

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

ВІСНИК

**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»

№ 19(1241)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. – №19(1241) – 166 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ №5256 від 2 липня 2001 року

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» 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. Грабчєнко, 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. Спіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепєков, 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. Пуляєв, 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: Пензєв П. С., НТУ «ХПІ»;

Члени редколегії: Березуцький В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дмитрієв 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., Старооскольський 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 № 5 від «02» червня 2017 р.

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 666.3:539.53

Т. А. ПРИХНА, П. П. БАРВИЦКИЙ, С. Н. ДУБ, В. Б. СВЕРДУН, М. В. КАРПЕЦ, В. Е. МОЩИЛЬ,
В. Б. МУРАТОВ, А. А. ВАСИЛЬЕВ

СИНТЕЗ, СПЕКАНИЕ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ AlB_{12}

В статье представлены результаты исследований процессов синтеза керамики на основе AlB_{12} спеченной методом горячего прессования при 30 МПа и под квазизостатическим давлением 2 ГПа из субмикронного порошка $\alpha\text{-AlB}_{12}$ (с добавками углерода (C) и карбида титана (TiC), и без), их структуры и механические свойства. Разработано легкие материалы для применения в бронепластинах и других керамических ударопрочных изделиях.

Ключевые слова: додекаборид алюминия, $\alpha\text{-AlB}_{12}$, горячее прессование, высокое квазизостатическое давление, структура, механические свойства

В статті наведено результати дослідження процесів синтезу кераміки на основі AlB_{12} спеченої методом гарячого пресування при 30 МПа при квазіізостатичному тиску 2 ГПа із субмікронного порошку $\alpha\text{-AlB}_{12}$ (з добавками вуглецю (C) та карбиду титану (TiC) і без), їх структури і механічні характеристики. Розроблено легкі матеріали для застосування в бронепластинах та інших керамічних ударостійких виробках.

Ключові слова: додекаборид алюмінію, $\alpha\text{-AlB}_{12}$, гаряче пресування, високий квазіізостатичний тиск, структура, механічні властивості

The paper presents the results of the study on sintering of AlB_{12} -based ceramics at 30 MPa and 2 GPa pressure-temperature conditions from submicron $\alpha\text{-AlB}_{12}$ powder (without and with C and TiC), their structure and mechanical properties. The light materials are developed for armor plates and other products of the spectrum of application for shock-resistant ceramic. Materials sintered from $\alpha\text{-AlB}_{12}$ powder at 30 MPa, 2080-1950 °C contained 94-98 wt. % of $\alpha\text{-AlB}_{12}$ ($\rho = 2.53\text{-}2.58 \text{ g/cm}^3$) and their mechanical characteristics were rather similar: H_V (49 N) = 24.1 GPa hardness, K_{Ic} (49 N) = 4.9 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ fracture toughness, $R_{bs} = 336 \text{ MPa}$ bending and $R_{cs} = 378 \text{ MPa}$ compressing strengths. The 2 GPa pressure allowed us to obtain dense $\alpha\text{-AlB}_{12}$ at 1200-1400 °C with much lower hardness H_V (49 N) = 15.1-15.9 GPa and higher fracture toughness K_{Ic} (49 N) = $5.6 \pm 1.3 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$. Additions of 17 wt. % C to the $\alpha\text{-AlB}_{12}$ powder changed the phase composition of the material sintered at 30 MPa, 1950 °C for 86 wt. % $\text{AlB}_{12}\text{C}_2$ with $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$ and lead to the increase of K_{Ic} (49 N) to 5.9 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ and R_{cs} to 423 MPa. The material sintered from $\alpha\text{-AlB}_{12}$ powder with 20 wt. % TiC at 30 MPa and 1950 °C contained 74 wt. % $\text{AlB}_{12}\text{C}_2$, 22 wt. % TiB_2 , 4 wt. % Al_2O_3 , had high mechanical characteristics H_V (49 N) = 28.9 GPa, K_{Ic} (49 N) = 5.2 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$, $R_{bs} = 633 \text{ MPa}$ and $R_{cs} = 640 \text{ MPa}$, but its density increased to $\rho = 3.2 \text{ g/cm}^3$. The 12 wt. % TiC allows the formation of the material with $\rho = 2.74 \text{ g/cm}^3$, H_V (49 N) = 19.4 GPa, K_{Ic} (49 N) = 7 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ and phase composition 49 wt. % $\text{AlB}_{12}\text{C}_2$, 34 wt. % $\alpha\text{-AlB}_{12}$, 14 wt. % TiB_2 . The SEM study witnessed to more complicated structures, possibly due to solid solutions formation.

Keywords: aluminum dodecaboride, $\alpha\text{-AlB}_{12}$, sintering, hot pressing, high quasihydrostatic pressure, structure, mechanical properties.

Введение. В статье представлено результаты исследований, направленных на создание легкой ударопрочной керамики на основе додекаборида алюминия для защитной брони и других применений, таких, как конструкционная керамика на атомных электростанциях. Интерес к высшим боридам алюминия и додекабориду алюминия, в частности, существует в течение длительного времени [1-12], но до сих пор эти материалы не нашли широкого применения, так как промышленные и полупромышленные технологии получения порошков этих соединений еще не разработаны.

В настоящее время порошки додекаборидов алюминия производятся в небольших количествах в лабораторных условиях [11]. В связи с этим процессы спекания боридов алюминия и свойства консолидированных материалов на их основе мало исследованы и в литературе практически не описаны. Высшие бориды изучались с точки зрения их использования в качестве твердого топлива [2], абразивов, взрывчатых веществ и в качестве добавок к материалам на основе карбида бора [1, 8]. Довольно хорошо были изучены свойства монокристаллов высших боридов алюминия, полученные раствор-расплавным методом в алюминии [1, 3-10].

Структуры боридов алюминия аналогичны структуре карбида бора. Таким образом, их структуры включают почти правильные икосаэдры атомов бора. Однако не все структуры известных боридов

алюминия расшифрованы, и даже структура карбида бора еще не до конца понятна [14]. Расшифровка рентгенограмм методом Ритвельда высших боридов алюминия сильно затруднена, во-первых, из-за недостатка информации о структурах некоторых боридов алюминия, а, во-вторых, из-за большого количества атомов в их элементарных ячейках, а, следовательно, и большого количества отражающих «плоскостей» и рефлексов на рентгенограммах. Результаты структурных исследований методами SEM во многих случаях несколько противоречат результатам рентгеноструктурного анализа [15-18].

Целью наших исследований было изучение структуры и механических характеристик $\alpha\text{-AlB}_{12}$ с добавками углерода (C) и карбида титана (TiC), и без, полученных методом горячего прессования, а также в условиях высоких квазизостатических давлений. Основная цель исследования - разработка легких композитных керамических материалов с высокой твердостью и повышенной трещиностойкостью. Результаты сравниваются с характеристиками защитных пластин для средств индивидуальной защиты и данными, имеющимися в литературе [19], а также с характеристиками пластин, спеченных из порошка $\alpha\text{-AlB}_{12}$ в условиях горячего прессования (30 МПа) и при высоком квазизостатическом давлении (2 ГПа) при высокой температуре.

© Т. А. Прихна, П. П. Барвицкий, С. Н. Дуб, В. Б. Свердун, М. В. Карпец, В. Е. Моциль, В. Б. Муратов, А. А. Васильев. 2017

Получение материалов и методика проведения экспериментов. Образцы на основе α -AlB₁₂ были получены из субмикронных порошков α -AlB₁₂ синтезированных из гексагонального нитрида бора и алюминия [18]. Блоки диаметром 60 мм и толщиной 10–15 мм были изготовлены методом горячего прессования (давление 30 МПа) с помощью индукционного нагрева в графитовых пресс-формах, покрытых изнутри гексагональным нитридом бора (для изоляции от графитового нагревателя). Образцы диаметром 9 мм и толщиной 5–7 мм изготавливались при высоком (2 ГПа) давлении и температурах – 1200–1400 °С в контакте с предварительно скомпактированным порошком гексагонального нитрида бора с использованием графитового нагревателя. В таблице 1 представлены результаты исследования фазового состава (с помощью рентгенофазового анализа с расшифровкой методом Ритвельда) исходных α -AlB₁₂ порошков (средний размер зерен 50–150 нм, удельная поверхность 21–15 м²/г). Углерод и карбидом титана смешивали с порошком α -AlB₁₂ с использованием смесителя типа "пьяная бочка" в течение 12 часов [18].

Структуру образцов исследовали методом рентгеновской дифракции с использованием дифрактометра ДРОН-УМ1. Рентгенограммы получали с использование монокроматического Cu^oK α излучения ($\lambda = 1,541841$ Å) в диапазоне углов 2 Θ 8–88°, с шагом сканирования 0,05° и временем экспозиции в точке – 2 сек. Анализ экспериментальных данных проводили с помощью пакета программ PowderCell 2.4 с исполь-

зованием полнопрофильного метода Ритвельда [20]. Микроструктуру образцов анализировали с помощью растрового Оже-спектрометра (SEM) JAMP–9500F, совмещенного с растровым электронным микроскопом, имеющим высокую степень разрешения. Перед анализом поверхности образцов полировались и покрывались тонким слоем золота (для предотвращения зарядки материала под действием электронного пучка при исследовании).

Макротвердость по Виккерсу и трещиностойкость по Палмквисту определяли с помощью твердомера "ТП-2" и индентора Виккерса при нагрузке 49 Н. Изучение микротвердости проводили индентором Виккерса на микротвердомере "ПМТ-3" при нагрузке 4,91 Н. Размеры отпечатков измеряли с помощью универсального исследовательского микроскопа NU-2 (CarlZeissJena, Германия) при увеличении в 750 раз в режиме фазового контраста.

Исследование предела прочности при изгибе и сжатии полированных образцов размером 5 × 5 × 25 мм проводили при статическом нагружении по трехточечной схеме.

Границу прочности при трехточечном изгибе Ризг определяли с помощью прибора ФП-10 со шкалой 400 кгс, расстояние между нижними опорами, на которые устанавливали исследуемый образец, составляло l=15 мм, по уточненной формуле, выведенной для соотношений h / l > 0,15–0,20, где h – высота образца [18], а реальная плотность образца определялась путем гидростатического взвешивания [18].

Таблица 1 – Фазовый состав исходных порошков α -AlB₁₂ согласно расшифровке рентгенограмм с использованием метода Ритвельда, и параметры элементарных ячеек фаз, обнаруженных в порошках

Исходный порошок	Фазовый состав, мас. %	a, c, нм	№ образцов
α -AlB ₁₂ (I)	α -AlB ₁₂ = 88 h-BN = 3,5 Al ₂ O ₃ (spinel) = 8,5	a = 1,017; c = 1,429 a = 0,2501; c = 0,6689 a = 0,7955	2 и 3
α -AlB ₁₂ (II)	α -AlB ₁₂ = 95,5 h-AlN = 4,5 c-B ₂ O ₃ - следы	a = 1,0164; c = 1,4227 a = 0,3110; c = 0,4977 -	1,4,5,6,7 и 8
α -AlB ₁₂ (III)	α -AlB ₁₂ = 95 h-AlN = 5	a = 1,0174; c = 1,4286 a = 0,3111; c = 0,4981	9–12

Обсуждения процессов синтеза, спекания материалов на основе AlB₁₂, а также исследований их структуры и свойств. В табл. 2 и 3 приводятся данные об условиях изготовления, рентгено- фазовый анализ материалов с расшифровкой методом Ритвельда, параметры ячейки определенных фаз, плотности материалов и их механические характеристики. Нумерация образцов в таблицах и в тексте такая же. На рис. 1–3 показаны структуры некоторых материалов (полученные с помощью SEM) и результаты их микронзондовых исследований.

Как видно из сравнения данных, приведенных в таблицах и подписях к рисункам, имеют место расхождения между результатами рентгенофазового дифракционного анализа и микронзондового рентгеновского анализов. Это в некоторой степени связано с неопределенностями при микронзондовом исследовании материалов, содержащих легкие элементы (в нашем случае N, O, B и C присутствуют параллель-

но). Так, в исследуемых материалах спектр углерода перекрывается спектром бора (из-за большого количества бора), а спектр азота со спектром титана. Наличием более 2 фаз в материале, особенно со сложными элементарными ячейками, отсутствием эталонных рентгеновских данных для некоторых высших боридов алюминия и других соединений на основе бора, что в значительной мере усложняет оценку фазового состава материалов.

Изучение спеченных на основе α -AlB₁₂ материалов (образцы 1–5) из исходных порошков с примерным фазовым составом поданным в табл. 1, показало, что твердость и трещиностойкость горячепрессованных (при 30 МПа, 1950–2050 °С) материалов, содержащих 94–98 мас. % α -AlB₁₂ (образцы 1, 2) составляли около 24 ГПа и 4,9 МПа м^{0,5} (при нагрузке 49 Н, табл. 2). Несмотря на кратковременное (0,17 ч) спекание, но с использованием высокого давления (2 ГПа) при гораздо более низких температурах

(1200 °C, образец 3), был получен плотный материал с довольно высокой твердостью, но пониженной трещиностойкостью. Увеличение времени спекания при этом же давлении и температуре (образец 4) привело к увеличению трещиностойкости, но резкому снижению твердости материала. Повышение температуры спекания до 1400 °C (образец 5) (при кратковременной выдержке) не позволили улучшить механические характеристики материала (образец 6). Для обеспечения высокого уровня защиты человека предпочтительной является комбинация высокой

твердости и трещиностойкости бронематериала. Керамическая пластина является только одним слоем обычно многослойной бронеплиты в пуленепробиваемом жилете, который частично или полностью разрушается после попадания в него пули, и, таким образом, поглощает кинетическую энергию пули. Экспериментальное исследование показало, что для высокого уровня защиты твердость керамической пластины должна составлять около 20 ГПа и трещиностойкость около 6–7 МПа м^{0,5}.

