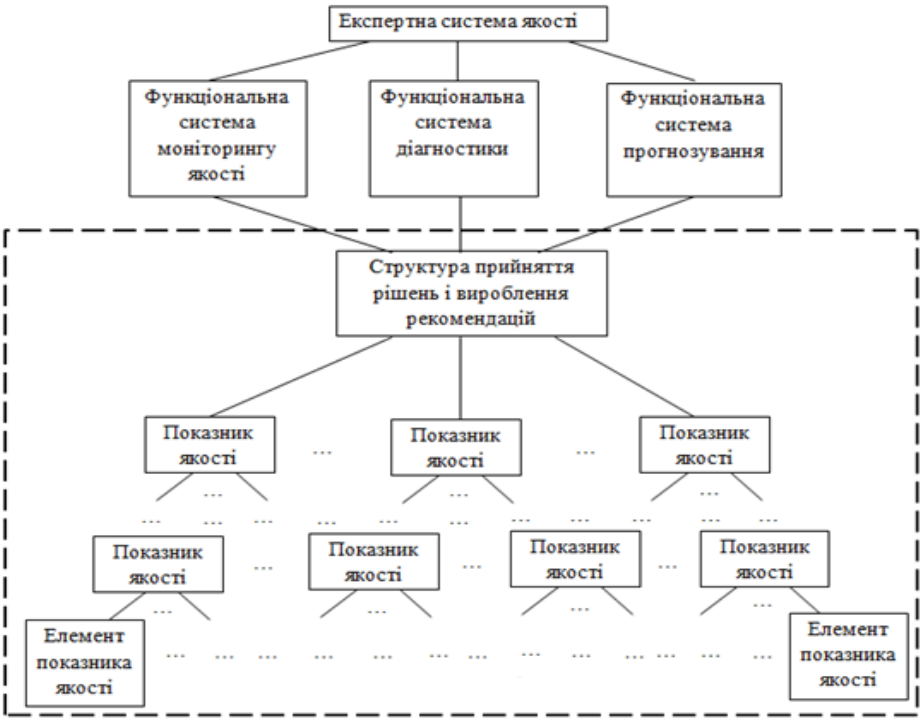


Рис. 1 − Загальна модель експертної системи якості

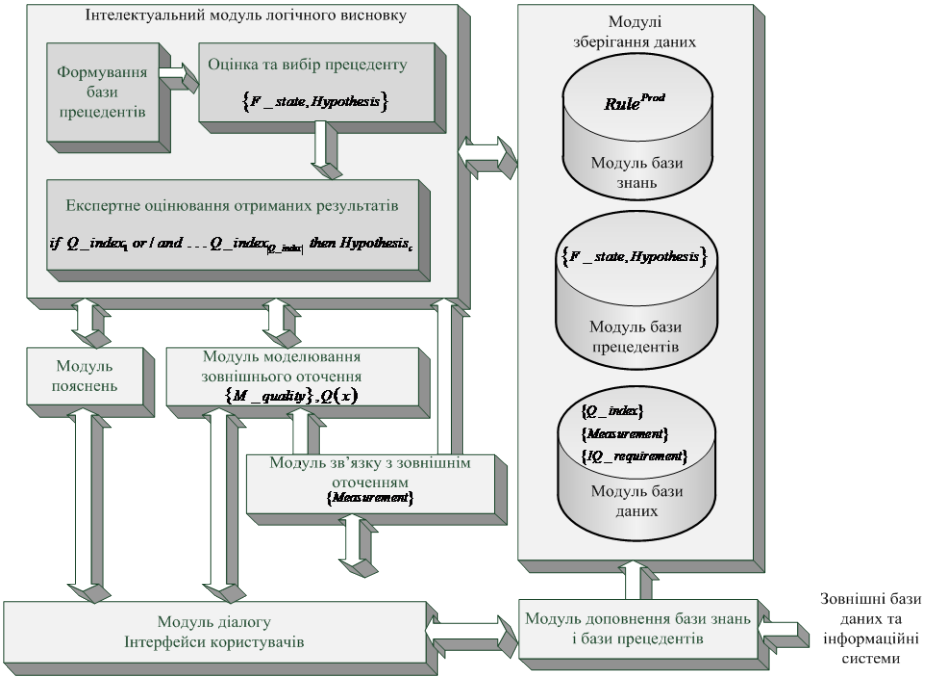


Рис. 2 – Модель експертної системи оцінки якості

Визначимо наведену модель експертної системи наступним набором:

$$ES^{Quality} = \begin{pmatrix} \{Measurement\}, \{Requirements\}, \\ (\{M\_quality\}, Q(x)), D(\{M\_decision\}) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $\{Measurement\}$ – множина вхідних значень параметрів отриманих в результаті вимірювань; $\{Requirements\}$ – множина вимог і параметрів обмежень, прийнятих за еталон; $(\{M\_quality\}, Q(x))$ – множина моделей і методів $\{M\_quality\}$, що реалізують функцію $Q(x)$ оцінки якості; $D(\{M\_decision\})$ – функція прийняття рішення, тобто вибору результату експертного оцінювання з множини $\{M\_decision\}$, для рішення проблеми пов'язаної з поточним станом (погіршенням якості) ТС.

З огляду на особливості що надходять на вхід експертної системи даних: великий обсяг, різнотипність, чіткість і нечіткість, велика кількість параметрів, і ґрунтуючись на аналізі типових моделей представлення знань в експертних системах проведених в [8, 9, 10] розглянемо продукційну модель представлення знань, як найбільш гнучку і таку, що задовольняє всім вимогам обробки даних.

Продукційні правила для (1) у загальному вигляді можна представити в наступному виді

$$Rule^{Prod} = \begin{Bmatrix} \{IQ\_sys\{IQ\_subsys\{IQ\_dev\{IQ\_sen\}\}\}\}, \\ \{IQ\_requirement\}, \{Q\_index\}, \\ (F\_state_a \Rightarrow Hypothesis_c), H\_trust \end{Bmatrix} \quad (2)$$

де $\{IQ\_sys\{IQ\_subsys\{IQ\_dev\{IQ\_sen\}\}\}\}$ – множина ідентифікаторів якісного стану (показників якості) технічної системи, підсистем, пристроїв та датчиків відповідно;

$$\{IQ\_requirement\} \supset \left\{\left\{\left\{IQ\_requirement_{sys}\begin{Bmatrix} IQ\_requirement_{subsys} \\ \{IQ\_requirement_{dev}\} \\ \{\{IQ\_requirement_{sen}\}\} \end{Bmatrix}\right\}\right\}\right\}$$

– множина ідентифікаторів (показників якості) вимог; $\{Q\_index\}$ – множина досліджуваних показників якості; $F\_state_a \Rightarrow Hypothesis_c$ – оцінка стану системи, $\{F\_state\}$ – множина кадрів якісного стану ТС, $F\_state_a \in \{F\_state\}$, $(a = \{1 : |F\_state|\})$, $\{Hypothesis\}$ – множина гіпотез для логічного висновку, $Hypothesis_c \in \{Hypothesis\}$, $(c = \{1 : |Hypothesis|\})$; H_trust – міра довіри.