Таблица 2 – Состав исходной порошковой смеси и условия спекания (Т–температура, Р–давление, τ–время выдержки) материала на основе α-AlB₁₂, фазовый состав консолидированного материала, его плотность (ρ) и параметры элементарной ячейки (a, c) присутствующих фаз в спеченных образцах

№ образца	Исходный порошок	Р, Т, τ	Фазовый состав, мас. %, ρ	Параметры элементарной ячейки a, c, нм
1	α-AlB ₁₂ (II)	P = 30 МПа T = 1950 °C τ = 0,3 ч	α-AlB ₁₂ = 94 BN _g = 6 ρ = 2,53 г/см ³	a = 1,0157; c = 1,4244 a = 0,2504; c = 0,6660
2	α-AlB ₁₂ (I)	P = 30 МПа T = 2080 °C τ = 0,17 ч	α-AlB ₁₂ = 98 BN = 2 ρ = 2,58 г/см ³	a = 1,0160; c = 1,4252 a = 0,2509; c = 0,6661
3	α-AlB ₁₂ (I)	P = 2 ГПа T = 1200 °C τ = 0,17 ч	α-AlB ₁₂ = 79 % Al ₂ O ₃ = 21 ρ = 2,65 г/см ³	a = 1,0157; c = 1,4273 a = 0,4760; c = 1,2990
4	α-AlB ₁₂ (II)	P = 2 ГПа T = 1200 °C τ = 1 ч	α-AlB ₁₂ = 81,5 Al ₂ O ₃ = 15 AlN(H) = 3,5 ρ = 2,5 г/см ³	a = 1,0198; c = 1,4273 a = 0,4766; c = 1,3009 a = 0,3107; c = 0,4991
5	α-AlB ₁₂ (II)	P = 2 ГПа T = 1400 °C τ = 0,17 ч	α-AlB ₁₂ = 81 Al ₂ O ₃ = 16,5 AlN(H) = 2,5 ρ = 2,51 г/см ³	a = 1,0205; c = 1,4285 a = 0,4765; c = 1,3014 a = 0,3110; c = 0,4979
6	α-AlB ₁₂ (II) + 17 мас. % C	P = 30 МПа T = 1950 °C τ = 0,3 ч	AlB ₁₂ C ₂ = 86 AlN = 14 ρ = 2,7 г/см ³	a = 0,5610; c = 1,2118 a = 0,3147; c = 0,5015
7	α-AlB ₁₂ (II) + 17 мас. % C	P = 2 ГПа T = 1200 °C τ = 1 ч	α-AlB ₁₂ = 81,5 Al ₂ O ₃ = 11,5 AlN (H) = 3,5 BN(g) = 3,5 ρ = 2,67 г/см ³	a = 1,0163; c = 1,4257 a = 0,4772; c = 1,3030 a = 0,3116; c = 0,4983 a = 0,2504; c = 0,6761
8	α-AlB ₁₂ (II) + 17 мас. % C	P = 2 ГПа T = 1400 °C τ = 1 ч	α-AlB ₁₂ = 42 Al ₂ O ₃ = 35 AlN(H) = 19 C(G) = 4 ρ = 2,42 г/см ³	a = 1,0176; c = 1,4295 a = 0,4781; c = 1,3070 a = 0,3128; c = 0,5005 a = 0,2470; c = 0,6760
9	α-AlB ₁₂ (III) + 20 мас. % TiC	P = 30 МПа T = 1950 °C τ = 0,3 ч	AlB ₁₂ C ₂ = 74 TiB ₂ = 22 Al ₂ O ₃ = 4 ρ = 3,2 г/см ³	a = 0,5608; c = 1,2436 a = 0,3033; c = 0,3235 a = 0,4769; c = 1,3022
10	α-AlB ₁₂ (III) + 12 мас. % TiC	P = 30 МПа T = 1950 °C τ = 0,3 ч	AlB ₁₂ C ₂ = 49 α-AlB ₁₂ = 34 TiB ₂ = 17 ρ = 2,74 г/см ³	a = 0,5631; c = 1,2408 a = 1,0156; c = 1,4243 a = 0,3026; c = 0,3233
11	α-AlB ₁₂ (III) + 20 мас. % TiC	P = 2 ГПа T = 1200 °C τ = 1 ч	α-AlB ₁₂ = 79 TiC = 14,5 AlN = 6,5 ρ = 3,13 г/см ³	a = 1,0176; c = 1,4241 a = 0,4321 a = 0,3105; c = 0,4955
12	α-AlB ₁₂ (III) + 20 мас. % TiC	P = 2 ГПа T = 1400 °C τ = 0,17 ч	AlB ₁₂ C ₂ = 70 Al ₂ O ₃ = 30 ρ = 2,46 г/см ³	a = 0,5682; c = 1,2400 a = 0,4789; c = 1,3063
13	B ₄ C	P = 30 МПа T = 2240 °C τ = 0,17 ч	B ₄ C ~ 100 ρ = 2,52 г/см ³	a = 0,5608; c = 1,2117

Таблица 3 – Механические свойства материалов на основе α -AlB₁₂: твердость по Виккерсу, H_V, при разных нагрузках, трещиностойкость K_{1с}, определенная индентированием и методом трехточечного изгиба балки с надрезом, предел прочности при изгибе, R_{изг}, и сжатии, R_{сж}. (Нумерация образцов такая же, как в табл. 2).

№ образца	H _V , ГПа, под нагрузкой		K _{1с} , МПа · м ^{0,5}		R _{изг} , МПа	R _{сж} , МПа
	P = 4,9 Н	P = 49 Н	P = 49 Н	3-х точечный изгиб		
1	–	22,6±0,8	4,9±0,3	3,67±1,2	336	378
2	21,4±4,9	24,1±0,5	4,2±0,5	–	285	–
3	30,6±4,5	22,3±1,3	2,7±0,6	–	–	–
4	–	15,1±1,9	5,6±1,3	–	–	–
5	15,9±0,7	–	–	–	–	–
6	–	23,6±2,8	5,9±1,4	–	310	423
7	–	17,8±2,2	4,0±0,5	–	–	–
8	–	12,5±1,2	5,3±1,5	–	–	–
9	–	28,9±1,9	5,2±1,5	4,27±0,8	633	639
10	–	19,4±0,4	7,0±0,5	–	–	–
11	–	13,6±0,5	3,6±0,7	–	–	–
12	25,6±3,2	19,4±0,5	6,3±0,7	–	–	–
13	–	–	–	4,72	392	1551
14*	–	24,6±0,5	–	3,4	408	–

*Горячепрессованный материал при 30 МПа из B₄C+C [19].

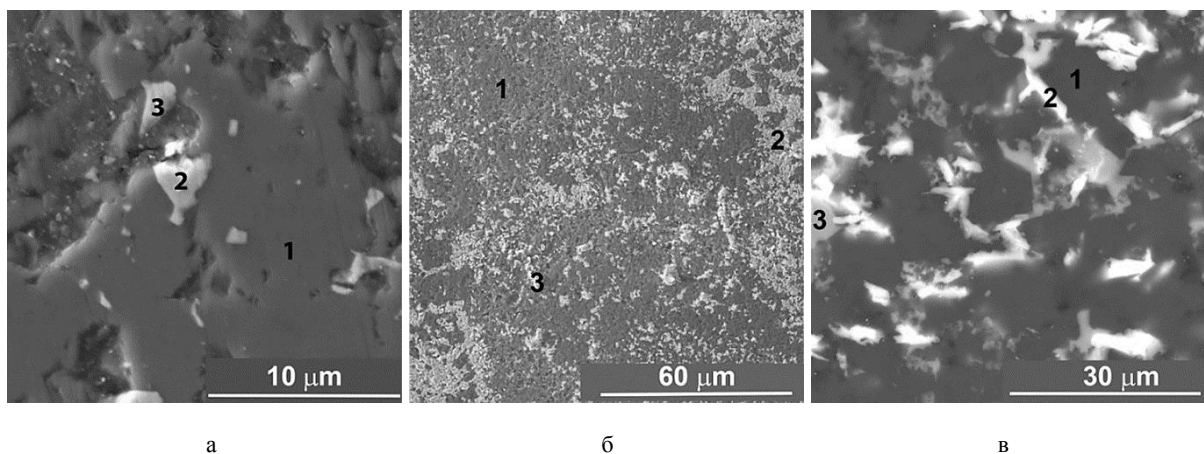


Рис. 1 – Структуры горячепрессованных (при 30 МПа) материалов из α -AlB₁₂ (№ 2 в табл. 2, COMPO) (а); из α -AlB₁₂ с 20 мас. % TiC (№ 9 в таблице 2, SEI); из α -AlB₁₂ с 12 мас. % TiC (№ 10 в табл. 2, COMPO). Приблизительный состав присутствующих фаз: а – 1- AlB₁₇-AlB₁₇O_{0,05} (серая матрица), 2, 3- Al₂O_{3,3}-Al₂O_{3,7}B₃ (белые включения); б – 1- Al_{0,17}B_{4,55}C₂O_{0,04}N_{0,21} (серая матрица); 2 - TiB_{2,58}C_{0,8}Al_{0,02} (светло-серые включения), 3 - Al₂O_{3,79}B_{2,04}C_{0,8} (белые включения); в – 1- AlB_{14,8}O_{0,14}Ti_{0,11} (темно-серая матрица) и AlB_{7,8}O_{1,5}C₆Ti_{0,3} (случайные черные включения), 2 - TiB_{3,2}C_{1,1}Al_{0,09-0,24}O_{0,33-0,5} – TiB₃₋₄Al_{0,08-0,17} (яркие белые включения), 3 - Al₂O_{3,6-4,6}B_{1,9-5,2}Ti_{0,06-0,32} (светло-серые включения)

Исследование влияния на α -AlB₁₂ добавок углерода (образцы 6–8) и карбида титана (образцы 9–12) в количестве 12–20 мас. % показало следующее. Спекание с помощью горячего прессования при давлении 30 МПа и температуре 1950 °С позволило нам достичь компромисса, с точки зрения высокой твердости и трещиностойкости, как для материалов с добавками углерода (образец 6), так и с добавками карбида титана (образцы 9, 10). Высокая твердость и трещиностойкость (образец 12) достигались и после кратковременного синтеза под высоким давлением при 1400 °С, 2 ГПа в случае добавок TiC.

Исследование с помощью SEM структур материалов показало, что они более сложные, чем это следует из рентгенофазового анализа. На рис. 1 сравниваются структуры горячепрессованного α -AlB₁₂ без (№ 2) и с 12 и 20 мас. % добавки TiC (№ 10 и 9, соответственно). Матрица материала, спеченного из порошка α -AlB₁₂, может содержать кислород, и ко-

личество бора выше стехиометрического α -AlB₁₂ (возможно, из-за испарения Al). Оксид алюминия сегрегирован в виде отдельных довольно больших включений (которые выглядят самыми яркими), и некоторые из них содержат довольно большое количество растворенного бора. Добавление 20 мас. % порошка TiC позволило повысить твердость и трещиностойкость материала после спекания, но сделало его более тяжелым.

Практически весь добавленный TiC трансформировался во включения со структурой TiB₂, а углерод растворился в α -AlB₁₂, образуя структуру AlB₁₂C₂. Но микронзондовый анализ (рис. 1б) показал, что в матричной фазе присутствует только небольшое количество Al и она содержит примеси азота и очень небольшое количество примеси кислорода: Al_{0,17}B_{4,55}C₂O_{0,04}N_{0,21}. В матрице присутствует белая фаза (включения) с приблизительной стехиометрией TiB₂, но она содержит также углерод

и небольшое количество алюминия: $\text{TiB}_{2,58}\text{C}_{0,8}\text{Al}_{0,02}$. Кроме того, наблюдались некоторые включения

(выглядят самыми яркими) со стехиометрией $\text{Al}_2\text{O}_{3,79}\text{B}_{2,04}\text{C}_{0,8}$.

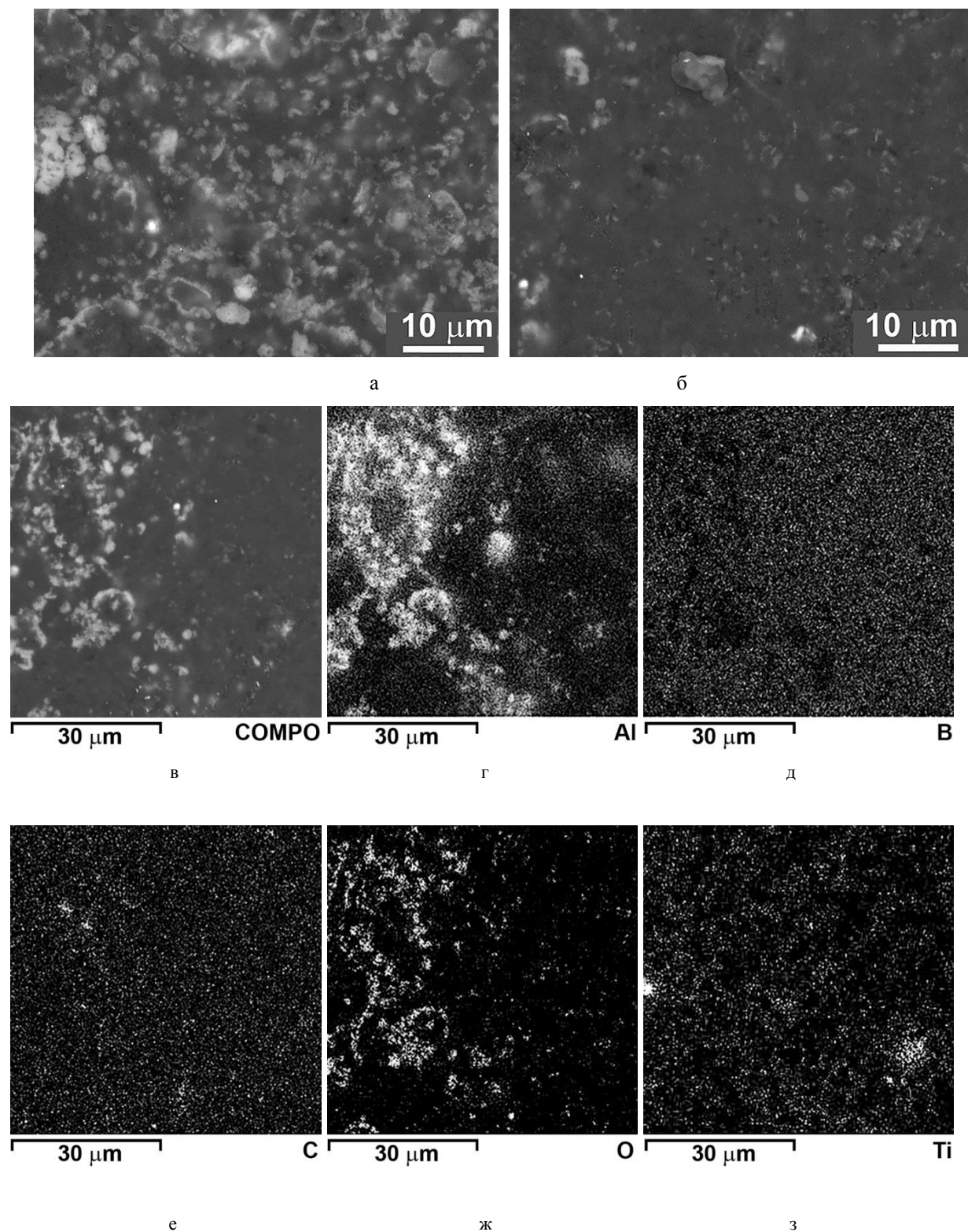


Рис. 2 – Структура материала: а, б – синтезированного из $\alpha\text{-AlB}_{12}$ + 20 мас. % TiC (№ 12 в табл. 2, COMPO). Приблизительный состав присутствующих фаз: темно-серая матричная фаза $\text{AlB}_{36}\text{O}_{0,8}\text{-AlB}_{30}\text{Ti}_{0,006}\text{-AlB}_{19}\text{Ti}_{0,002}\text{O}_{2,27}$, наиболее светлая фаза - $\text{AlB}_{7-15}\text{O}_{1,17-3,6}\text{Ti}_{0,002-0,003}\text{-AlB}_8\text{O}_3\text{C}_{2,7}\text{Ti}_{0,003}$; в–з – изображение структуры этого же материала (COMPO) и карты распределение элементов Al, B, C, O, Ti

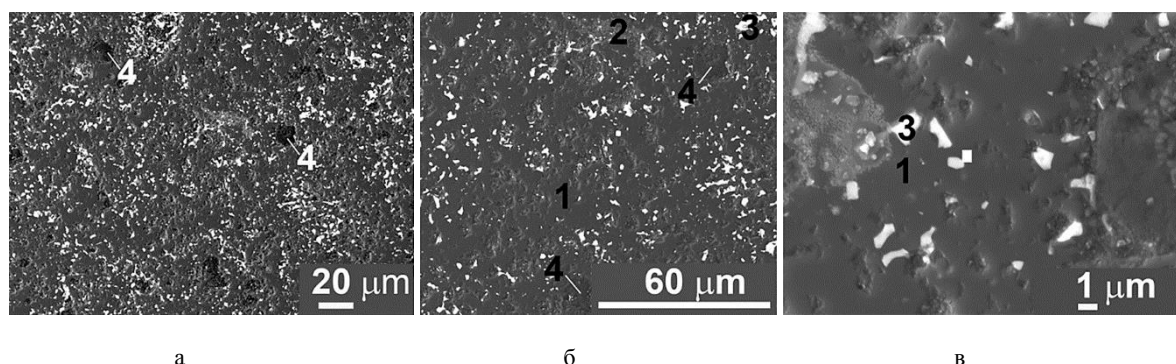


Рис. 3 – Структуры горячепрессованного (при 30 МПа, 1950 °C, 0,3 часа) образца из α -AlB₁₂ с 17 мас. % C (№ 6 в табл. 2, SEI): а, б, в – при различном увеличении. Приблизительный состав присутствующих фаз: 1 – AlB_{16,5} (темно-серая матрица), 2 – AlB₁₆O_{0,09-0,22} (светло-серая матрица), 3 – Al₂O_{3,5}B_{0,6-4,8} (ярко-белые включения), 4 – BNC_{0,3}O_{0,03-0,07} (самые темные включения)

Для того чтобы сделать материал легче, мы синтезировали композит с 12 мас. % TiC (№ 10) и получили структуру, показанную на рис. 1в. Несмотря на то, что твердость уменьшилась до 19,4 ГПа (при нагрузке 49 Н) (но все же была достаточно высокой), трещиностойкость материала существенно увеличилась до $7,0 \pm 0,5$ ГПа (при нагрузке 49 Н), а плотность уменьшилась до $\rho = 2,74$ г/см³. Состав матрицы, согласно микрозондового анализа, был AlB_{14,8}O_{0,14}Ti_{0,11}.

Применение более высокого давления (2 ГПа) при 1400 °C позволило синтезировать сравнительно легкий материал ($\rho = 2,46$ г/см³) из порошка α -AlB₁₂ с 20 мас. % TiC (№ 12) с механическими характеристиками, подобными № 10 (с высокой трещиностойкостью и довольно высокой твердостью). При такой низкой температуре TiB₂ не образуется и, похоже, титан и углерод растворяются в матрице AlB₁₂ (рис. 2). Примерный состав темно-серой матрицы – AlB₃₆O_{0,8} – AlB₃₀Ti_{0,006} или в некоторых местах AlB₁₉Ti_{0,002}O_{2,27}. Фаза с довольно высокой концентрацией бора (до AlB₃₆) была синтезирована при давлении 2 ГПа. Матричная фаза горячепрессованного при 30 МПа материала (№ 9) (рис. 2б) содержала меньшее количество бора (стехиометрия была около AlB₂₆).

На рис. 3 представлена структура образца № 6, полученного методом горячего прессования из α -AlB₁₂ с 17 мас. % C, который имел высокую твердость и трещиностойкость, а также низкую плотностью ($\rho = 2,7$ г/см³). Примерная стехиометрия основной фазы в некоторых местах была AlB_{16,5}, т.е. не содержала кислорода, а в некоторых местах кислород присутствовал – AlB₁₆O_{0,09-0,22}. Белые яркие включения содержали алюминий, кислород и бор (Al₂O_{3,5}B_{0,6-4,8}). При исследовании с помощью микрозондового анализа присутствие углерода в матричной фазе мы не наблюдали, за исключением отдельных больших областей (обозначенных цифрой 4 на рис. 3), возможно, из-за перекрытия спектров углерода и бора. Исследование с помощью рентгенофазового анализа этого материала показало присутствие 70 мас. % AlB₁₂C₂.

Выводы. Материалы на основе AlB₁₂ могут использоваться в качестве ударостойкой керамики, поскольку они являются легкими и могут сочетать вы-

сокую твердость и трещиностойкость (их плотность и механические характеристики сравнимы с материалами на основе карбида бора). При добавлении в шихту углерода и карбида титана, последние при спекании реагируют с AlB₁₂, образуя новые соединения и твердые растворы, что приводит к повышению трещиностойкости материалов. В случае добавления TiC в достаточно большом количестве (20 мас. %) и применения горячего прессования твердость материала увеличивалась (но, в то же время имело место и отрицательное явление – увеличение удельного веса); добавление меньшего количества TiC (12 мас. %) позволило нам получить высокую трещиностойкость без резкого снижения твердости и сохранить невысокий удельный вес материала. Добавление углерода (17 мас. %) приводило к некоторому уменьшению трещиностойкости, но к увеличению твердости и небольшому удельному весу. Однозначно определить какой, из разработанных материалов, является наиболее эффективным для защиты, можно будет только с помощью баллистической экспертизы.

Благодарность. Работа выполнена в рамках проекта программы безопасности НАТО: NATO Science for Peace SPS 985070 "New Shock-Resisting Ceramics: Computer Modelling, Fabrication, Testing".

Список литературы:

1. Кислый, П. С. Бориды алюминия [Текст] / П. С. Кислый, В. А. Геронов, Т. А. Прихна, Ю. В. Бевза. – К.: Наук. Думка, 1990. – 192 с.
2. Whittaker, M. L. Synthesis, characterization and energetic performance of metal boride compounds for insensitive energetic materials [Text] / M. L. Whittaker. – Utah Department of Materials Science and Engineering, University of Utah, 2012. – 183 p.
3. Kisly, P. S. Properties of high-temperature solution-grown aluminium borides [Text] / P. S. Kisly, T. A. Prikhna, L. S. Golubyak // Journal of the Less Common Metals. – 1986. – Vol. 117, Issue 1-2. – P. 349–353. doi: [10.1016/0022-5088\(86\)90059-7](https://doi.org/10.1016/0022-5088(86)90059-7)
4. Дуб, С. Н. Механические свойства кристаллов соединений системы Al-B-C [Текст] / С. Н. Дуб, Т. А. Прихна, О. Н. Ильницкая // Сверхтвердые материалы. – 1986. – № 6. – С. 12–18.
5. Krochuk, V. M. Peculiarities of morphology of AlC4B24 and Al3C2B48 crystals [Text] / V. M. Krochuk, T. A. Prikhna, V. S. Melnikov, P. S. Kisly // Doklady Akademii Nayk UkrSSR. Series "B", Geological, Chemical and Biological Sciences. – 1987. – P. 10–11.

6. Kisly, P. S. Structure and properties of monocrystals of the Al-B-C system [Text] / P. S. Kisly, T. A. Prikhna, A. Gr. Gontar, O. V. Podarevskaya // Proceedings of the 9th International Symposium on Boron, Borides and Related Compounds. – 1987. – P. 273–274.
7. Prikhna, T. A. IR-spectroscopy and EPR of single crystals of the Al-B-C system [Text] / T. A. Prikhna, T. A. Nachalnaya, V. G. Malogolovets // Superhard Materials. – 1988. – Issue 5. – P. 24–27.
8. Prikhna, T. A. Interactions of Al₃C₂B₄8 (β -AlB₁₂) with copper and copper-based compounds [Text] / T. A. Prikhna, V. V. Kovylyayev, S. N. Dub // Adhesion of Melts and Soldering of Materials. – 1988. – Issue 21.
9. Крочук, В. М. Морфология и двойники в α - и γ -AlB₁₂ [Текст] / В. М. Крочук, В. С. Мельников, Т. А. Прихна, П. С. Кислый // Сверхтвердые материалы. – 1989. – № 1. – С. 21–24.
10. Prikhna, T. A. Aluminium borides and carboborides [Text] / T. A. Prikhna, P. S. Kisly // AIP Conference Proceedings. – 1991. doi: [10.1063/1.40887](https://doi.org/10.1063/1.40887)
11. Choi, S. Synthesis of AlB₁₂ and YB₆₆ Nanoparticles by RF Thermal Plasmas [Text] / S. Choi, J. Matsuo, T. Watanabe // Journal of Physics: Conference Series. – 2013. – Vol. 441. – P. 012030. doi: [10.1088/1742-6596/441/1/012030](https://doi.org/10.1088/1742-6596/441/1/012030)
12. Torabi, O. Sintering Behavior of Al/B₄C-AlB₁₂-Al₂O₃ Nanostructure Composite Synthesized by In Situ Processing Method [Text] / O. Torabi, R. Ebrahimi-Kahrizsangi // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2012. – Vol. 22, Issue 5. – P. 1405–1411. doi: [10.1007/s11665-012-0404-z](https://doi.org/10.1007/s11665-012-0404-z)
13. Koroglu, A. In vacuo production of α -AlB₁₂, C₄AlB₂₄, AlB₁₂C₂ and Al₃B₄₈C₂ powders [Text] / A. Koroglu, D. P. Thompson // Journal of the European Ceramic Society. – 2012. – Vol. 32, Issue 12. – P. 3501–3507. doi: [10.1016/j.jeurceramsoc.2012.04.032](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.04.032)
14. Domnich, V. Boron Carbide: Structure, Properties, and Stability under Stress [Text] / V. Domnich, S. Reynaud, R. A. Haber, M. Chhowalla // Journal of the American Ceramic Society. – 2011. – Vol. 94, Issue 11. – P. 3605–3628. doi: [10.1111/j.1551-2916.2011.04865.x](https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2011.04865.x)
15. Барвицкий, П. П. Структура и свойства материалов на основе AlB₁₂C₂ [Текст] / П. П. Барвицкий, Т. А. Прихна, В. Б. Сverdun, В. Б. Моциль, С. Н. Дуб, М. В. Карпец и др. // Вестник НТУ «ХПИ». – 2016. – № 50. – С. 14–22.
16. Prikhna, T. A. Synthesis, sintering, structure and properties of AlB₁₂C₂ – based materials [Text] / T. A. Prikhna, R. A. Haber, P. P. Barvitskiy, V. B. Sverdun, S. N. Dub, V. B. Muratov et. al. // Proceedings 41st Int'l Conf & Expo on Advanced Ceramics & Composites (ICACC 2017). – 2017.
17. Івженко, В. В. Особенности формирования структуры и свойств материалов из порошковой системы B₄C – TiH₂ при реакционном спекании под давлением [Текст] / В. В. Івженко, О. Н. Кайдаш, Г. Ф. Сарнавская и др. // Сверхтвердые материалы. – 2011. – Т. 33, № 1. – С. 46–58.
18. McCusker, L. B. Rietveld refinement guidelines [Text] / L. B. McCusker, R. B. Von Dreele, D. E. Cox, D. Louer, P. Scardi // Journal of Applied Crystallography. – 1999. – Vol. 32, Issue 1. – P. 36–50. doi: [10.1107/s0021889898009856](https://doi.org/10.1107/s0021889898009856)
- materials. Utah Department of Materials Science and Engineering, University of Utah, 183.
3. Kisly, P. S., Prikhna, T. A., Golubyak, L. S. (1986). Properties of high-temperature solution-grown aluminium borides. Journal of the Less Common Metals, 117 (1-2), 349–353. doi: [10.1016/0022-5088\(86\)90059-7](https://doi.org/10.1016/0022-5088(86)90059-7)
4. Dub, S. N., Prikhna, T. A., Ilmizhkaya, O. N. (1986). Mechanical properties of crystals of compounds of the Al-B-C system. Superhard Materials, 6, 12–18.
5. Krochuk, V. M., Prikhna, T. A., Melnikov, V. S., Kisly, P. S. (1987). Peculiarities of morphology of AlC₄B₂₄ and Al₃C₂B₄₈ crystals. Doklady Akademii Nayk UkrSSR. Series “B”, Geological, Chemical and Biological Sciences, 10–11.
6. Kisly, P. S., Prikhna, T. A., Gontar, A. Gr., Podarevskaya, O. V. (1987). Structure and properties of monocrystals of the Al-B-C system. Proceedings of the 9th International Symposium on Boron, Borides and Related Compounds, 273–274.
7. Prikhna, T. A., Nachalnaya, T. A., Malogolovets, V. G. (1988). IR-spectroscopy and EPR of single crystals of the Al-B-C system. Superhard Materials, 5, 24–27.
8. Prikhna, T. A., Kovylyayev, V. V., Dub, S. N. (1988). Interactions of Al₃C₂B₄₈ (β -AlB₁₂) with copper and copper-based compounds. Adhesion of Melts and Soldering of Materials, 21.
9. Krochuk, V. M., Melnikov, V. S., Prikhna, T. A., Kisly, P. S. (1989). Morphology and twins in α - and γ -AlB₁₂. Sov. J. Superhard Materials, 1, 21–24.
10. Prikhna, T. A., Kisly, P. S. (1991). Aluminium borides and carboborides. AIP Conference Proceedings. doi: [10.1063/1.40887](https://doi.org/10.1063/1.40887)
11. Choi, S., Matsuo, J., Watanabe, T. (2013). Synthesis of AlB₁₂ and YB₆₆ Nanoparticles by RF Thermal Plasmas. Journal of Physics: Conference Series, 441, 012030. doi: [10.1088/1742-6596/441/1/012030](https://doi.org/10.1088/1742-6596/441/1/012030)
12. Torabi, O., Ebrahimi-Kahrizsangi, R. (2012). Sintering Behavior of Al/B₄C-AlB₁₂-Al₂O₃ Nanostructure Composite Synthesized by In Situ Processing Method. Journal of Materials Engineering and Performance, 22 (5), 1405–1411. doi: [10.1007/s11665-012-0404-z](https://doi.org/10.1007/s11665-012-0404-z)
13. Koroglu, A., Thompson, D. P. (2012). In vacuo production of α -AlB₁₂, C₄AlB₂₄, AlB₁₂C₂ and Al₃B₄₈C₂ powders. Journal of the European Ceramic Society, 32 (12), 3501–3507. doi: [10.1016/j.jeurceramsoc.2012.04.032](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.04.032)
14. Domnich, V., Reynaud, S., Haber, R. A., Chhowalla, M. (2011). Boron Carbide: Structure, Properties, and Stability under Stress. Journal of the American Ceramic Society, 94 (11), 3605–3628. doi: [10.1111/j.1551-2916.2011.04865.x](https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2011.04865.x)
15. Barvitskiy, P. P., Prikhna, T. A., Sverdun, V. B., Moshchil, V. E., Dub, S. N., Karpets, M. V. et. al. (2016). Synthesis, sintering, structure and properties of AlB₁₂C₂–based materials. Bulletin of STU “ChPI”, 50, 14–22.
16. Prikhna, T. A., Haber, R. A., Barvitskiy, P. P., Sverdun, V. B., Dub, S. N., Muratov, V. B. et. al. (2017). Synthesis, sintering, structure and properties of AlB₁₂C₂ – based materials. Proceedings 41st Int'l Conf & Expo on Advanced Ceramics & Composites (ICACC 2017).
17. Ivzhenko, V. V., Kaydash, O. N., Sarnavskaya, G. F. et. al. (2011). Peculiarities of structure formation and materials properties from powder system B₄C – TiH₂ during reaction sintering under pressure. Superhard Materials, 33 (1), 46–58.
18. McCusker, L. B., Von Dreele, R. B., Cox, D. E., Louer, D., Scardi, P. (1999). Rietveld refinement guidelines. Journal of Applied Crystallography, 32 (1), 36–50. doi: [10.1107/s0021889898009856](https://doi.org/10.1107/s0021889898009856)

Bibliography (transliterated):

1. Kisly, P. S., Neronov, V. A., Prikhna, T. A., Bevza, Yu. B. (1990). Aluminum borides. Kyiv: Naukova Dumka, 192.
2. Whittaker, M. L. (2012). Synthesis, characterization and energetic performance of metal boride compounds for insensitive energetic

Поступила (received) 29.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Синтез, спікання, структура і властивості матеріалів на основі AlB₁₂/ Прихна Т. О., Барвицький П. П., Дуб С. М., Сverdun В. Б., Карпец М. В., Моциль В. Є., Муратов В. Б., Васильєв О. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.3–11. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Синтез, спекание, структура и свойства материалов на основе AlB₁₂/ Прихна Т. А., Барвицкий П. П., Дуб С. Н., Сverdun В. Б., Карпец М. В., Моциль В. Е., Муратов В. Б., Васильев О. О. // Вісник НТУ «ХПІ».

Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.3–11. –
Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Synthesis, sintering, structure and properties of AlB₁₂-based materials/ Prikhna T., Barvitskyi P., Dub S., Sverdun, V. Karpets M., Moshchil V., Muratov V., Vasiliev O. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241).– P.3–11. – Bibliogr.:18. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прихна Тетяна Олексіївна – доктор технічних наук, чл.-кор НАНУ, професор, зав. Відділу технологій високих тисків, функціональних керамічних композитів і дисперсних надтвердих матеріалів, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАНУ, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074; e-mail: prikhna@mail.ru.

Барвіцький Павло Петрович – аспірант, Відділ технологій високих тисків, функціональних керамічних композитів і дисперсних надтвердих матеріалів, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАНУ, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074; e-mail: barvitskp@gmail.com.

Дуб Сергій Миколайович – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, Відділ технологій високих тисків, функціональних керамічних композитів і дисперсних надтвердих матеріалів, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАНУ, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074; e-mail: iz@ism.kiev.ua.

Свердун Володимир Богданович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Відділ технологій високих тисків, функціональних керамічних композитів і дисперсних надтвердих матеріалів, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАНУ, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074; e-mail: sverdun@mail.ru.

Крпєць Мирослав Васильович – доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник, Відділ структурної хімії твердого тіла, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАНУ, вул. Кржижановського, 3, м. Київ, Україна, 03680; e-mail: [mkarpets@ukr.net](mailto:mkarpet@ukr.net).

Моциль Віктор Євгенович – науковий співробітник, Відділ технологій високих тисків, функціональних керамічних композитів і дисперсних надтвердих матеріалів, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАНУ, вул. Автозаводська, 2, м. Київ, Україна, 04074, e-mail: sverdun@mail.ru.

Муратов Валерій Борисович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Відділ тонкого неорганічного синтезу, термодинаміки і кінетики гетерофазних процесів, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАНУ, вул. Кржижановського, 3, м. Київ, Україна, 03680; e-mail: v.b.muratov@gmail.com.

Васильєв Олександр Олексійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Відділ тонкого неорганічного синтезу, термодинаміки і кінетики гетерофазних процесів, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАНУ, вул. Кржижановського, 3, м. Київ, Україна, 03680; e-mail: vasalexandr@gmail.com.

Прихна Тетяна Алексеевна – доктор технических наук, чл.-кор НАНУ, профессор, зав. Отдела технологий высоких давлений, функциональных керамических композитов и дисперсных сверхтвердых материалов, Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАНУ, ул. Автозаводская, 2, г. Киев, Украина, 04074; e-mail: prikhna@mail.ru.

Барвицкий Павел Петрович – аспирант, Отдел технологий высоких давлений, функциональных керамических композитов и дисперсных сверхтвердых материалов, Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАНУ, ул. Автозаводская, 2, г. Киев, Украина, 04074; e-mail: barvitskp@gmail.com.

Дуб Сергей Николаевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Отдел технологий высоких давлений, функциональных керамических композитов и дисперсных сверхтвердых материалов, Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАНУ, ул. Автозаводская, 2, г. Киев, Украина, 04074; e-mail: iz@ism.kiev.ua.

Свердун Владимир Богданович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Отдел технологий высоких давлений, функциональных керамических композитов и дисперсных сверхтвердых материалов, Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАНУ, ул. Автозаводская, 2, г. Киев, Украина, 04074; e-mail: sverdun@mail.ru.

Крпєць Мирослав Васильевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Отдел структурной химии твердого тела, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАНУ, ул. Кржижановского, 3, г. Киев, Украина, 03680; e-mail: [mkarpets@ukr.net](mailto:mkarpet@ukr.net).

Моциль Виктор Евгеньевич – научный сотрудник, Отдел технологий высоких давлений, функциональных керамических композитов и дисперсных сверхтвердых материалов, Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАНУ, ул. Автозаводская, 2, г. Киев, Украина, 04074; e-mail: vik_ism@ukr.net.

Муратов Валерий Борисович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Отдел тонкого неорганического синтеза, термодинамики и кинетики гетерофазных процессов, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАНУ, ул. Кржижановского, 3, г. Киев, Украина, 03680; e-mail: v.b.muratov@gmail.com.

Васильев Александр Алексеевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Отдел тонкого неорганического синтеза, термодинамики и кинетики гетерофазных процессов, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАНУ, ул. Кржижановского, 3, г. Киев, Украина, 03680; e-mail: vasalexandr@gmail.com.

Prikhna Tatyana – doctor of technical sciences, corresponding member of NASU, professor, head of Department of Promising technologies of superhigh pressures, dispersed materials and sintering of ceramics, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU, str. Avtozavodskaya, 2, Kyiv, Ukraine, 04074; e-mail: prikhna@mail.ru.

Barvitskyi Pavlo – PhD-student, Department of Promising technologies of superhigh pressures, dispersed materials and sintering of ceramics, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU, str. Avtozavodskaya, 2, Kyiv, Ukraine, 04074; e-mail: barvitskp@gmail.com.

Dub Sergiy – doctor of technical sciences, leading researcher, Department of physical-mechanical research and materials nano-testing, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU, str. Avtozavodskaya, 2, Kyiv, Ukraine, 04074; iz@ism.kiev.ua.

Sverdun Vladimir – PhD, senior researcher, Department of Promising technologies of superhigh pressures, dispersed materials and sintering of ceramics, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU, str. Avtozavodskaya, 2, Kyiv, Ukraine, 04074, e-mail: sverdun@mail.ru.

Karpets Miroslav – doctor of physical and mathematical sciences, leading researcher, Department of structural chemistry of solid state, Institute for Problems in Material Science of NASU, Ukraine, str. Krzhizhanovsky, 3, Kyiv, Ukraine, 03680; e-mail: mkarpets@ukr.net.

Moshchil Victor – researcher, Department of Promising technologies of superhigh pressures, dispersed materials and sintering of ceramics, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU, str. Avtozavodskaya, 2, Kyiv, Ukraine, 04074; e-mail: yik_ism@ukr.net.

Muratov Valeriy – PhD, senior researcher, Department of fine inorganic synthesis, thermodynamics and kinetics of heterophase processes, Institute for Problems in Material Science of NASU, str. Krzhizhanovsky, 3, Kyiv, Ukraine, 03680; y.b.muratov@gmail.com.

Vasiliev Olexandr – PhD, senior researcher, Department of fine inorganic synthesis, thermodynamics and kinetics of heterophase processes, Institute for Problems in Material Science of NASU, Ukraine, str. Krzhizhanovsky, 3, Kyiv, Ukraine, 03680; vasalexandr@gmail.com.

УДК 544.723:546.732,766: 547-304.2

Н. В. ЖДАНЮК, О. І. БИКОВ

ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНОФЛІЗОВАНОГО ПАЛИГОРСКИТУ ТА ЙОГО СПОРІДНЕНІСТЬ ДО ХРОМАТИВ

Органоглину синтезували шляхом адсорбції катіонної поверхнево-активної речовини гексадецилтриметиламмоній броміду (ГДТМА) на палигорськіт. У роботі досліджена структура На-палигорськіта, надано дані РФА. Доведено, що Установлено, що катіони ГДТМА включені в структуру палигорськіта за допомогою сил Ван-дер-Ваальса. Вивчено кінетику процесів адсорбції Cr (VI) з водного розчину на синтезованих композитах. Органопалигорськіт оцінюється як ефективний сорбент для вилучення хроматів із швидкою кінетикою (рівновага встановилася протягом 60 хв) і високою максимальною адсорбцією (14,2 мг/г).

Ключові слова: палигорськіт, органоглина, адсорбція, хром (VI), ГДТМА, РФА, ПАВ.

Органоглину синтезировали путем адсорбции катионной поверхностно-активного вещества гексадецилтриметиламмоний бромид (ГДТМА) на палигорскит. В работе исследована структура На-палигорскита и органоглин, предоставлено данные РФА. Изучена кинетика процессов адсорбции Cr (VI) из водного раствора на синтезированных композитах. Установлено, что катионы ГДТМА включены в структуру палигорскита с помощью сил Ван-дер-Ваальса. Органопалигорскит оценивается как эффективный сорбент для извлечения хроматов с быстрой кинетикой (равновесие установилось в течение 60 мин) и высокой максимальной адсорбции (14,2 мг/г).

Ключевые слова: палигорскит, органоглина, адсорбция, хром (VI), ГДТМА, РФА, ПАВ.

It is established that a change in the surface of palygorskite by cationic surfactants makes it possible to change the sorption properties of the mineral.

The structure of Na-palygorskite and organoclay has been studied, the X-ray diffraction data are provided.

Taking into account the change in the structure of Na-palygorskite and the synthesized organopalygorskites, it can be concluded that the main mechanism of adsorption of HDTMA is an electrostatic interaction with the negatively charged surface of palygorskite. It has been established that the HDTMA cations are incorporated into the structure of palygorskite by means of van der Waals forces.

When a palygorskite HDTMA is added to the suspension in an amount exceeding the CEC of the mineral on the outer surface of the clay minerals, the surfactant forms a bichard coating, which leads to a surface recharge.

The kinetics of Cr (VI) adsorption from an aqueous solution on synthesized composites, as well as the sorption properties of composites with respect to chromates, has been studied.

Organopalygorskite is estimated as an effective sorbent for extraction of chromates with fast kinetics (equilibrium was established within 60 min) and high maximum adsorption (14.2 mg/g).

This makes it expedient to use organopalygorskite as a sorbent for protecting aquatic environments.

Keywords: palygorskite, organoclay, adsorption; chromates; HDTMA, XRD, surfactants.

© Н. В. Жданюк, О. І. Биков. 2017

Вступ. В природних екосистемах хром може знаходитися в декількох ступенях окислення, найбільш небезпечним є Cr(VI) [1], який має чітко виражений канцерогенний ефект. В залежності від концентрації Cr(VI) та pH водного середовища він може існувати в різних стабільних аніонних формах (CrO_4^{2-} , HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

Глинисті мінерали широко застосовують в природоохоронній практиці в якості дешевих сорбентів для вилучення катіонних форм неорганічних токсикантів з водних розчинів. Проте, вони практично не видаляють аніонні форми забруднень. Для підвищення сорбційних властивостей природних силікатів використовують кислотну активацію, гідротермальну обробку, модифікування поверхнево-активними речовинами (ПАР). Зміна поверхні силікатів за допомогою катіонних ПАР дає можливість отримати ефективні та економічні композити для вилучення небезпечних аніонів, таких як Cr(VI), U(VI), As(V) та ін. [2].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Під час модифікування поверхні природних силікатів катіонною ПАР відбувається не тільки первинне заповнення моношару на активних центрах мінералу, але й формування бішарового або мозаїчного покриття. [3]. При цьому амонійні групи катіонного ПАР електростатично притягуються до негативно зарядженої поверхні глинистого мінералу, а алкільні ланцюги орієнтуються від поверхні [4]. Формування таких структур можливе за рахунок взаємодії між вуглеводневими радикалами молекул ПАР [3]. В результаті такої модифікації отримуємо позитивно заряджену поверхню, яка має високу спорідненість до іонних забруднень.

Дослідження літературних джерел показало, що вивчення сорбції катіонних ПАР на глинистих мінералах було зосереджене на шаруватих силікатах [5]. На їх основі були синтезовані органоглини з високою спорідненістю до аніонів, які успішно використовувалися в якості сорбентів для вилучення аніонів важких металів та радіонуклідів.

У роботі [1] описано синтез органоцеоліту, для модифікації якого використано гексадецилтриметиламоній бромід (ГДТМА). Синтезовані матеріали мали спорідненість до аніонів хрому. На-шабазіт модифікований ГДТМА [6] також проявив себе як економічний сорбент для усунення хроматів.

У статті [7] підтверджено здатність палигорськіту, модифікованого ГДТМА сорбувати катіонні ПАР та утворювати композити, які здатні вилучати аніонні форми неорганічних сполук. А також авторами винесене припущення, що механізм адсорбції ГДТМА на палигорськіті має більш складний характер та можливе утворення складних адміцел, які будуть брати участь у адсорбційних процесах.

Проте, в оглянутих публікаціях до цього часу не було систематизовано та комплексно вивчено структуру поверхні органопалигорськітів, а також не досліджено залежність від неї адсорбції аніонів важких металів з водних розчинів, зокрема Cr (VI). Тому вивчення особливостей цих процесів є актуальним, що й складає предмет даної роботи.

Ціль та задачі дослідження. Метою даного дослідження є вивчення структурних особливостей органопалигорськітів різного ступеня модифікування та їх сорбційних властивостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

- дослідження структури органопалигорськітів;
- вивчення особливостей адсорбції Cr (VI) синтезованими композитами.

Матеріали та методи дослідження структури та сорбційних властивостей органопалигорськітів. Об'єктом дослідження є природний силікат з шарувато - стрічковою структурою – палигорськіт з Черкаського родовища (Україна), з катіонно обмінною ємністю (КОЕ) 0,25 ммоль/г. [8]. Мінерал за своєю структурою займає проміжний тип між стрічковими та шаруватими силікатами. Характеризується наявністю цеолітних каналів та розвинутою вторинною пористою структурою.

Предметом дослідження є структура природного палигорськіту та синтезованих композитів та очищення ними водних розчинів хроматів.

Для модифікування поверхні палигорськіту була взята сіль чотирьохзаміщеного амонію гексадецилтриметиламоній бромід (ГДТМА) – $(\text{C}_{16}\text{H}_{33})\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$, (Merck). Природний палигорськіт попередньо переводили у Na-форму. Мінерал тричі обробляли 1М розчином NaCl у співвідношенні твердої та рідкої фаз Т:Р = 1:20. Витримка суспензії при кожній обробці складала декілька діб. Після цього проводили багаторазове відмивання зразка дистильованою водою до негативної реакції на Cl^- у промивній воді (контролювали якісно по AgNO_3). Зразок позначили як Na – ПГ.

Суспензію Na-ПГ обробляли на ультразвуковому диспергаторі УЗДН-2Т за методикою описаною у роботі [9]. Отриману дисперсію змішували з розчином ГДТМА, при, витримували при температурі 60 °C на протязі 2 год при постійному перемішуванні. Після чого проводили відмивання дистильованою водою до негативної реакції на Br^- .

Для сорбційних експериментів були обрані зразки, що були модифіковані при співвідношенні КОЕ/ПАР рівними 1:1 та 1:2 та названі ОПГ-1 та ОПГ-2 відповідно. Модифікований мінерал висушували при температурі 105 °C, подрібнювали, просіювали та використовували для подальших експериментів фракцію 0,1-0,2 мм.

Рентгенівський аналіз було проведено за допомогою дифрактометру ДРОН-3М (Російська Федерація), з системою комп'ютерного сканування та запису дифракційної картини. Було використане фільтроване Cu-K α випромінювання.