Як видно з рис. 2 пропонована модель заснована на прецедентному методі [11] оцінки поточного кадру стану системи, тобто до типової структури динамічної ЕС добавляється модуль бази прецедентів, який по суті є частиною бази знань. Виділимо додаткові модулі:

– Модуль моделювання зовнішнього оточення разом з модулем зв'язку з зовнішнім оточенням забезпечує прийняття та формування набору вхідних даних (результатів вимірювань *Measurement*), аналізує прийняті дані, і у разі погіршення якісного стану системи проводить: оцінювання показників якості відповідно до існуючих моделей, формування кадру якості системи і передає кадр якості в інтелектуальний модуль логічного висновку.

– Інтелектуальний модуль логічного висновку забезпечує прийняття рішення щодо причин та наслідків погіршення якості системи на основі реалізації моделей та методів $ES^{Quality}$. Експертне оцінювання якості здійснюється за продукційними правилами:

$$if\ Q\_index_1\ or/and\ \ldots\ Q\_index_{|Q\_index|}\ then\ Hypothesis_c \quad (3)$$

Результатом оцінювання є гіпотеза. У разі виникнення непередбачуваного базою знань кадру стану проводиться діагностування на основі прецедентів $P = \{F\_state_a \Rightarrow Hypothesis\}$ за максимальною мірою подоби кадру якості до еталонів з урахуванням заданої міри довіри H_trust до прецеденту.

Відповідно моделі експертної структури рис. 2, визначення додаткових модулів та виразів (1, 2, 3), завдання експертного оцінювання покладено на інтелектуальний модуль логічного висновку який складається з двох взаємопов'язаних і взаємодіючих структур:

1. Експертного оцінювання отриманих результатів, який оцінює кадр якісного стану системи на збіг з кадром що зберігається в БЗ.

Модель цієї структури, відповідно до викладеного матеріалу і виразу для експертного оцінювання кадру стану системи (3), з урахуванням (2) може бути представлена в наступному вигляді:

$$if \begin{pmatrix} \{IQ\_sys_\alpha(\{Q\_index_\alpha\})\} \\ or/and \left\{\bigcup_\beta IQ\_subsys_{\alpha\beta}(\{Q\_index_{\alpha\beta}\})\right\} \\ or/and \left\{\bigcup_\gamma IQ\_dev_{\alpha\beta\gamma}(\{Q\_index_{\alpha\beta}\})\right\} \\ or/and \left\{\bigcup_\zeta IQ\_sen_{\alpha\beta\gamma\zeta}(\{Q\_index_{\alpha\beta\gamma\zeta}\})\right\} \end{pmatrix} then\ Hypothesis_c \quad (4)$$

де $-\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ – індекси системи, підсистеми, пристрою та датчику, відповідно.

2. Вибору прецедентів, заснованих на оцінці кадру стану системи.

Пошук рішення з використанням прецедентів можна представити у вигляді наступного алгоритму:

- Отримання кадру стану якості досліджуваної системи.

- Вибір з бази прецедентів одного чи декілька прецедентів, найбільш близьких до отриманого кадру стану.

– Повторне використання обраного прецеденту для рішення проблеми.

– Адаптація, в разі необхідності, отриманого рішення.

– Запис інформації про застосоване (перевірене) рішення в базу знань (модифікація бази знань).

– Запис перевіреного рішення як частини нового прецеденту.

Результатом виконання алгоритму є вибір прецеденту P.

Існує декілька способів представлення прецедентів: параметричні, об'єктно-орієнтовні, спеціальні (дерева, графи, логічні вирази тощо). У якості прикладу розглянемо параметричне представлення множини прецедентів у вигляді множини кортежів:

$$\{P\} = \left\{\left(F\_state_1, Hypothesis_{11}\right), \ldots, \left(F\_state_a, Hypothesis_{ac}\right)\right\}. \quad (5)$$

З метою вибору прецеденту з БП розглянемо найбільш застосований метод найближчого сусіда з використанням Евклідової метрики (методу мінімуму Евклідової відстані).

Запишемо кадр якісного стану системи як множину показників якості та їх значень

$$F\_state = \left\{\left(Q\_index, f\left(Q\_index\right)\right)\right\} \quad (6)$$

і представимо його як μ - мірний вектор, де осями будуть Q_index_i, а довжинами векторів $f\left(Q\_index_i\right)$, i - індекс показника якості. Близькість кадрів між собою можна визначити як мінімальну евклідову відстань між векторами поточного кадру і кадру прецеденту відповідно до теореми Піфагора для багатовимірних просторів:

$$d_P = (F\_state^{FP}, F\_state) = \sqrt{\left(F\_state - F\_state_a^{FP}\right)^2}, \quad (7)$$

де F_state^{FP} – кадр стану прецеденту.

Таким чином, відповідно до (5), (6), (7) правило вибору прецеденту може бути представлено виразом:

$$if \min \sqrt{\left(\left(\sum_{i=1}^{\mu}\left(Q\_index_i, f\left(Q\_index_i\right)\right)\right) - \left(\left(\sum_{i=1}^{\mu}\left(Q\_index_{ai}^{FB}, f\left(Q\_index_{ai}^{FB}\right)\right)\right)\right)^2} \; then \; Hypothesis_{ac}.$$

Висновки. В роботі запропоновано структурну та математичну модель експертної системи оцінки якості яка здійснює моніторинг якісного стану технічної системи і забезпечує її діагностику шляхом виявлення вузла чи елемента який знизив свої якісні показники та пропонує рішення щодо причин які могли привести до виникнення цієї події та рекомендації щодо її усунення. Характерною рисою моделі є використання продукційної моделі представлення знань і прецедентного методу, який застосовується при виникненні непередбачуваного базою знань кадру стану системи. Наведено математичні вирази реалізації продукційної і прецедентної моделей прийняття рішень. Як приклад, запропоновано параметричне представлення множини прецедентів у вигляді множини кортежів та його вибір методом найближчого сусіда з використанням Евклідової метрики. Запропоновано правило вибору прецеденту.