В сорбційних експериментах використовували розчин дихромату калію $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ та наважки синтезованих композитів. Сорбцію проводили в статичних умовах при безперервному струшуванні зразків протягом 1 год (об'єм водної фази 50 мл, наважка мінералу 0,1 г, концентрація Cr (VI) в сорбційних експериментах становила 1-200 мг/л) за методикою [10]. Іонну силу (0,01М) розчинів встановлювали з допомогою NaCl. Після встановлення адсорбційної рівноваги водну

фазу відділяли центрифугуванням (5000 об/хв) та визначали в ній рівноважну концентрацію металу спектрофотометричним методом (UNICO 2100UV) з використанням реагенту дифенілкарбазиду при довжині хвилі 540 нм для хрому. Сорбцію іонів хрому вивчали при $\text{pH}=7$ та концентрації хрому 10 мг/дм^3 . При такому нейтральному значенні pH домінуючою формою Cr(VI) у водних розчинах є CrO_4^{2-} , при наявності в значно менших кількостях іонів HCrO_4^- і іонів $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ у слідових концентраціях.

Для визначення оптимальних умов проведення сорбційних експериментів була вивчена кінетика процесів сорбції Cr(VI) Na -палігорськітом та органо-палігорськітами ($I = 0,01$, $C_{\text{Cr(VI)}} = 10 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 7,0$).

Результати дослідження структури та сорбційних властивостей органо-палігорськітів. Дифракційна картина палігорськіту представлена на рис. 1.

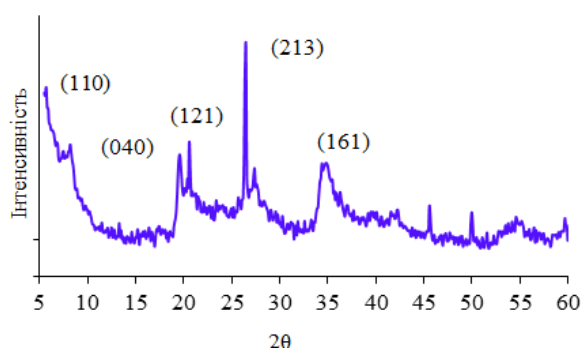


Рис. 1 – Фрагмент дифракційної картини Na -ПГ з позначенням основних піків

Рентгенографічні дані для очищеного зразка Na -ПГ свідчать про його практичну мономінеральність. Періоди кристалічної ґратки (файл 82-1817) є: $a = 12,76 \text{ Å}$; $b = 17,84 \text{ Å}$ та $c = 5,24 \text{ Å}$. Розраховані періоди зразка палігорськіту дорівнюють: $a = 12,904$; $b = 18,341$ та $c = 5,1902$. Міжплощинна відстань $d(hkl)$ для площини (110) дорівнює $10,7 \text{ Å}$.

Після обробки Na -ПГ спостерігали зміни в його кристалічній структурі. Відбувається зсув піків у бік великих кутів 2θ (Рис. 2), що свідчить про зменшення міжплощинних відстаней $d(hkl)$ кристалічної ґратки. Значно збільшується інтенсивність лінії (110) і ця зміна відповідає стандартній дифракційній картині, тому що цей пік є найбільш інтенсивним. Інші відбиття також змінюють свою відносну інтенсивність $I(hkl)/I(110)$. Значно зменшується інтенсивність піків (121) та (231).

Розрахунок параметрів кристалічної ґратки ОПГ-1 дозволив отримати такі дані: $a = 12,391 \text{ Å}$; $b = 17,8524 \text{ Å}$ і $c = 5,2165 \text{ Å}$.

Порівняння дифрактограм ОПГ-1 та ОПГ-2 (рис. 2) дозволяє зробити висновок, що відбиття з однаковими індексами відносно не змінені, але їх інтенсивність відрізняється. У ОПГ-2 інтенсивність більшості піків вища.

Це свідчить про рівність періодів кристалічної ґратки і, можливо, більшу її досконалість.

Ефективність очищення вод від забруднення катіонами металів з використанням Na -ПГ та органо-палігорськітів була вивчена нами на прикладі іонів Cr(VI) .

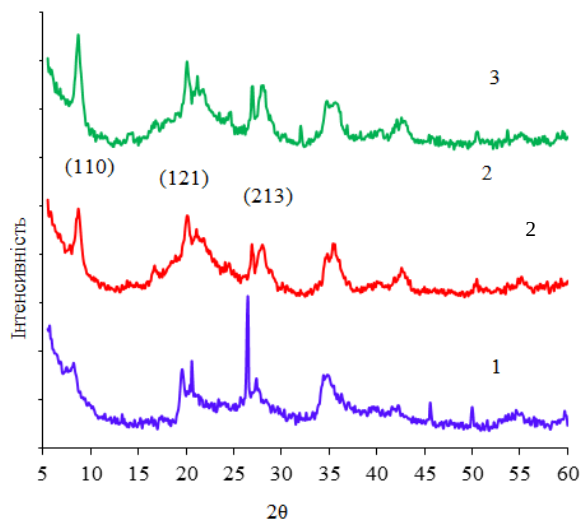


Рис. 2 – Дифрактограми зразків Na -ПГ (1) та модифікованих палігорськітів ОПГ-1 (2) та ОПГ-2 (3)

Для визначення оптимальних умов проведення сорбційних експериментів була досліджена кінетика процесів сорбції Cr(VI) Na -палігорськітом та органо-палігорськітами ($I = 0,01$, $C_{\text{Cr(VI)}} = 10 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 7,0$). Отримані залежності представлено на рис. 3.

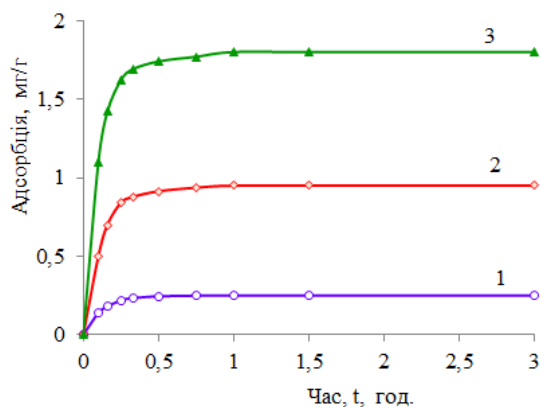


Рис. 3 – Кінетика сорбції Cr(VI) : Na – ПГ (1); ОПГ-1 (2); ОПГ-2 (3)

На рис. 4 представлені ізотерми сорбції іонів Cr(VI) композиційними матеріалами. Для порівняння показано залежності величин адсорбції іонів

Cr(VI) (a , мг/г) палігорськітом та органо-палігорськітами від рівноважної концентрації металу в розчині (C_p , мг/дм^3). Як видно з рисунку сорбція на природних зразках аніонних форм Cr(VI) , навіть при значних їх концентраціях в розчині, є незначною. В той же час, для модифікованих зразків спостерігається суттєве підвищення величин сорбції, що досягає $3,5 \text{ мг/г}$ та $14,2 \text{ мг/г}$.

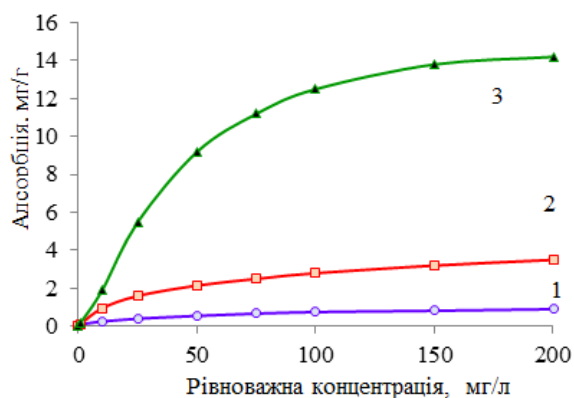


Рис. 4 – Ізотерми сорбції Cr (VI) сорбентами при pH=7: Na – ПГ (1); ОПГ-1 (2); ОПГ-2 (3)

Обговорення результатів дослідження структури та сорбційних властивостей органо-палігорськітів. Автоматичний розрахунок співпадіння картини із стандартною дифрактограмою за допомогою програми «Match» визначив відповідність файлу 82-1873 (PDF base) з коефіцієнтом FoM 0,8823. Коефіцієнт FoM характеризує якість співпадіння експериментальної дифрактограми з урахуванням відповідності положень піків і їх інтенсивності. Зазначений файл відповідає палігорскіту з орторомбічною кристалічною ґраткою і хімічною формулою $(\text{Mg}_{2.074}\text{Al}_{1.026})(\text{Si}_4\text{O}_{10.48})_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{10.68}$. Na-ПГ, що використовується у роботі має, порівняно з вказаним стандартним, збільшені міжплоскіні відстані і, відповідно, періоди кристалічної ґратки.

Слід зазначити, що дифракційна картина має високі значення фону, що може свідчити про наявність кристалічно неупорядкованої речовини. Другою особливістю використаного палігорскіту з точки зору кристалічної структури є можливість наявності інших структурних форм, серед яких можна назвати палігорскіт з моноклінною кристалічною ґраткою – файл 82-1872 (коефіцієнт FoM 0,8804), хімічна формула речовини $(\text{Mg}_{0.669}\text{Al}_{0.331})_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_8$.

Отримані дані дослідження кінетики сорбції Cr (VI) (рис. 4) вказують на достатньо високу швидкість протікання сорбційних процесів в системі «органопалігорскіт – Cr (VI)». Так, вже за 10–15 хвилин видалається більше 90 % іонів Cr (VI), а 1 години цілком достатньо для досягнення сорбційної рівноваги. Ця тривалість сорбційних експериментів і була використана в подальших дослідженнях.

Для сорбційних експериментів були обрані зразки, що були модифіковані ПАР при співвідношенні КОЕ/ПАР = 1:1 та 1:2. Як видно з отриманих результатів, при таких кількостях ГДТМА у вихідному розчині відбувається не тільки первинне заповнення моношару при адсорбції катіонного ПАР на активних центрах палігорскіту, а і формування наступного шару, за рахунок гідрофобних взаємодій, з утворенням на поверхні асоціатів ПАР – подвійного шару ПАР [11]. Цей процес супроводжується зміною заряду поверхні з негатив-

ного на позитивний, що і обумовлює максимальну сорбцію аніонів CrO_4^{2-} [12].

Враховуючи, що отримані результати адсорбції Cr (VI) на ОПГ-2 дали підвищені значення, можна стверджувати, що при внесенні у суспензію ПАР понад КОЕ на відкритих іонообмінних центрах мінералу можливе утворення складних адміцел (рис. 5), які беруть участь у сорбції аніонів.

А також можлива сорбція Cr (VI) ГДТМА, які не пов'язані з поверхнею мінералу.

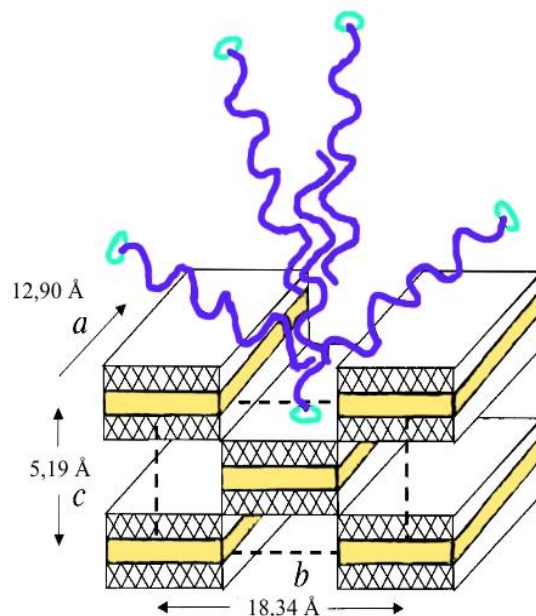


Рис. 5. Схема можливого розміщення адміцели ПАР на палігорскіті [7].

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що модифікування поверхні шаруватострічкових силікатів катіонними ПАР, дає можливість змінювати сорбційні характеристики матеріалу. При введенні у систему ГДТМА у кількості, що перевищує КОЕ мінералу на зовнішній поверхні глинистих мінералів ПАР утворює бiшарове покриття, що призводить до перезарядки поверхні. Враховуючи зміну структури Na-палігорскіту і синтезованих органо-палігорскітів, можна зробити висновок, що основний механізм адсорбції ГДТМА – це електростатична взаємодія з негативнозарядженою поверхнею палігорскіту.

Синтезовані композити здатні забезпечити ефективне видалення з водних розчинів неорганічних токсикантів в аніонних формах, у тому числі і хроматів. Це робить доцільним використання органо-палігорскіту у якості сорбенту для охорони водних середовищ.

Список літератури:

1. Swarnakar, V. Sorption of Cr (VI) & As (V) on HDTMA – Modified Zeolites [Text] / V. Swarnakar, N. Agrawal, R. Tomar // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2011. – Vol. 2, Issue 5. – P. 1–9.
2. Bergaya, F. Handbook of clay science. Vol. 1 [Text] / F. Bergaya, B. K. G. Theng, G. Lagaly. – Amsterdam: Elsevier, 2006. – 1224 p.