Список літератури:

1. *Lee, E. A.* Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach [Text] / *E. A. Lee, S. A. Seshia*. – 2-nd ed. – MIT Press, 2017.
2. *Colombo, A. W.* Towards the Next Generation of Industrial Cyber-Physical Systems [Text] / *A. W. Colombo, S. Karnouskos, T. Bangemann* // Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems. – 2014. – P. 1–22. doi: 10.1007/978-3-319-05624-1_1
3. *Киселев, М. И.* «Индустрия 4.0»: некоторые проблемные вопросы [Текст] / *М. И. Киселев, С. В. Новиков* // Станкоинструмент. – 2016. – № 2/2016. – С. 42–46. – Режим доступа: http://www.stankoinstrument.su/files/article_pdf/5/article_5301_277.pdf
4. *Lee, J.* Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics [Text] / *J. Lee, B. Bagheri, H.-A. Kao* // Proceeding of Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014. – 2015. doi: 10.13140/2.1.1464.1920
5. *Syrotkina, O.* Evaluation to determine the efficiency for the diagnosis search formation method of failures in automated systems [Text] / *O. Syrotkina, M. Alekseyev, O. Aleksieiev* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 9 (88). – P. 59–68. doi: 10.15587/1729-4061.2017.108454
6. *Волков, С. Л.* Теоретичні засади побудови моделі структури експертної системи якості кіберфізичних систем [Текст] / *С. Л. Волков* // Збірник наукових праць 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Метрологія, технічне регулювання, якість: досягнення та перспективи». – 2016. – С. 139–141.
7. *Burstein, F.* Handbook on Decision Support Systems 1 [Text] / *F. Burstein, C. Holsapple*. – Springer, 2008. – 854 p. doi: 10.1007/978-3-540-48716-6
8. *Chiang, S.* Decision Support Systems [Text] / *S. Chiang*. – InTech, 2010. – 420 p. doi: 10.5772/3453
9. *Giarratano, J. C.* Expert Systems: Principles and Programming, Fourth Edition [Text] / *J. C. Giarratano, G. D. Riley*. – Course Technology, 2004. – 288 p.
10. *Aamodt, A.* Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches [Text] / *A. Aamodt, E. Plaza* // Artificial Intelligence Communications. – 1994. – Vol. 7, Issue 1. – P. 39–52.
11. *Бородин, А. Ф.* Эксплуатационная работа железнодорожных направлений [Текст] / *А. Ф. Бородин* // Труды ВНИИАС. – 2008. – Вып. 6. – С. 307–314.

Bibliography (transliterated):

1. Lee, E. A., Seshia, S. A. (2017). Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach. MIT Press.
2. Colombo, A. W., Karnouskos, S., Bangemann, T. (2014). Towards the Next Generation of Industrial Cyber-Physical Systems. Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems, 1–22. doi: 10.1007/978-3-319-05624-1_1
3. Kiselev, M. I., Novikov, S. V. (2016). «Industriya 4.0»: nekotorye problemnye voprosy. Stankoinstrument, 2/2016, 42–46. Available at: http://www.stankoinstrument.su/files/article_pdf/5/article_5301_277.pdf
4. Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.-A. (2014). Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics. Proceeding of Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014. doi: 10.13140/2.1.1464.1920
5. Syrotkina, O., Alekseyev, M., Aleksieiev, O. (2017). Evaluation to determine the efficiency for the diagnosis search formation method of failures in automated systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (88)), 59–68. doi: 10.15587/1729-4061.2017.108454
6. Volkov, S. L. (2016). Teoretychni zasady pobudovy modeli struktury ekspertnoi systemy yakosti kiberfizychnykh system. Zbirnyk naukovykh prats 6-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi «Metrolohiya, tekhnichne rehuliuvannia, yakist: dosiahnennia ta perspektyvy», 139–141.
7. Burstein, F., Holsapple, C. (2008). Handbook on Decision Support Systems 1. Springer, 854. doi: 10.1007/978-3-540-48716-6
8. Chiang, S. (2010). Decision Support Systems. InTech, 420. doi: 10.5772/3453

9. Giarratano, J. C., Riley, G. D. (2004). Expert Systems: Principles and Programming, Fourth Edition. Course Technology, 288.
10. Aamodt, A., Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. Artificial Intelligence Communications, 7 (1), 39–52.
11. Borodin, A. F. (2008). Ekspluatacionnaya rabota zheleznodorozhnyh napravleniy. Trudy VNIIAS, 6, 307–314.

Надійшла (received) 12.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Модель експертного оцінювання якісного стану технічної системи/ Волков С. Л., Казакова Н. Ф., Асабашвілі С. Д. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.157–161. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Модель экспертной оценки качественного состояния технической системы/ Волков С. Л., Казакова Н. Ф., Асабашвили С. Д. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.157–161. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Model of expert evaluation of the qualitative state of the technical system/ Volkov S., Kazakova N., Asabashvili S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.157–161. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Волков Сергій Леонідович − кандидат технічних наук, доцент, Кафедра комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних технологій, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, вул. Ковальська, 15, м. Одеса, 65020. E-mail: greyw@ukr.net.

Казакова Надія Феліксівна − Доктор технічних наук, доцент, Кафедра комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, вул. Ковальська, 15, м. Одеса, Україна, 65020. E-mail: kaz2003@ukr.net.

Асабашвілі Суліко Дмитрович − викладач, Кафедра комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, вул. Ковальська, 15, м. Одеса, Україна, 65020, E-mail: as.sulico@gmail.com.

Волков Сергей Леонидович − кандидат технических наук, доцент, Кафедра компьютерных и информационно-измерительных технологий, Одесская государственная академия технического регулирования и качества, ул. Кузнечная, 15, г. Одеса, 65020, E-mail: greyw@ukr.net.

Казакова Надежда Феликсовна − Доктор технических наук, доцент, Кафедра компьютерных и информационно-измерительных технологий, Одесская государственная академия технического регулирования и качества, ул. Кузнечная, 15, г. Одеса, 65020. E-mail: kaz2003@ukr.net.

Асабашвили Сулико Дмитриевич − преподаватель, Кафедра компьютерных и информационно-измерительных технологий, Одесская государственная академия технического регулирования и качества, ул. Кузнечная, 15, г. Одеса, 65020,. E-mail: as.sulico@gmail.com.

Volkov Sergey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of computer, information and measurement technologies, Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Kovalska str., 15, Odesa, Ukraine, 65020. E-mail: greyw@ukr.net.

Kazakova Nadiia − Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of computer, information and measurement technologies, Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Kovalska str., 15, Odesa, Ukraine, 65020, E-mail: kaz2003@ukr.net.

Asabashvili Suliko – postgraduate student, Department of computer, information and measurement technologies, Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Kovalska str., 15, Odesa, Ukraine, 65020, r:. E-mail: as.sulico@gmail.com.

УДК 658.562.012.7

Л. М. ПЕРПЕРІ, Г. О. ОБОРСЬКИЙ, Ю. Г. ПАЛЕННИЙ, Г. М. ГОЛОБОРОДЬКО

АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ

Проаналізовано складові забезпечення якості, які пов'язані з визначенням вимог до якості освітніх послуг усіх зацікавлених сторін; провадженням внутрішніх нормативних документів стосовно різних видів діяльності в сфері забезпечення якості ЗВО; отриманням даних і інформації при проведенні моніторингу, вимірюванні, аналізі, оцінюванні; оцінкою якості; підтвердженням відповідності та сертифікації. Розглянуто два підходи до формування критеріїв оцінки якості освітніх послуг та визначено необхідність врахування потреб безпосередніх споживачів цих освітніх послуг.

Ключові слова: якість, забезпечення якості, зацікавлені сторони, оцінка якості, стандарти, освітня послуга.

Проанализированы составляющие обеспечения качества, связанные с определением требований к качеству образовательных услуг всех заинтересованных сторон; внедрением внутренних нормативных документов по различным видам деятельности в сфере обеспечения качества ВУЗами; получением данных и информации при проведении мониторинга, измерения, анализа, оценки; оценкой качества; подтверждением соответствия и сертификации. Рассмотрены два подхода к формированию критериев оценки качества образовательных услуг и определена необходимость учета потребностей непосредственных потребителей этих образовательных услуг.

Ключевые слова: качество, обеспечение качества, заинтересованные стороны, оценка качества, стандарты, образовательная услуга.

Analyzed of the components of quality assurance which is related with the definition of the quality requirements for educational services of all stakeholders (seekers of the higher education and their parents; a state which is interested in raising of the population education level; employers who need skilled workers and higher education institutions); introduction of the internal normative documents on various types of activity in the sphere of quality assurance by higher educational institutions; obtaining the data and the information during of monitoring, measurement, analysis, evaluation; assessment of the quality in process of the conduct of self-assessment and passing state supervision procedures to confirm compliance and certification. Two approaches to the formation of the criteria for assessing the educational services quality were considered, was identified the need to take into account the needs of not only legislative but also direct consumers of these educational services - applicants for higher education, the future specialists, this all taking into account the requirements of the labor market.

Keywords: quality, quality assurance, stakeholders, quality assessment, standards, educational service

Вступ. Глобалізація ринку товарів і послуг на світовому ринку неминуче веде до встановлення гармонізованих норм до товарів і послуг. Освіта, так само як і інші види послуг, зазнає таких змін [1, 2]. Незважаючи на те, що надання освітніх послуг є одним з видів послуг, яке має низку специфічних особливостей, пов'язаних з нечітким визначенням вимог (запитів) замовників і споживачів цих освітніх послуг. До найбільш значущих зацікавлених сторін цього процесу можна віднести: здобувачів вищої освіти та їх батьків; державу, яка зацікавлена в підвищенні рівня освіти населення; роботодавців, які потребують кваліфікованих працівників і заклади вищої освіти (ЗВО), що забезпечують надання цієї освіти [3–5]. Оскільки у кожної з вище наведених зацікавлених сторін мета і вимоги щодо результатів навчання можуть дещо відрізнятися, то для них може відрізнятися і поняття якості вищої освіти та якості освітньої діяльності. Така різновекторність у різних зацікавлених сторін є перешкодою на шляху створення універсальних критеріїв якості вищої освіти та якості освітньої діяльності. Ймовірно, на сучасному етапі, буде неможливо створення таких загальних критеріїв, проте навіть спроба звести їх до деякого спільного знаменника може дозволити істотно знизити непродуктивне навантаження на учасників освітнього процесу.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Деякі дослідники під якістю освіти розуміють якість викладання і навчання у вищих навчальних закладах, яка відображає міру, в якій навчальна діяльність та навчальні засоби допомагають здобувачам вищої освіти досягнути відповідних цілей навчання, які визначені навчальною програмою [6]. Такий підхід має право на існування, але лише в тому разі, якщо якість освітніх програм відповідає вимогам всіх інших стейкхолдерів.

Підхід, що базується на результатах навчання і який має на меті випуск конкурентоспроможних фахівців, а не ставить на перший план вимоги до процесу навчання, є найбільш доцільним [7]. Найскладнішим в такому підході є незручність нормування вимог щодо якості освіти, оскільки ці показники складно формалізувати у вигляді критеріїв які можуть бути використані для оцінювання діяльності вишів.

Ціль та задачі дослідження. Метою є визначення підходів до формування критеріїв оцінки якості освітніх послуг закладів вищої освіти.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

– проаналізувати складові забезпечення якості освітніх послуг.

– визначити та надати опис відомих підходів і принципів у формуванні критеріїв якості вищої освіти та якості освітніх послуг;

– проведення ґрунтовного аналізу причин в становленні різних підходів формування критеріїв якості вищої освіти та освітніх послуг та визначення шляхів зближення цих критеріїв для задоволення попиту на якісну вищу освіту усіх стейкхолдерів.

Матеріали та методи дослідження. Держава, як найважливіша зацікавлена сторона в реалізації освітньої діяльності [8], що виділяє на це певні ресурси, має право вимагати від ЗВО відповідного рівня надання освітніх послуг [9]. Реалізацією цих вимог є Закон України «Про освіту» та підзаконні акти, що встановлюють конкретні показники (нормативи) для проходження процедур ліцензування та акредитації освітньої діяльності ЗВО. Таке нормування визначає ті мінімальні вимоги, яким повинні відповідати ЗВО для того, що б отримати право на реалізацію освітніх послуг. Іншими словами, відповідність ліцензійним

© Л. М. Перпері, Г. О. Оборський, Ю. Г. Паленний, Г. М. Голобородько. 2017

умовам і нормативам акредитації є для ЗВО пропуском на ринок освітніх послуг. Але на цьому ринку, в умовах жорсткої ринкової конкуренції для виживання необхідно бути кращими. Простої відповідності ліцензійним умовам і акредитаційним нормативним вимогам замало.

У відповідності до закону України «Про освіту» якість освітньої діяльності визначається рівнем організації, забезпечення та реалізації освітнього процесу, що забезпечує здобуття особами якісної освіти та відповідає вимогам, встановленим законодавством та/або договором про надання освітніх послуг, а якість освіти – відповідність результатів навчання вимогам, встановленим законодавством, відповідним стандартом освіти та/або договором про надання освітніх послуг [10]. Як бачимо, в одному та другому визначеннях є відповідність вимогам законодавства, стандартам освіти та іншим вимогам, вказаним в договорах про надання освітніх послуг. Законодавчі, ліцензійні, акредитаційні вимоги, вимоги стандартів вищої освіти (СВО) та стандартів і рекомендацій щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (ESG) визначено у відповідних документах, але при цьому вимоги споживачів швидко змінюються в залежності від запитів ринку праці, рівня конкуренції, стану соціального та економічного середовища.

Тому для забезпечення сталого розвитку ЗВО мають управляти якістю надання освітніх послуг. Управління якістю пов'язане з формуванням політики та встановленням цілей у сфері якості, визначенням процесів задля досягнення цих цілей через планування, забезпечування, контролювання та поліпшування якості. Розглянемо більш детально складову частину управління якістю – забезпечення якості, яка зосереджена на створюванні впевненості в тому, що вимоги щодо якості буде виконано [11]. На рис. 1 представлено схему забезпечення якості.