3. Xu, S. Cationic Surfactant Sorption to a Vermiculitic Subsoil via Hydrophobic Bonding [Text] / S. Xu, S. A. Boyd // Environmental Science & Technology. – 1995. – Vol. 29, Issue 2. – P. 312–320. doi: [10.1021/es00002a006](https://doi.org/10.1021/es00002a006)
 4. Mittal, V. Physical adsorption of organic molecules on the surface of layered silicate clay platelets: A thermogravimetric study [Text] / V. Mittal, V. Herle // Journal of Colloid and Interface Science. – 2008. – Vol. 327, Issue 2. – P. 295–301. doi: [10.1016/j.jcis.2008.08.036](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.08.036)
 5. Anderson, M. A. Properties of Water in Calcium- and Hexadecyltrimethylammonium-Exchanged Bentonite [Text] / M. A. Anderson // Clays and Clay Minerals. – 1999. – Vol. 47, Issue 1. – P. 28–35. doi: [10.1346/ccmn.1999.0470103](https://doi.org/10.1346/ccmn.1999.0470103)
 6. Majdan, M. Characteristics of chabazite modified by hexadecyltrimethylammonium bromide and of its affinity toward chromates [Text] / M. Majdan, S. Pikus, Z. Rączynska, M. Iwan, O. Maryuk, R. Kwiatkowski, Henryk Skrzypek // Journal of Molecular Structure. – 2006. – Vol. 791, Issue 1-3. – P. 53–60. doi: [10.1016/j.molstruc.2005.12.043](https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2005.12.043)
 7. Li, Z. Removal of Anionic Contaminants using Surfactant-modified Palygorskite and Sepiolite [Text] / Z. Li, C. A. Willms, K. Kniola // Clays and Clay Minerals. – 2003. – Vol. 51, Issue 4. – P. 445–451. doi: [10.1346/ccmn.2003.0510411](https://doi.org/10.1346/ccmn.2003.0510411)
 8. Тарасевич, Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды [Текст] / Ю. И. Тарасевич. – Киев: Наукова Думка, 1981. – 208 с.
 9. Zhdanyuk, N. Obtaining stabilized nanodispersed iron based on organophilized montmorillonite [Text] / N. Zhdanyuk, I. Kovalchuk, B. Kornilovych // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5, Issue 6 (83). – P. 23–28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.79452](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79452)
 10. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод [Текст] / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1989. – 448 с.
 11. Xu, S. Cationic Surfactant Adsorption by Swelling and Nonswelling Layer Silicates [Text] / S. Xu, S. A. Boyd // Langmuir. – 1995. – Vol. 11, Issue 7. – P. 2508–2514. doi: [10.1021/la00007a033](https://doi.org/10.1021/la00007a033)
 12. Голембіовський, А. О. Зміна структури поверхні монтморилоніту при адсорбції катіонних поверхнево активних речовин [Текст] / А. О. Голембіовський, А. М. Брезицька, Л. М. Спасьонова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 4, № 6 (70). – С. 53–57. doi: [10.15587/1729-4061.2014.26043](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26043)
1. Swarnakar, V., Agrawal, N., Tomar, R. (2011). Sorption of Cr (VI) & As (V) on HDTMA –Modified Zeolites. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2 (5), 1–9.
 2. Bergaya, F., Theng, B. K. G., Lagaly, G. (2006). Handbook of clay science. Vol. 1. Amsterdam: Elsevier, 1224.
 3. Xu, S., Boyd, S. A. (1995). Cationic Surfactant Sorption to a Vermiculitic Subsoil via Hydrophobic Bonding. Environmental Science & Technology, 29 (2), 312–320. doi: [10.1021/es00002a006](https://doi.org/10.1021/es00002a006)
 4. Mittal, V., Herle, V. (2008). Physical adsorption of organic molecules on the surface of layered silicate clay platelets: A thermogravimetric study. Journal of Colloid and Interface Science, 327 (2), 295–301. doi: [10.1016/j.jcis.2008.08.036](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.08.036)
 5. Anderson, M. A. (1999). Properties of Water in Calcium- and Hexadecyltrimethylammonium-Exchanged Bentonite. Clays and Clay Minerals, 47 (1), 28–35. doi: [10.1346/ccmn.1999.0470103](https://doi.org/10.1346/ccmn.1999.0470103)
 6. Majdan, M., Pikus, S., Rączynska, Z., Iwan, M., Maryuk, O., Kwiatkowski, R., Skrzypek, H. (2006). Characteristics of chabazite modified by hexadecyltrimethylammonium bromide and of its affinity toward chromates. Journal of Molecular Structure, 791 (1-3), 53–60. doi: [10.1016/j.molstruc.2005.12.043](https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2005.12.043)
 7. Li, Z., Willms, C. A., Kniola, K. (2003). Removal of Anionic Contaminants using Surfactant-modified Palygorskite and Sepiolite. Clays and Clay Minerals, 51 (4), 445–451. doi: [10.1346/ccmn.2003.0510411](https://doi.org/10.1346/ccmn.2003.0510411)
 8. Tarasevich, Yu. I. (1981). Prirodnye sorbenty v processah oshchistki vody. Kyiv: Naukova Dumka, 208.
 9. Zhdanyuk, N., Kovalchuk, I., Kornilovych, B. (2016). Obtaining stabilized nanodispersed iron based on organophilized montmorillonite. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (6 (83)), 23–28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.79452](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79452)
 10. Lur'e Yu. (1989). Analiticheskaya khimiya promyshlennyyh vod., 448 p.
 11. Xu, S., Boyd, S. A. (1995). Cationic Surfactant Adsorption by Swelling and Nonswelling Layer Silicates. Langmuir, 11 (7), 2508–2514. doi: [10.1021/la00007a033](https://doi.org/10.1021/la00007a033)
 12. Holeybiyovskyy, A. O., Brezyts'ka, A. M., Spas'onova, L. M. (2014). Change of montmorillonite surface structure with cationic surfactants adsorption. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (6 (70)), 53–57. doi: [10.15587/1729-4061.2014.26043](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26043)

Надійшла (received) 05.05.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Характеристика структури органофілізованого палігорськіту і його спорідненість по відношенню до хроматів/ Жданюк Н. В., Биков О. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.11–16. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Характеристика органофилизированного палыгорскита и его сродство по отношению к хроматам/ Жданюк Н. В., Биков О. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.11–16. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Characteristics of organophilized palygorskite and of its affinity toward chromates/ Zhdanyuk N., Bykov O. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – No 19 (1241). – P.11–16. – Bibliogr.:12. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Жданюк Наталія Василівна – асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», асистент кафедри «Хімічної технології кераміки та скла», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056, e-mail: zhdanyukn.kpi@gmail.com.

Биков Олександр Іванович – кандидат технічних наук, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, провідний науковий співробітник відділу фізичного матеріалознавства, вул. Академіка Кржижановського, 3, м. Київ, Україна, 03680, e-mail: pavelbykov1@gmail.com

Жданюк Наталия Васильевна – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», асистент кафедри «Химической технологии керамики и стекла», пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056, e-mail: zhdanyukn.kpi@gmail.com.

Быков Александр Иванович – кандидат технических наук, Институт проблем материаловедения им. И.М. Францевича НАН Украины, ведущий научный сотрудник отдела физического материаловедения, ул. Академика Кржижановского, 3, г. Киев, Украина, 03680, e-mail: pavelbykov1@gmail.com.

Zhdanyuk Nataliya – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", assistant, department of chemical technology of ceramics and glass, pr. Peremogy, 37, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: zhdanyukn.kpi@gmail.com.

Bykov Alexander – PhD, Institute of Materials Science. IM Frantsevich NAS of Ukraine, a leading researcher of physical material, Krzhizhanovskogo str., 3, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail: pavelbykov1@gmail.com.

УДК 539.3

А. С. БОГАТИРЧУК, В. М. РОМАНЕНКО

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ НАВКОЛО ОТВОРІВ В ЦИЛІНДРИЧНІЙ ОБОЛОНЦІ ІЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглядається розрахунок напружено-деформованого стану циліндричної оболонки з двома круговими отворами з композитного матеріалу, який вважається ортотропним. Для такого класу задач приймаються гіпотеза прямих ліній Тимошенка. Для розв'язку застосовуємо метод скінченних елементів. Результати досліджень можуть бути використані в різноманітних галузях техніки, зокрема в хімічній та харчовій промисловості.

Ключові слова: Оболонка, круговий отвір, композитний матеріал, ортотропний матеріал, метод скінченних елементів, гіпотеза Тимошенка, напружений стан, деформація, ізопараметричний елемент.

Рассматривается расчет напряженно-деформируемого состояния цилиндрической оболочки с двумя круговыми отверстиями из композитного материала, который является ортотропным. Для такого класса задач принимается гипотеза прямых линий Тимошенко.

Для решения применяется метод конечных элементов. Результаты исследований могут быть использованы в различных областях техники, в частности, в химической и пищевой промышленности.

Ключевые слова: Оболочка, круговое отверстие, композитный материал, ортотропный материал, метод конечных элементов, гипотеза Тимошенко, напряженное состояние, деформация, изопараметрический элемент.

We consider the calculation of stress-strain state of the cylindrical shell with two circular holes of composite material, which is orthotropic. For this class of problems the hypothesis of the straight line for the whole shell package and Timoshenko kinematic hypothesis are accepted, according to them initially normal to the coordinate plane the shell element after deformation remains straight but not perpendicular to the surface of the deformed coordinate without changing its length. The finite-element method is applied for solution.

The result of the investigation is the algorithm of the stress-strain state of cylindrical shells with holes, made of orthotropic material. Also this algorithm was created in the C++ language and specific numerical results were obtained with using this algorithm.

As a scientific innovation the problem for calculation of the stress-strain state in the orthotropic shell with holes using the finite-element method was formulated and solved.

The practical significance of the developed method of such problems calculation is that the research results can be used in various fields of technology, particularly in the chemical and food industries.

Keywords: shell, circular hole, composite material, orthotropic material, finite-element method, Timoshenko hypothesis, state of stress, deformation, isoperimetric element.

Вступ. Зараз спостерігається розширення класу конструкційних матеріалів і вдосконалення їх властивостей. Такими, зокрема, є композитні матеріали, які дозволяють часто уникнути тих проблем, які доводиться вирішувати при експлуатації традиційних матеріалів [1]. В свою чергу, інтенсивне впровадження композитних матеріалів потребує розробки розрахункових моделей і методів, що враховують особливості структури і поведінки цих матеріалів. До таких особливостей, як відомо, належать їх анізотропія, шаруватий характер і порівнянно низька міцність і жорсткість в напрямках, що не збігаються з напрямками армування. Ці особливості ускладнюють розрахункові моделі [2].

Як елементи конструкцій в різних областях промисловості часто використовуються оболонки з отворами, виготовлені з композитних матеріалів. Тому вони потребують вдосконалення та розробки нових методів дослідження напружено-деформованого стану в них [3].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Основні результати розв'язку задач розрахунку напружено-деформованого композитних

оболонки з отворами стану відображені в монографіях [4, 5].

Напружений стан композитних оболонок з одним круговим отвором на основі гіпотези Тимошенка досліджено в роботах [6, 7], а з двома круговими отворами (трансверсально-ізотропний матеріал) [8].

Ціль та задачі дослідження. Метою є дослідження напружено деформованого стану в композитній циліндричній оболонці з отворами, матеріал якої є ортотропним. Зауважимо, що в порівнянні з ізотропними та трансверсально-ізотропними, ортотропія суттєво ускладнює розрахункові схеми. Тому метою даного дослідження є як отримання конкретних практичних результатів так і вивід загальних формул для формування матриці жорсткості.

Постановка задачі. Розглянемо напружений стан циліндричної оболонки із композитного матеріалу, послабленої двома круговими отворами, розміщеними на одній твірній. А криволінійна система координат (α, β) розміщена так, що вісь α збігається з твірною, а вісь β збігається з

© А. С. Богатирчук, В. М. Романенко. 2017

напрямною, що проходить через середину лінії центрів отворів. Оболонка навантажена внутрішнім тиском інтенсивності q_0 .

Виділимо в оболонці околі , що містить отвори. Як відомо [1], зони концентрації напружень навколо отворів мають локальний характер і практично затухають на відстані одного – двох діаметрів цих отворів. Тому припускаємо, що границя  околу  настільки віддалена від контурів отворів , що зовні неї збурення напружень, спричинених наявністю отворів, практично затухають.

Віднесемо серединну поверхню оболонки до системи криволінійних ортогональних координат (α, β) . В подальшому виходимо з варіаційного рівняння Лагранжа, записаного для околу Ω :

$$\iint_{\Omega} \{ \delta V_0 - (p_1 \delta u_1 + p_2 \delta u_2 + p_n \delta w + m_1 \delta \gamma_1 + m_2 \delta \gamma_2) \} A_1 A_2 d\alpha d\beta - \int_{\Gamma_1} (T_u^0 \delta u_t + T_{us}^0 \delta u_s + T_{wn}^0 \delta w + G_u^0 \delta \gamma_t + G_s^0 \delta \gamma_s) d\Gamma = 0,$$

$$\delta V = T_1 \delta \varepsilon_1 + T_2 \delta \varepsilon_2 + S_{12} \delta \varepsilon_{12} + G_1 \delta k_1 + G_2 \delta k_2 + 2H_{12} \delta k_{12} + Q_1 \delta \varepsilon_{13} + Q_2 \delta \varepsilon_{23}, \quad (1)$$

де V_0 – питома енергія деформації; $u_1, u_2, w, \gamma_1, \gamma_2$ – узагальнені переміщення серединної поверхні оболонки, через які виражається поле переміщень

$$U_1 = u_1(\alpha, \beta) + z\gamma_1(\alpha, \beta),$$

$$U_2 = u_2(\alpha, \beta) + z\gamma_2(\alpha, \beta), \quad (-h/2 \leq z \leq h/2),$$

$$W = w(\alpha, \beta). \quad (2)$$

Геометричні співвідношення між компонентами деформацій і узагальненими переміщеннями мають вигляд

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{A} \frac{\partial u}{\partial \alpha} + \frac{v}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} + k_\alpha w, \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{B} \frac{\partial v}{\partial \beta} + \frac{u}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + k_\beta w, \\ \varepsilon_{12} &= \frac{A}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{u}{A} \right) + \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{v}{B} \right) - 2k_{\alpha\beta} w, \\ \varepsilon_{13} &= \gamma_1 + \frac{1}{A} \frac{\partial w}{\partial \alpha} + \delta(-k_\alpha u + k_{\alpha\beta} v), \\ \varepsilon_{23} &= \gamma_2 + \frac{1}{B} \frac{\partial w}{\partial \beta} + \delta(-k_\beta v + k_{\alpha\beta} u), \\ \chi_1 &= \frac{1}{A} \frac{\partial \gamma_1}{\partial \alpha} + \frac{\gamma_2}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta}, \quad \chi_2 = \frac{1}{B} \frac{\partial \gamma_2}{\partial \beta} + \frac{\gamma_1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha}, \\ 2\chi_{12} &= \frac{A}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\gamma_1}{A} \right) + \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{\gamma_2}{B} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Співвідношення пружності для композитної оболонки будуть:

$$\begin{aligned} T_1 &= B_{11}\varepsilon_1 + B_{12}\varepsilon_2 + B_{13}\varepsilon_{12}, \\ T_2 &= B_{22}\varepsilon_2 + B_{12}\varepsilon_1 + B_{23}\varepsilon_{12}, \end{aligned}$$

$$S_{12} = B_{13}\varepsilon_1 + B_{23}\varepsilon_2 + B_{33}\varepsilon_{12},$$

$$\begin{aligned} G_1 &= D_{11}\chi_1 + D_{12}\chi_2 + D_{13}2\chi_{12}, \\ G_2 &= D_{22}\chi_2 + D_{12}\chi_1 + D_{23}2\chi_{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{12} &= D_{13}\chi_1 + D_{23}\chi_2 + D_{33}2\chi_{12}, & Q_1 &= K_1\varepsilon_{13}, \\ Q_2 &= K_2\varepsilon_{23}. \end{aligned} \quad (4)$$

Тут B_{ij}, D_{ij}, K_i – узагальнені жорсткості матеріалу оболонки.

Для ортотропної оболонки вони будуть такими:

$$\begin{aligned} B_{ij} &= c_{ij}h, \quad D_{ij} = \frac{h^3}{12}c_{ij}, \quad K_1 = \mu h G_{13}, \quad K_2 = \mu h G_{23} \\ c_{11} &= \frac{E_1}{1-\nu_1\nu_2}, \quad c_{22} = \frac{E_2}{1-\nu_1\nu_2}, \\ c_{12} &= E_1\nu_2(1-\nu_1\nu_2), \quad c_{13} = c_{23} = 0 \\ c_{33} &= G_{12}, \quad \mu_1 = \mu_2 = \frac{5}{6} \end{aligned}$$

Граничні умови на контурах отворів запишуться у вигляді:

$$\begin{aligned} T_\rho &= \frac{q_0 R}{2}(1 - \cos 2\theta), \quad S_{\rho\theta} = \frac{q_0 R}{2} \sin 2\theta, \\ Q &= -\frac{qr}{2}, \quad G_\rho = H_{\rho\theta} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Підставивши (3) в (4), а останнє – в (1) з урахуванням (5), отримаємо варіаційне рівняння відносно змінних $u_1, u_2, w, \gamma_1, \gamma_2$:

$$I(u_1, u_2, w, \gamma_1, \gamma_2) = 0.$$

Метод розв'язку задачі. Для розв'язку задачі застосуємо метод скінчених елементів[9]. Розбиваємо область на квадратичні ізопараметричні елементи, що мають по вісім вузлів(рис. 1, 2). На кожному з цих елементів вводимо локальну систему координат (ξ, η) таку, що $|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$.