Рис. 1 – Схема забезпечення якості

За стандартом ISO 9000 термін якість визначено як ступінь, до якого сукупність власних характеристик об'єкта задовольняє вимоги [11]. Виконання ліцензійних умов провадження освітньої діяльності ЗВО пов'язані із забезпеченням відповідності кількісних та якісних показників кадрових вимог, технологічних вимог щодо матеріально-технічного забезпечення освітньої діяльності, технологічних вимог щодо навчально-методичного, інформаційного забезпечення освітньої діяльності [12]. Державні акредитаційні вимоги пов'язані з виконанням вимог законів України, актів Президента України, Кабінету Міністрів України, нормативно-правових актів Міністерства освіти і науки України, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України, та інших нормативно-правових актів у галузі вищої освіти та з дотриманням нормативних вимог щодо якісних характеристик підготовки фахівців за відповідними освітніми рівнями, які складаються з умов забезпечення державної гарантії якості вищої освіти, з рівня підготовки фахівців за результатами освітньої діяльності та з організації наукової роботи [13]. СВО за відповідним рівнем освіти в межах конкретної спеціальності визначають вимоги до освітніх програм: обсяг у кредитах ЄКТС; перелік компетентностей, якими мають оволодіти здобувачі; нормативний зміст підготовки у термінах результатів навчання; форми атестації здобувачів; вимоги до системи внутрішнього забезпечення якості; вимоги професійних стандартів (у разі їх наявності) [14]. Стандарти ESG ґрунтуються на чотирьох принципах: ЗВО несуть відповідальність за якість надання освітніх послуг; забезпечення якості сприяє розвитку культури у сфері якості та відповідає різноманітності систем вищої освіти, ЗВО, програм та здобувачів освіти; забезпечення якості враховує потреби та очікування здобувачів освіти, усіх інших зацікавлених сторін. ESG складаються з трьох частин, які стосуються внутрішнього забезпечення якості, зовнішнього забезпечення якості і агентства забезпечення якості. Вимоги трьох частин формують основу Європейських рамок забезпечення якості [15].

У відповідності до вимог Закону України «Про вищу освіту» внутрішня система забезпечення якості ЗВО передбачає, насамперед, здійснення заходів пов'язаних з визначенням принципів та процедур забезпечення якості вищої освіти. Для більш чіткого розуміння встановлених правил, загальних принципів та характеристик, які стосуються різних видів діяльності в сфері забезпечення якості в ЗВО мають бути запроваджені внутрішні нормативні документи. Стандарти ЗВО встановлюють порядок застосування та контроль провадження нормативних документів стосовно реалізації основних видів діяльності.

З метою отримання достовірних даних та інформації в результаті реалізації основних видів діяльності ЗВО повинно визначити, що саме потрібно піддавати моніторингу та вимірюванню, коли треба провадити моніторинг і вимірювання та коли треба аналізувати і оцінювати результати моніторингу та вимірювання.

Оцінка якості це визначення відповідності освітньої послуги встановленим вимогам, та є основою для аналізу та прийняття управлінських рішень. Для вдосконалення діяльності ЗВО та забезпечення сталого розвитку необхідно регулярно проводити самооцінку діяльності. Проведення самооцінки надає змогу виявляти області діяльності, які потребують поліпшення та отримувати можливість порівняння досягнутих результатів діяльності як на внутрішньому рівні так і на зовнішньому. Державний нагляд (контроль) освітньої діяльності ЗВО здійснюється у формах: проведення акредитаційної експертизи, експертної оцінки діяльності та інспектування за унормованими показниками встановлених вимог.

Проте, абітурієнт, при виборі ЗВО, найменше бере до уваги нормативи, встановлені для ЗВО на законодавчому рівні. Абітурієнту важливо зуміти реалізувати себе як фахівця після закінчення вищого навчального закладу. Саме на вирішення таких завдань націлені стандарти ESG. Ухвалення стандартів ESG спрямовано на забезпечення гарантії якості навчання і викладання у вищій освіті. По суті, стандарти ESG є рекомендаціями, які пропонують певні механізми побудови внутрішньої і зовнішньої систем забезпечення якості у ЗВО. Складність побудови освітніх стандартів полягає в тому, що необхідно визначити сукупність вимог до змісту та результатів освітньої діяльності, яка буде забезпечувати якість освіти, але це правило не повинно стримувати ініціативу освітнього закладу, забезпечуючи його свободу вибору механізму забезпечення якості освіти.

Такий спосіб забезпечення якості дуже схожий зі способом наведеним в стандартах серії ISO 9000 на систему менеджменту якості підприємств. Принцип, закладений в основу цих стандартів, показав свою ефективність і результативність за умови неформального застосування встановлених в стандартах норм. Вперше прийняті в 1987 році, на даний час стандарти прийняті в 190 країнах світу.

Універсальність методів стандартів дозволяє застосовувати їх в найрізноманітніших областях виробництв і надання послуг. Поряд зі стандартами серії ISO 9000 в деяких галузях промисловості розробляються свої стандарти, які базуються на принципах стандартів менеджменту якості. При найближчому розгляді стандартів ESG можна побачити, що ці стандарти узгоджені з принципами, на яких побудовані стандарти на системи менеджменту якості. Підходи з формування критеріїв освітніх послуг представлено на рис. 2.

З рис. 2 видно, що два підходи нормування якості освітніх послуг формально ставлять одну й ту ж мету, але істотно відрізняються їх «точки прикладання» і, як наслідок, будуть відрізнятися нормовані показники. Стандартом освітньої діяльності передбачена сукупність мінімальних вимог до кадрового, навчально-методичного, матеріально-технічного та інформаційного забезпечення освітнього процесу закладами вищої освіти [14]. Стандарти ESG і ISO 9001 орієнтовані на забезпечення отримання гарантованої освіти, що відповідає вимогам замовника та інших зацікавлених сторін.

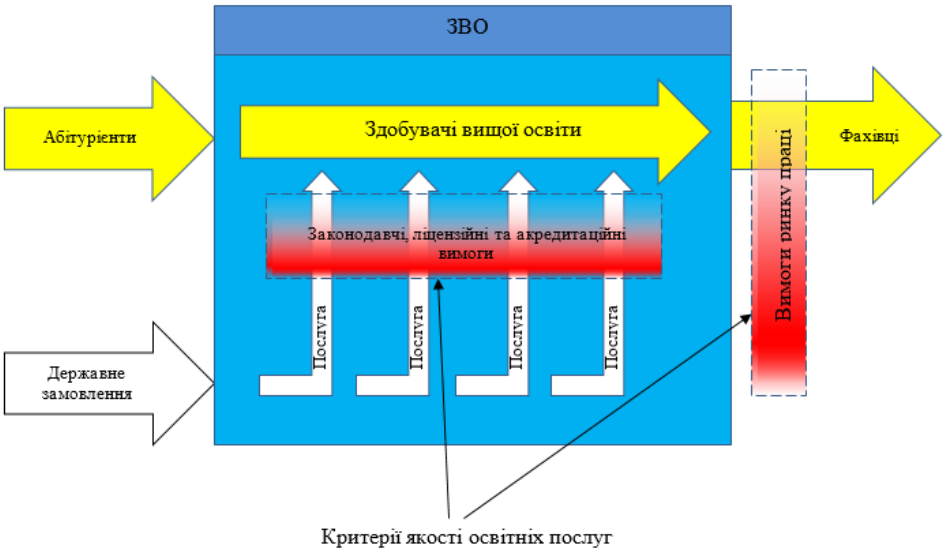


Рис. 2 – Формування критеріїв освітніх послуг

Враховувати запити ринку можна тільки в тому випадку якщо ці запити чітко ідентифіковані і задоволеність споживача може бути кількісно оцінена. Відносини зі споживачем освітніх послуг повинні бути побудовані за принципом постійного поліпшення. Для цього, реалізація навчального процесу повинна бути спрямована на задоволення запиту зацікавлених сторін, а по закінченню навчального процесу повинен проводиться контроль і коригування навчального процесу. Ефективність системи управління якості оцінюється, перш за все, абітурієнтами, які обирають навчальний заклад та довіряють йому і покладають надії на своє становлення в суспільстві за допомогою знань отриманих в навчальному закладі. Тому, бачиться, що система оцінки якості освіти має містити ще й оцінювання досягнутих результатів навчання з боку випускників, яке наддасть змогу своєчасно реагувати на потреби безпосередніх споживачів цих освітніх послуг і корегувати освітню діяльність та реалізувати студентоцентрований підхід при побудові навчального процесу.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Виконання норм ліцензування та акредитації, встановлених в законодавчих актах, є тільки першим кроком ЗВО на забезпечення належної якості освіти. Наступним кроком має бути розробка власного бачення розвитку ЗВО, базуючись на освітніх стандар-

тах ESG. Конкретизація рекомендацій ESG можлива із застосуванням апробованих і визнаних міжнародних стандартів серії ISO 9000.

2. Аналіз підходу до забезпечення якості відповідно до вимог стандарту ISO 9001 показує, що точку прикладання нормування освітньої діяльності, в тому числі на рівні законодавства, слід зміщувати з процесу освітньої послуги і переносити її на здобувача вищої освіти, майбутнього фахівця з урахуванням вимог ринка праці. Рішення такого завдання не має простого рішення, однак, її вирішення може допомогти ЗВО сформувати критерії освітніх послуг для оцінювання якості з метою вдосконалення діяльності ЗВО та забезпечення сталого розвитку.

Список літератури:

1. *Кузьмінський, Є. В.* Глобалізація і якість освіти [Текст] / *Є. В. Кузьмінський, О. М. Шведа, К. О. Щурська, О. В. Швед, В. П. Новіков* // Вісн. НАН України. – 2013. – № 6. – С. 52–60.
2. *Огнев'юк, В. О.* Якість освіти та експертний супровід її забезпечення [Текст]: навч.-метод. пос. / *В. О. Огнев'юк, О. М. Кузьменко* // Освітологія: підготовка експертів у галузі освіти. – Київ: Едельвейс, 2015. – С. 105–150.
3. *Оборський, Г. О.* Підходи до оцінювання компетентностей та вимірювання результатів навчання освітніх програм [Текст] / *Г. О. Оборський, Л. М. Перпері, Г. М. Голобородько* // Вісник "ХПІ". Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2017. – № 19 (1241). – С. 157–162.
4. *Савицька, Н. Л.* Інституціональні проблеми взаємодії стейкхолдерів у вищій освіті [Електронний ресурс] / *Н. Л. Савицька* // Матер. 6 Всеукр. наук.-практ. конф. «Соціально-економічні трансформації в епоху глобалізації». – 2015. – С. 48–52. – Режим доступу: http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/4323/1/Savicka.pdf
5. *Опфер, Е. А.* Мониторинг удовлетворенности заинтересованных сторон вуза качеством образования [Текст] / *Е. А. Опфер* // Известия ВолгГТУ. – 2014. – № 5 (132). – С. 135–138.
6. *Свіжевська, С. А.* Експертиза якості освіти: Європейський підхід до оптимізації критеріїв акредитації у ВНЗ України [Електронний ресурс] / *С. А. Свіжевська* // Режим доступу: http://www.nmu.org.ua/ua/content/infrastructure/structural_ divisions/science_ met_dep/statti_akr/ekspt_yakosti.php
7. *Гугнин, В. П.* Мониторинг, измерение и оценка качества профессиональной подготовки специалистов [Текст] / *В. П. Гугнин, А. М. Голобородько, Л. М. Перпери, Е. Н. Глушкова* // Шляхи реалізації кредитно-модульної системи організації навчального процесу і тестових форм контролю студентів. – 2014. – Вип. 9. – С. 14–17.
8. *Вербицька, А. В.* Реалізація державної політики у сфері вищої освіти України: проблеми та невідповідності тенденціям країн Європейського Союзу [Текст] / *А. В. Вербицька* // Молодий вчений. – 2015. – Вип. 7 (22). – С. 151–158.
9. Бюджет освіти та науки 2017: що пропонує уряд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://osvita.ua/school/52327/
10. Закон України «Про освіту» № 2145-VIII від 05.09.2017 р. (Редакція від 15.09.2017 р.) [Текст]. – Верховна Рада України. – Режим доступу: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2145-19
11. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT) [Текст]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 45 с.
12. Постанова «Про затвердження Ліцензійних умов провадження освітньої діяльності закладів освіти» від 30 грудня 2015 р. № 1187 [Текст]. – Верховна Рада України. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-п/page
13. Державні вимоги до акредитації напряму підготовки, спеціальності та вищого навчального закладу. Наказ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 13.06.2012 № 689 [Текст]. – Верховна Рада України. – Режим доступу: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1108-12/paran13#n13
14. Закон України «Про вищу освіту» № 1556-VII від 01.07.2014 р. (Редакція від 16.04.2017 р.) [Текст]. – Верховна Рада України. – Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18/page
15. Стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (ESG) [Текст]. – К.: ТОВ "ЦС", 2015. – 32 с.