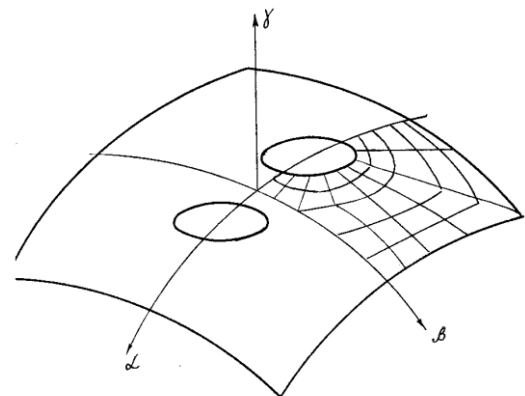


Рис. 1 – Розбиття області Ω на елементи

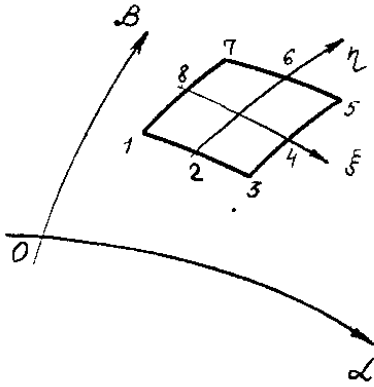


Рис. 2 – Чотирикутний ізопараметричний елемент

При цьому перетворення від локальних координат до глобальних здійснюється за допомогою функцій форми

$$\begin{aligned}\varphi_i &= \frac{1}{4}(1+\xi_0)(1+\eta_0)(\xi+\eta_0-1) \quad (i=1,3,5,7); \\ \varphi_i &= \frac{1}{2}(1-\xi^2)(1+\eta_0) \quad (i=2,6); \\ \varphi_i &= \frac{1}{2}(1+\xi_0)(1-\eta^2) \quad (i=4,8)\end{aligned}\quad (6)$$

співвідношеннями

$$\alpha = \sum_{i=1}^8 \alpha^i \varphi_i, \quad \beta = \sum_{i=1}^8 \beta^i \varphi_i, \quad (7)$$

де $\xi_0 = \xi \xi_i$, $\eta_0 = \eta \eta_i$, (ξ_i, η_i) , (α^i, β^i) – координати i -го вузла відповідно в локальній і глобальній системах координат.

Зв'язок з глобальною системою координат (α, β) здійснюється за допомогою співвідношень

$$\alpha = \sum_{i=1}^8 \alpha^i \varphi_i(\xi, \eta), \quad \beta = \sum_{i=1}^8 \beta^i \varphi_i(\xi, \eta)$$

Якщо нам потрібно розглядати криволінійний відрізок в локальній системі координат, що збігається, наприклад, зі стороною елемента , то в цьому випадку цей відрізок кривої буде задано так

$$\alpha = \sum_{i=1}^3 \alpha^i \varphi_i(\xi), \quad \beta = \sum_{i=1}^3 \beta^i \varphi_i(\xi, \eta) \quad (-1 \leq \xi \leq 1),$$

а елемент дуги буде мати вигляд

$$d\Gamma = \left\{ \left(\sum_{i=1}^3 \alpha^i \varphi_i'(\xi) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^3 \beta^i \varphi_i'(\xi, \eta) \right)^2 \right\}^{1/2} d\xi$$

Переміщення на кожному з елементів інтерполюються поліномами

$$u_1 = \sum_{i=1}^8 u_1^i \varphi_i, \dots, \gamma_2 = \sum_{i=1}^8 \gamma_2^i \varphi_i. \quad (8)$$

Тут $u_1^i, \dots, \gamma_2^i$ – шукані переміщення в i -му вузлі.

Для заміни варіаційного рівняння його дискретним аналогом нам будуть необхідні вирази

похідних від переміщень $u_1, u_2, w, \gamma_1, \gamma_2$ по змінних α, β . Для цього використаємо відомі формули зв'язку похідних в двох різних системах координат $\delta = J\mu$, де

$$\begin{aligned}\delta &= \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \xi}, \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right)^T, \quad \mu = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \alpha}, \frac{\partial \varphi}{\partial \beta} \right)^T, \\ \Delta &= \left(\sum_{i=1}^8 \alpha^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \right) \left(\sum_{i=1}^8 \beta^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \right) - \left(\sum_{i=1}^8 \alpha^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \right) \left(\sum_{i=1}^8 \beta^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \right) \\ J &= \begin{pmatrix} \frac{\partial \alpha}{\partial \xi} & \frac{\partial \beta}{\partial \xi} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial \eta} & \frac{\partial \beta}{\partial \eta} \end{pmatrix} - \text{матриця Якобі, і розв'язуючи їх}\end{aligned}$$

відносно , що в нашому випадку можливо, в силу невиводженості перетворення, маємо

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} = \left(\frac{\partial \beta}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} - \frac{\partial \beta}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right) / \det J,$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \beta} = \left(-\frac{\partial \alpha}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{\partial \alpha}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right) / \det J$$

Тоді шукані похідні від переміщень з врахуванням відповідних формул матимуть вигляд

$$\frac{\partial u_1}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^8 u_1^i \left\{ \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \sum_{j=1}^8 \beta^j \frac{\partial \varphi_j}{\partial \eta} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \sum_{j=1}^8 \beta^j \frac{\partial \varphi_j}{\partial \xi} \right) / \Delta \right\},$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^8 u_1^i \left\{ \left(-\frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \sum_{j=1}^8 \alpha^j \frac{\partial \varphi_j}{\partial \eta} + \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \sum_{j=1}^8 \alpha^j \frac{\partial \varphi_j}{\partial \xi} \right) / \Delta \right\},$$

$$\Delta = \left(\sum_{i=1}^8 \alpha^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \right) \left(\sum_{i=1}^8 \beta^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \right) - \left(\sum_{i=1}^8 \alpha^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \right) \left(\sum_{i=1}^8 \beta^i \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \right)$$

Похідні від інших узагальнених переміщень $u_2, w, \gamma_1, \gamma_2$ мають такі ж вирази заміною символа u_1 відповідно на u_2 і т. д.

Далі співвідношення підставляємо в варіаційне рівняння, в яке попередньо підставлені граничні умови, а змінні $u_1, u_2, w, \gamma_1, \gamma_2$ виражені через $u_1^i, u_2^i, w^i, \gamma_1^i, \gamma_2^i$. Далі прирівнюємо коефіцієнти при однакових варіаціях $\delta u_1, \delta u_2, \delta w, \delta \gamma_1, \delta \gamma_2$, враховуємо їх незалежність, і отримуємо вирази для подальшого обчислення коефіцієнтів матриці системи алгебраїчних рівнянь, які мають вигляд

$$\begin{aligned}A_{11}^{(i,k)} &= \left\{ \frac{1}{(AB)^2} \left[B_{22} \left(\frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)^2 - 2B_{23} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + B_{33} \left(\frac{\partial A}{\partial \beta} \right)^2 \right] + K_1 k_\alpha^2 + K_2 k_{\alpha\beta}^2 \right\} \varphi_i \varphi_k + \\ &+ \frac{1}{A^2 B} \left(B_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - B_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \varphi_k + \frac{1}{AB^2} \left(B_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - B_{33} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k + \\ &+ \frac{1}{A^2 B} \left(B_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - B_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{B_{11}}{A^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{B_{13}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\ &+ \frac{1}{AB^2} \left(B_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - B_{33} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \frac{B_{13}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \frac{B_{33}}{B^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{12}^{(i,k)} &= A_{21}^{(k,i)} = \\
&= \left\{ \frac{1}{(AB)^2} \left[(B_{12} + B_{33}) \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - B_{13} \left(\frac{\partial A}{\partial \beta} \right)^2 - B_{23} \left(\frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)^2 \right] + \right. \\
&+ (-K_1 k_{\alpha\beta} k_{\alpha} + K k_{\alpha\beta}) \} \varphi_i \varphi_k + \frac{1}{A^2 B} \left(B_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - B_{33} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{AB^2} \left(B_{22} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - B_{23} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{A^2 B} \left(B_{11} \frac{\partial A}{\partial \beta} - B_{13} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{B_{13}}{A^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{B_{12}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{1}{AB^2} \left(B_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} - B_{33} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\
&+ \frac{B_{33}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \frac{B_{23}}{B^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta}, \\
A_{13}^{(i,k)} &= A_{31}^{(k,i)} = \frac{1}{AB} \left(B_{12} k_{\alpha} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + B_{22} k_{\beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - \right. \\
&- B_{13} k_{\alpha} \frac{\partial A}{\partial \beta} - 2B_{23} k_{\alpha\beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - \\
&- B_{23} k_{\beta} \frac{\partial A}{\partial \beta} + 2B_{33} k_{\alpha\beta} \frac{\partial A}{\partial \beta} \Big) \varphi_i \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{A} (B_{11} k_{\alpha} + B_{12} k_{\beta} - 2B_{13} k_{\alpha\beta}) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{1}{B} (B_{13} k_{\alpha} + B_{23} k_{\beta} - 2B_{33} k_{\alpha\beta}) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\
&+ \left(-\frac{K_1}{A} k_{\alpha} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \varphi_k + \frac{K_2}{B} k_{\alpha\beta} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k \right), \\
A_{14}^{(i,k)} &= A_{41}^{(k,i)} = -K_1 k_{\alpha} \varphi_i \varphi_k, \\
A_{15}^{(i,k)} &= A_{51}^{(k,i)} = K_2 k_{\alpha\beta} \varphi_i \varphi_k, \\
A_{22} &= \left\{ \frac{1}{(AB)^2} \left[B_{11} \left(\frac{\partial A}{\partial \beta} \right)^2 - 2B_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + B_{33} \left(\frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)^2 \right] + \right. \\
&+ (K_1 k_{\alpha\beta}^2 + K_2 k_{\beta}^2) \} \varphi_i \varphi_k + \frac{1}{A^2 B} \left(B_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} - B_{33} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{1}{AB^2} \left(B_{12} \frac{\partial A}{\partial \beta} - B_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{A^2 B} \left(B_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} - B_{33} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{B_{33}}{A^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{B_{23}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{1}{AB^2} \left(B_{12} \frac{\partial A}{\partial \beta} - B_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\
&+ \frac{B_{23}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \frac{B_{22}}{B^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{23}^{(i,k)} &= A_{32}^{(k,i)} = \frac{1}{AB} \left[B_{11} k_{\alpha} \frac{\partial A}{\partial \beta} + B_{12} k_{\beta} \frac{\partial A}{\partial \beta} - \right. \\
&- B_{13} \left(\frac{\partial B}{\partial \alpha} k_{\alpha} + 2k_{\alpha\beta} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) - B_{23} k_{\beta} \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} + 2B_{33} k_{\alpha\beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \Big] \varphi_i \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{A} (B_{13} k_{\alpha} + B_{23} k_{\beta} - 2B_{33} k_{\alpha\beta}) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{1}{B} (B_{12} k_{\alpha} + B_{22} k_{\beta} - 2B_{23} k_{\alpha\beta}) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\
&+ \left(\frac{K_1}{A} k_{\alpha\beta} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \varphi_k - \frac{K_2}{B} k_{\beta} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k \right), \\
A_{24}^{(i,k)} &= A_{42}^{(k,i)} = K_1 k_{\alpha\beta} \varphi_i \varphi_k, \\
A_{25}^{(i,k)} &= A_{52}^{(k,i)} = -K_2 k_{\beta} \varphi_i \varphi_k, \\
A_{33}^{(i,k)} &= (B_{11} k_{\alpha}^2 + 2B_{12} k_{\alpha} k_{\beta} + B_{22} k_{\beta}^2 - 4B_{13} k_{\alpha\beta} k_{\alpha} - 4B_{23} k_{\alpha\beta} k_{\beta} + \\
&+ 4B_{33} k_{\alpha\beta}^2) \varphi_i \varphi_k + \frac{K_1}{A^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{K_2}{B^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta}, \\
A_{34}^{(i,k)} &= A_{43}^{(k,i)} = \frac{K_1}{A} \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi}, \\
A_{35}^{(i,k)} &= A_{53}^{(k,i)} = \frac{K_2}{B} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k, \\
A_{44}^{(k,i)} &= \left\{ K_1 + \frac{1}{(AB)^2} \left[D_{22} \left(\frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)^2 - 2D_{23} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + D_{33} \left(\frac{\partial A}{\partial \beta} \right)^2 \right] \right\} \varphi_i \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{A^2 B} \left(D_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - D_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{AB^2} \left(D_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - D_{33} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k + \frac{1}{A^2 B} \left(D_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - D_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{D_{11}}{A^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{D_{13}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{1}{AB^2} \left(D_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - D_{33} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \frac{D_{13}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\
&+ \frac{D_{33}}{B^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta}, \\
A_{45}^{(i,k)} &= A_{54}^{(k,i)} = \frac{1}{(AB)^2} \left[(D_{12} + D_{33}) \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - D \left(\frac{\partial A}{\partial \beta} \right)^2 - \right. \\
&- D_{23} \left(\frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)^2 \Big] \varphi_i \varphi_k + \frac{1}{A^2 B} \left(D_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - D_{33} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \varphi_k + \\
&+ \frac{1}{AB^2} \left(D_{22} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - D_{23} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k + \frac{1}{A^2 B} \left(D_{11} \frac{\partial A}{\partial \beta} - D_{13} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
&+ \frac{D_{13}}{A^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{D_{12}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{1}{AB^2} \left(D_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} - D_{33} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\
&+ \frac{D_{33}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \frac{D_{23}}{B^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{55}^{(i,k)} = & \left\{ K_2 + \frac{1}{(AB)^2} \left[D_{11} \left(\frac{\partial A}{\partial \beta} \right)^2 - 2 D_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + \right. \right. \\
& + D_{33} \left(\frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)^2 \left. \right] \varphi_i \varphi_k + \frac{1}{A^2 B} \left(D_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} - D_{33} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \varphi_k + \\
& + \frac{1}{AB^2} \left(D_{12} \frac{\partial A}{\partial \beta} - D_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \varphi_k + \\
& + \frac{1}{A^2 B} \left(D_{13} \frac{\partial A}{\partial \beta} - D_{33} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{D_{33}}{A^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \\
& + \frac{D_{23}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \xi} + \frac{1}{AB^2} \left(D_{12} \frac{\partial A}{\partial \beta} - D_{23} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \varphi_i \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \\
& + \frac{D_{23}}{AB} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} + \frac{D_{22}}{B^2} \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi_k}{\partial \eta} \right\}.
\end{aligned}$$

Для обчислення вкладів в величину коефіцієнтів цієї системи рівнянь, що відповідають фіксованому вузлу по елементу Е, що містить цей вузол необхідно проінтегрувати наведені вирази по цьому елементу. Для цього використаємо квадратурні формули Гауса, що мають по два вузли по кожній змінній

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 G(\xi, \eta) d\xi d\eta \approx \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 W_i W_j G(\xi_i, \eta_j) \quad (9)$$

Тобто, ми таким чином інтегруємо по кожному елементу Е, потім складаємо вклади при однакових варіаціях в вузлі, що вносять всі елементи, які містять цей вузол. Таким чином ми отримуємо алгоритм формування матриці, яка має вигляд

$$\sum_{n=1}^N (A_1^{1,n} u_1^n + A_1^{2,n} u_2^n + A_1^{3,n} w^n + A_1^{4,n} \gamma_1^n + A_1^{5,n} \gamma_2^n) = B_i \quad (10)$$

Таблиця 1 – Коефіцієнти концентрації кільцевих зусиль і моментів

The diagram shows two identical circles positioned horizontally. A horizontal line passes through the center of each circle. The left circle has three angular markers: 0° at the leftmost point, 90° at the top point, and 180° at the rightmost point. A double-headed horizontal arrow between the vertical center lines of the two circles is labeled with the letter l .