Bibliography (transliterated):

1. Kuzminskyi, Ye. V., Shved, O. M., Shchurska, K. O., Shved, O. V., Novikov, V. P. (2013). Hlobalizatsiya i yakist osvity. Visn. NAN Ukrainy, 6, 52–60.
2. Ohneviuk, V. O., Kuzmenko, O. M. (2015). Yakist osvity ta ekspertnyi suprovid yii zabezpechennia. Osvitolohiya: pidhotovka ekspertiv u haluzi osvity. Kyiv: Edelveis, 105–150.
3. Oborskyi, H. O., Perperi, L. M., Holoborodko, H. M. (2017). Pidkhody do otsiniuvannia kompetentnostei ta vymiriuvannia rezultativ navchannia osvitnikh prohram. Visnyk "KhPI". Ser.: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy, 19 (1241), 157–162.
4. Savytska, N. L. (2015). Instytutsionalni problemy vzaiemodiyi steikkholderiv u vyshchiy osviti. Mater. 6 Vseukr. nauk.-prakt. konf. «Sotsialno-ekonomichni transformatsiyi v epokhu hlobalizatsiyi», 48–52. Available at: http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/4323/1/Savicka.pdf
5. Opfer, E. A. (2014). Monitoring udovletvorennosti zainteresovannyh storon vuza kachestvom obrazovaniya. Izvestiya VolgGTU, 5 (132), 135–138.
6. Svizhevska, S. A. Ekspertyza yakosti osvity: Yevropeiskyi pidkhid do optymizatsiyi kryteriyv akredytatsiyi u VNZ Ukrainy. Available at: http://www.nmu.org.ua/ua/content/infrastructure/structural_divisions/science_met_dep/statti_akr/ekspt_yakosti.php
7. Gugnin, V. P., Goloborod'ko, A. M., Perperi, L. M., Glushkova, E. N. (2014). Monitoring, izmerenie i ocenka kachestva professional'noy podgotovki specialistov. Shliakhy realizatsiyi kredytno-modulnoi systemy orhanizatsiyi navchalnoho protsesu i testovykh form kontroliu studentiv, 9, 14–17.
8. Verbytska, A. V. (2015). Realizatsiia derzhavnoi polityky u sferi vyshchoi osvity Ukrainy: problemy ta nevidpovidnosti tendentsiiam krain Yevropeiskoho Soiuzu. Molodyi vchenyi, 7 (22), 151–158.
9. Biudzhet osvity ta nauky 2017: shcho proponuie uriad. Available at: http://osvita.ua/school/52327/
10. Zakon Ukrainy «Pro osvitu» No. 2145-VIII vid 05.09.2017 r. (Redaktsiya vid 15.09.2017 r.). Verkhovna Rada Ukrainy. Available at: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2145-19
11. DSTU ISO 9000:2015. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv (ISO 9000:2015, IDT) (2016). Kyiv: DP «UkrNDNTs», 45.
12. Postanova «Pro zatverdzhennia Litsenziynykh umov provadzhennia osvitnoi diyalnosti zakladiv osvity» vid 30 hrudnia 2015 r. No. 1187. Verkhovna Rada Ukrainy. Available at: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-п/page
13. Derzhavni vymohy do akredytatsiyi napriamu pidhotovky, spetsialnosti ta vyshchoho navchalnoho zakladu. Nakaz Ministerstva osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy vid 13.06.2012 No. 689. Verkhovna Rada Ukrainy. Available at: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1108-12/paran13#n13
14. Zakon Ukrainy «Pro vyshchu osvitu» No. 1556-VII vid 01.07.2014 r. (Redaktsiya vid 16.04.2017 r.). Verkhovna Rada Ukrainy. Available at: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18/page
15. Standarty i rekomendatsiyi shchodo zabezpechennia yakosti v Yevropeiskomu prostori vyshchoi osvity (ESG) (2015). Kyiv: TOV "TsS", 32.

Надійшла (received) 12.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аспекти формування критеріїв оцінки якості освітніх послуг/ Перпері Л. М., Оборський Г. О., Паленний Ю. Г., Голобородько Г. М. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.162–166. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Аспекты формирования критериев оценки качества образовательных услуг/ Перпери Л. М., Оборский Г. А., Паленный Ю. Г., Голобородько А. М. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.162–166. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Aspects of the criteria formation of the assessing educational services quality./ Perperi L. , Oborskyi H. , Palennyi Yu. , Goloborodko G. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 44 (1266).– P.162–166. – Bibliogr.:15. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Перпері Людмила Михайлівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, консультант центру із забезпечення якості вищої освіти, доцент кафедри металорізальних верстатів, метрології та сертифікації; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: lmp.mvms@ukr.net.

Перпери Людмила Михайловна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, консультант центра по обеспечению качества высшего образования, доцент кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: lmp.mvms@ukr.net.

Perperi Liudmyla – PhD, Odessa National Polytechnic University; Consultant of the Centre for quality assurance in higher education, associate professor of the department metal-cutting machines, metrology and certification; 1, Shevchenko avenue, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: lmp.mvms@ukr.net.

Оборський Геннадій Олександрович – доктор технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, ректор, професор кафедри металорізальних верстатів, метрології та сертифікації; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: rector@opu.ua.

Оборский Геннадий Александрович – доктор технических наук, Одесский национальный политехнический университет, ректор, профессор кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: rector@opu.ua.

Oborskyi Hennadii – doctor technical sciences, Odessa National Polytechnic University; rector, professor of the department metal-cutting machines, metrology and certification; 1, Shevchenko avenue, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: rector@opu.ua.

Паленний Юрій Григорович – Одеський національний політехнічний університет, старший викладач кафедри металорізальних верстатів, метрології та сертифікації; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Паленный Юрий Григорьевич – Одесский национальный политехнический университет, старший преподаватель кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Palennyi Yuriy – Odessa National Polytechnic University; teacher of the department metal-cutting machines, metrology and certification; 1, Shevchenko avenue, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: yuripalenny@gmail.com.

Голобородько Ганна Михайлівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, начальник сектору центру із забезпечення якості вищої освіти, доцент кафедри металорізальних верстатів, метрології та сертифікації; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: amg.mvms@ukr.net.

Голобородько Анна Михайловна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, начальник сектора центра по обеспечению качества высшего образования, доцент кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: amg.mvms@ukr.net.

Goloborodko Ganna – PhD, Odessa National Polytechnic University; Head of sector of the Centre for quality assurance in higher education, associate professor of the department metal-cutting machines, metrology and certification; 1, Shevchenko avenue, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: amg.mvms@ukr.net.

ЗМІСТ

Артемьев С. Р., Шапорев В. П., Цымбал Б. М. Об актуальности проведения исследований различных групп нитевидных кристаллов **3**

Магеррамов А. М., Кулиев М. М., Алиев Н. Ш., Исмайилова Р. С., Байрамов М. Н., Аббасов И. И. Диэлектрические свойства модифицированных γ–излучением композитов полиэтилена высокой плотности /ZnO/ **13**

Кириченко К. В., Щедролосєв О. В., Рашковський О. С. Оптимізація складу суднобудівного бетону із заданими експлуатаційними і технологічними властивостями **20**

Беляев А. В., Карташов В. М. Модели сигналов в универсальном мультимедийном стрелковом тренажере **28**

Білошицька О. К. Класифікація патологічних ЕЕГ-сигналів за допомогою методів машинного навчання **35**

Мурад'ян А. О. Механізм узгодженого управління регулюванням строків доставлення вантажів у транспортний вузол **40**

Гуцол Т. Д. Моделирование электромагнитных полей в организме животного при его термографировании **43**

Алешинский Е. С., Мещеряков В. В., Бондаренко А.П. Повышение уровня обслуживания систем управления запасами путем интеграции процессов транспортной логистики **47**

Становський О. Л., Хомяк Ю. М., Торопенко А. В., Науменко Є. О., Дадерко О. І. Управління напруженістю систем за допомогою штучного інтелекту **52**

Баженов В. Г., Гльойнік К. А., Ходневич С. В. Ортогональний амплітудно-фазовий метод вимірювання при проектуванні вихрострумових дефектоскопів на базі мікроконтролерів **60**

Шликов В. В. 3D-модель теплового обміну в міокарді та коронарних судинах серця **65**

Вдовиченко В. О. Вплив оптимізаційного управління транспортно–пересадочними вузлами міського пасажирського транспорту на питому вагу непродуктивних простоїв транспортних засобів **69**

Надточий А. В. Концептуальна модель управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень **75**

Гетманюк П. О., Форкун Ю. В. Моделі онлайн–спільнот як основа взаємодії учасників колаборативного документування **85**

Скуратовский Р. В., Осадчий Е. А., КвашукД. М. Деление точки скрученных кривой Эдвардса на два и его применение в криптографии **90**

Козаченко Д. М., Болвановська Т. В., Яновський П. О. Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках у стохастичних умовах **97**

Романчук В. В., Топільницький П. І., Чан Куок Кхань Дослідження антикорозійних властивостей потенційних інгібіторів корозії, призначених для нафтопереробної промисловості **103**

Кальченко Б. І., Кожушко А. П. Дослідження динамічної стійкості та плавності руху колісних тракторів **110**

Вєчерковська А. С., Поперешняк С. В. Автоматизація виробництва елементів з пористого поліпропілену методом пневмоекструзії **116**

Дадашов И. Ф. Ковалёв А. А. Обоснование конструкции и методики расчёта конструктивно-технологических параметров эжекционного аппарата применяемого при пожаротушении **122**

Шевченко Р. І. Формування математичної моделі організаційно-технічного методу скорочення негативних наслідків надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру місцевого рівня поширення **130**

Оникієнко Ю. Ю. Методика визначення інформативних показників, що характеризують функцію статичної рівноваги фахівців екстремальних видів діяльності **136**

Рисована Л. М., Висоцька О. В., Панфьорова І. Ю., Зінченко Ю. Є. Інформаційна технологія визначення психоемоційних розладів у жінок з різним станом сімейної взаємодії **141**

Чоботько И. И., Тынына С. В. Проблемы эксплуатации и методы предотвращения возгораемости породных отвалов **146**

Левченко О. Г., Ільчук О. С. Оптимальне управління розподілом та перерозподілом економічних ресурсів при виборі проектів з охорони праці для машинобудівних виробництв **151**

Волков С. Л., Казакова Н. Ф., Асабашвілі С. Д. Модель експертного оцінювання якісного стану технічної системи **157**

Перпері Л. М., Оборський Г. О., Паленний Ю. Г., Голобородько Г. М. Аспекти формування критеріїв оцінки якості освітніх послуг **162**

CONTENTS

Artemiev S., Shaporev V., Cimbal B. On the urgency of conducting research on various groups of filamentary crystals **3**

Maharramov A. M., Guliyev M. M., Aliyev N. Sh., Ismayilova R. S., Bayramov M. N. , Abbasov I. I. Dielectric properties of γ–radiation modified high–density polyethylene / ZnO composites **13**

Kyrychenko K., Shchedrolosiev O., Rashkovskyi O. Optimization of the shipbuilding concrete with set points of operational and technological properties **20**

Bieliaiev O., Kartashov V. Models of signals in a universal multim edia shooting simulator **28**

Biloshytska O. Classification of pathological EEG signals using machine learning methods **35**

Muradian A. Modelling and optimization of cargo transfer process in transport hubs **40**

Hutsol T. Modeling of the electromagnetic fields in the animal organism at its thermography **43**

Alechinsky E., Meshcheryakov V., Bondarenko A. Increasing service level of reserve management systems by integration of transport logistics processes **47**

Stanovskyi A., Khomjak Yu., Toropenko A., Naumenko Ie., Daderko O. The systems tension control with the help of artificial intelligence **52**

Bazhenov V., Gloinik K., Khodnevych S. Orthogonal amplitude-phase method of measurement in design of extrusion defectoscopes on the basis of microcontrollers **60**

Shlykov V. 3D-model of heat exchange in the myocardium and coronary vessels of the heart **65**

Vdovychenko V. Influence of optimization management of transport interchange hub of urban passenger transport on the share of unproductive downtime of vehicles **69**

Nadtochiy A. Conceptual model of project management for robotics underwater archaeological research **75**

Getmanyk P., Forkun Y. Models of online–communities as a communicational basis in collaborative documentation **85**

Skuratovsky R., Osadchy E., Kvashuk D. Halving of twisted Edwards curve points and its application in cryptography **90**

Kozachenko D., Bolvanovska T., Yanovsky P. Optimization of braking regimes of cuts on sorting humps in stochastic conditions **97**

Romanchuk V., Topilnytskyy P. Tran Quoc Khanh Study of anticoroic properties of corrosion potential inhibitors intended for oil refining industry **103**

Kal'chenko B., Kozhushko A. Research dynamic stability and vibration while driving wheeled tractor **110**

Vecherkovskaya A., Popereshnyak S. Automating the production of porous polypropylene elements by pnevmoekstruzii **116**

Dadahov I. Kovalev A. Substantiation of the design and methodology for calculating the design and technological parameters of the ejection apparatus used in fire extinguishing **122**

Shevchenko R. Formation of the mathematical model of the organizational and technical method of reducing the negative consequences of emergency situations of the medical and biological character of the local level of distribution **130**

Onykiienko Y. Method of determining the informative indicators with characterizing the function of the static equilibrium for specialist's of extreme types of activities **136**

Rysovana L., Vysotska O., Panforova I., Zinchenko Yu. Information technology of the determination of psychoemotional disorders in women with different state of family interaction **141**

Chobotko I., Tynyna S. Problems of operation and methods for preventing ignition of rock heaps **146**

Levchenko O., Ilchuk O. Optimal management of distribution and redistribution of economic resources of the choice of projects for labor protection for machine-building enterprises **151**

Volkov S., Kazakova N., Asabashvili S. Model of expert evaluation of the qualitative state of the technical system **157**

Perperi L., Oborskyi H., Palennyi Yu., Goloborodko G. Aspects of the criteria formation of the assessing educational services quality **162**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"

Збірник наукових праць

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

No 44(1266) 2017

Наукові редактори: д-р техн. наук, проф. Д. О. Дьомін
д-р техн. наук, проф. О. В. Акімов
Технічний редактор П. С. Пєнзев

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Кафедра ливарного виробництва.
Тел. (057) 707-68-54; e-mail: c7508990@gmail.com

Підп. до друку 26.12.2017р. Формат 60x84/16. Надруковано на різографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 21,25. Облік.вид.арк. 19,76
Наклад 100 прим. Зам. No 51-17. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи
ДК No3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Друкарня "Технологічний Центр"
Свідоцтво про державну реєстрацію No1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4, тел. (057)750-89-90