		$G_{12}/E_1 = 0,11, \quad E_1/G_{13} = 50$					
		θ					
		0	30	60	90	120	150
1	2	3	4	5	6	7	8
$E_2/E_1 = 0,1$	<u>3,09</u>	<u>3,36</u>	<u>2,84</u>	<u>-0,39</u>	<u>2,11</u>	<u>3,92</u>	<u>5,12</u>
	-0,56	-0,25	1,44	4,80	1,41	0,04	-1,41
$E_2/E_3 = 3,3$	<u>11,61</u>	<u>3,52</u>	<u>1,11</u>	<u>0,55</u>	<u>1,05</u>	<u>1,51</u>	<u>11,23</u>
	-2,44	0,20	0,52	3,71	0,12	-0,11	-4,50

$$(i = 1, 2, 3, \dots, 5N)$$

де N – число вузлів сітки, $u_1^n, \dots, \gamma_2^n$ – шукані переміщення в n -му вузлі області оболонки. Величини $A_1^{k,n}$ визначають матрицю жорсткості. Матриця симетрична і має стрічкову структуру. Ширина стрічки залежить від способу нумерації вузлів. Розбивка області Ω на елементи, інтегрування, формування матриці системи рівнянь (5) і її розв'язок виконуються на комп'ютері за допомогою програми, складеної на мові C++ [10].

Результати обчислень. Коефіцієнти концентрації кільцевих зусиль і моментів. Як приклад, проведено обчислення для оболонки з такими фізико-геометричними параметрами:

$$\begin{aligned}
r_0/h = 10, \quad r_0/R = 0,16, \quad E_1/E_2 = 0,72, \\
G_{12}/E_1 = 0,11, \quad E_1/G_{13} = E_1/G_{23} = 50
\end{aligned}$$

Припускалось, що оболонка знаходилась під внутрішнім тиском інтенсивності , а отвори закриті кришками, які передають на контур лише дію поперечної сили. Внаслідок симетрії відносно осей координат розрахунки проводились для чверті оболонки. Визначався напружено-деформований стан оболонки при фіксованій відстані між отворами l ($l/r_0 = 2,5$), в залежності від параметрів ортотропії обчислювались коефіцієнти концентрації кільцевих зусиль $T_\theta/p_0 R$ (в чисельнику) і максимальних по товщині оболонки кільцевих моментів $6G_\theta/p_0 R h$ (в знаменнику) по контуру отвору в інтервалі від 0° до 180° з кроком 30° . Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8
	$E_1/E_2 = 0,72, \quad G_{12}/E_1 = 0,11$						
	θ						
	0	30	60	90	120	150	180
$G_{13}/E_1 = G_{23}/E_1 = 100$	$\frac{6,61}{-0,89}$	$\frac{2,51}{0,05}$	$\frac{0,66}{0,12}$	$\frac{0,72}{1,23}$	$\frac{1,31}{1,22}$	$\frac{2,51}{1,42}$	$\frac{10,45}{4,65}$
$G_{13}/E_1 = G_{23}/E_1 = 0,01$	$\frac{7,97}{-1,84}$	$\frac{3,52}{0,05}$	$\frac{1,33}{0,81}$	$\frac{0,45}{4,12}$	$\frac{1,22}{0,11}$	$\frac{2,51}{-0,01}$	$\frac{8,60}{-3,90}$
	$E_1/E_2 = 0,72, \quad G_{12}/E_1 = 0,11$						
	θ						
	0	30	60	90	120	150	180
$G_{13}/E_1 = 0,02, \quad G_{23}/G_{13} = 100$	$\frac{7,78}{-2,18}$	$\frac{3,81}{0,22}$	$\frac{11,23}{0,85}$	$\frac{0,48}{3,97}$	$\frac{1,12}{0,31}$	$\frac{2,35}{-0,05}$	$\frac{8,45}{-3,80}$
$G_{23}/E_1 = 0,02, \quad G_{23}/G_{13} = 0,01$	$\frac{7,52}{-1,81}$	$\frac{3,08}{0,11}$	$\frac{1,14}{0,91}$	$\frac{0,56}{3,61}$	$\frac{0,98}{0,16}$	$\frac{2,21}{-0,35}$	$\frac{8,25}{-3,37}$

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблено алгоритм знаходження напружено-деформованого стану в циліндричних оболонках з отворами, виготовлених з ортотропного матеріалу, виведені вирази коефіцієнтів для формування матриці системи лінійних алгебраїчних рівнянь, до яких звелась задача, а також складена програма на алгоритмічній мові C++, отримані конкретні числові результати.

Розроблена методика дозволяє обчислювати напружено-деформований стан в довільній точці композитної циліндричної оболонки з двома отворами. Отже, ця методика дозволяє обчислювати напружено-деформований стан в апаратах відповідної форми хімічної, зокрема, харчової промисловості.

Список літератури:

1. Ниркова, Л. І. Аналіз впливу комбінації стрес-корозійних чинників на корозійне розтріскування від напруження трубної сталі [Текст] / Л. І. Ниркова // Вісник НТУ «ХП». – 2017. – № 16. – С. 12–16.
2. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов [Текст] / В. В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. Гузь, А. Н. Методы расчета оболочек. Т. 1 [Текст] / А. Н. Гузь, И. С. Чернышенко, В. Н. Чехов, В. Н. Чехов, К. И. Шнеренко // Теория тонких оболочек, ослабленных отверстиями. – Киев: Наук. думка, 1980. – 636 с.
4. Гузь, А. Н. Механика элементов конструкций [Текст] / А. Н. Гузь, Я. М. Григоренко, И. Ю. Бабич и др. – Киев: Наук. думка, 1982. – 464 с.
5. Пелех, Б. Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений [Текст] / Б. Л. Пелех, В. А. Лазько. – Киев: Наук. думка, 1982. – 296 с.
6. Богатырчук, А. С. Применение метода конечных элементов к расчету трансверсально-изотропной цилиндрической оболочки с отверстием [Текст] / А. С. Богатырчук, К. И. Шнеренко // Прикл. механика. – 1987. – Т. 23, № 9. – С. 125–128.
7. Шнеренко, К. И. Визначення концентрації напружень навколо отвору в циліндричній панелі із композитного матеріалу

- [Текст] / К. И. Шнеренко, В. Ф. Годзула, А. С. Богатырчук // Системні технології. – 2006. – Вип. 5 (46). – С. 121–123.
8. Богатырчук, А. С. Исследование концентрации напряжений около двух отверстий в композитных оболочках методом конечных элементов [Текст] / А. С. Богатырчук, А. Н. Гузь, К. И. Шнеренко // Прикл. механика. – 1990. – Т. 26, № 7. – С. 34–38.
 9. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация [Текст] / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
 10. Глинський, Я. М. C++ і C++ Builder [Текст] / Я. М. Глинський, В. Є. Анохін, В. А. Рязьська. – Львів, 2003. – 192 с.

Bibliography (transliterated):

1. Nyrkova, L. I. (2017). Analiz vplyvu kombinatsiyi stres-korozijnnykh chynnykyv na korozijne roztriskuvannya vid napruzheniya trubnoyi stali. Visnyk NTU "KhPP", 16, 12–16.
2. Vasil'ev, V. V. (1988). Mekhanika konstrukciy iz kompozicionnykh materialov. Moscow: Mashinostroenie, 272.
3. Guz', A. N., Chernyshenko, I. S., Chekhov, V. N., Chekhov, V. N., Shnerenko, K. I. (1980). Metody rascheta obolochek. Vol. 1. Teoriya tonkikh obolochek, oslablennykh otverstiyami. Kyiv: Nauk. dumka, 636.
4. Guz', A. N., Grigorenko, Ya. M., Babich, I. Yu. et. al. (1982). Mekhanika ehlementov konstrukciy. Kyiv: Nauk. dumka, 464.
5. Pelekh, B. L., Laz'ko, V. A. (1982). Sloistye anizotropnye plastiny i obolochki s koncentratorami napryazheniy. Kyiv: Nauk. dumka, 296.
6. Bogatyrchuk, A. S., Shnerenko, K. I. (1987). Primenenie metoda konechnykh ehlementov k raschetu transversal'no-izotropnoy cilindricheskoy obolochki s otverstiem. Prikl.mekhanika, 23 (9), 125–128.
7. Shnerenko, K. I., Hodzula, V. F., Bohatyrchuk, A. S. (2006). Vyznachennya kontsentratsiyi napruzhen' navkolo otvoru v tsylindrichnyi paneli iz kompozytnoho materialu. Systemni tekhnolohiyi, 5 (46), 121–123.
8. Bogatyrchuk, A. S., Guz', A. N., Shnerenko, K. I. (1990). Issledovanie koncentracii napryazheniy okolo dvuh otverstiy v kompozitnykh obolochkah metodom konechnykh ehlementov. Prikl.mekhanika, 26 (7), 34–38.
9. Zenkevich, O., Morgan, K. (1986). Konechnye ehlementy i approksimaciya. Moscow: Mir, 318.
10. Hlyn'skyy, Ya. M., Anokhin, V. Ye., Ryazhs'ka, V. A. (2003). C++ i C++ Builder. Lviv, 192.

Надійшла (received) 18.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Визначення напруженого стану навколо отворів в циліндричній оболонці із композитного матеріалу/ Богатырчук А. С., Романенко В. М. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – No 19(1241). – С.16–22. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Определение напряженного состояния вокруг отверстий в цилиндрической оболочке с композитного материала / Богатырчук А. С., Романенко В. Н. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С16.–22. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Determination of the stress state around holes in a cylindrical shell made of a composite material / Bogatyrchuk A., Romanenko V. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.16–22. – Bibliogr.:12. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Богатырчук Анатолий Степанович – кандидат фізико-математичних наук, Національний університет харчових технологій, доцент кафедри вищої математики імені проф. Можара В. І.; вул. Володимирська 68, м. Київ, Україна, 01601.

Романенко Вікторія Миколаївна – кандидат фізико-математичних наук, Національний університет харчових технологій, доцент кафедри вищої математики імені проф. Можара В. І.; вул. Володимирська 68, м. Київ, Україна, 01601.

Богатырчук Анатолий Степанович – кандидат физико-математических наук, Национальный университет пищевых технологий, доцент кафедры высшей математики имени проф. Можара В. И.; ул. Владимирская 68, г. Киев, Украина, 01601.

Романенко Виктория Николаевна – кандидат физико-математических наук, Национальный университет пищевых технологий, доцент кафедры высшей математики имени проф. Можара В. И.; ул. Владимирская 68, г. Киев, Украина, 01601.

Bogatyrchuk Anatolij – PhD of Physical and Mathematical Sciences, National University of Food Technologies, Associate professor V. I. Mozhar Higher Mathematics Department; str. Volodimirska 68, Kyiv, Ukraine, 01601.

Romanenko Victoriia– PhD of Physical and Mathematical Sciences, National University of Food Technologies, Associate professor V. I. Mozhar Higher Mathematics Department; str. Volodimirska 68, Kyiv, Ukraine, 01601.

УДК 621.723

О. Ю. РУДИК

ІОННО-АЗОТУВАННЯ: РЕГУЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Розглядається будова й фазовий склад іонно-азотованих шарів, встановлені залежності зміни параметрів кристалічних ґраток і концентрації азоту залежно від параметрів процесу. Розраховано зміцнення азотованих шарів на вуглецевих і легированих сталях для когерентних і некогерентних виділень нітридів. Одержані залежності значень зміцнення зони внутрішнього азотування від об'ємної долі частинок нітридів легуючих елементів, їх діаметра і відстані між частинками, що дозволяє одержувати дифузійні шари з максимальними міцнісними властивостями.

Ключові слова: іонне азотування, кристалічні ґратки, концентрація азоту, виділення нітридів, внутрішнє азотування.

Рассматривается строение и фазовый состав ионно-азотированных слоев, установлены зависимости изменения параметров кристаллических решеток и концентрации азота в зависимости от параметров процесса. Рассчитано упрочнение азотированных слоев на углеродных и легированных сталях для когерентных и некогерентных выделений нитридов. Получены зависимости значений упрочнения зоны внутреннего азотирования от объемной доли частиц нитридов легирующих элементов, их диаметра и расстояния между частицами, что позволяет получать диффузионные слои с максимальными прочностными свойствами.

Ключевые слова: ионное азотирование, кристаллические решетки, концентрация азота, выделение нитридов, внутреннее азотирование.

The regulation of physical and chemical properties of nitrogen-rich in the ion-plasma atmosphere of metal surfaces by changing the saturation parameters: temperature, pressure, composition of the saturated mixture and the duration of the strengthening process are considered. The result of the study is the determination of dependencies of changes in the parameters of crystalline lattices and nitrogen concentration, depending on the parameters of nitration. As a scientific novelty, the strengthening of nitrated layers on carbon and alloy steels for coherent and incoherent nitrides is calculated, and the dependences of the values of the strengthening of the internal nitriding zone on the volumetric fraction of nitride particles of the alloying elements, their diameter and the distance between the particles are obtained. The practical significance of the developed procedures and methods can be used for obtaining diffusion layers with maximum strength properties due to doping and control of morphology and the geometry of the allocation of nitride phases.

Keywords: ion nitriding, crystalline lattices, nitrogen concentration, nitride release, internal nitriding.

Вступ. У багатьох випадках вдається регулювати фізико-хімічні властивості азотованих в іонно-плазмовій атмосфері поверхонь металів шляхом зміни параметрів насичення: температури (T , К), тиску (P , Па), складу насичуючої суміші (C , % об. N_2) й тривалості насичення [1-3].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У роботі [1] визначені режими іонного

азотування (азотування в тліючому розряді), які забезпечують максимальні характеристики міцності, пластичності, опору втоми, коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування при терті кочення. Але знайдені режими азотування та відповідні їм експлуатаційні характеристики поверхонь не розглядаються у взаємозв'язку із структурним і фазовим станом її поверхні й не

© О. Ю. Рудик. 2017

аналізуються на основі загальних закономірностей фізики міцності та пластичності кристалічних тіл [4, 5]. Тим часом, саме ці напрями вивчення структурного стану поверхневих шарів, які визначають зносостійкість спряжень, найінтенсивніше розробляються в даний час, оскільки дозволяють встановити спільні закономірності зношування та руйнування металів.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є встановлення залежностей зміни параметрів кристалічних ґраток і концентрації азоту залежно від параметрів іонного азотування.

Задачею дослідження є розрахунок зміцнення азотованих шарів на вуглецевих і легованих сталях для когерентних і некогерентних виділень нітридів.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Вивчити будову й фазовий склад іонно-азотованих шарів.
2. Одержати залежності значень зміцнення зони внутрішнього азотування від об'ємної долі частинок

нітридів легуючих елементів, їх діаметра і відстані між частинками.

Матеріали та методи регулювання фізико-механічних властивостей при іонному-азотуванні. Для проведення досліджень були вибрані матеріали (хімічний склад визначали на квантометрі ДФС-51), наведені у табл. 1. Іонне азотування проводили на установці та за методикою, описаною в роботі [1].

Рентгеноструктурний фазовий аналіз поверхневих шарів зразків здійснювали на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2,00 з використанням хромового K_{α} -випромінювання. Параметри ґраток нітридних фаз визначали за методикою [6], а за співвідношенням інтенсивностей ліній (101) ϵ -фази, (111) γ' -фази й (110) α -фази проводили напівкількісний аналіз. Розрахунки періодів a і c ϵ -фази проводили за положенням максимумів (110) і (101), вміст впровадженого елемента визначали за відношенням c/a [6, 7]. Субмікроскопічну структуру нітридної зони вивчали на растровому електронному мікроскопі РЕМ-200.

Таблиця 1 – Склад і властивості досліджуваних сталей

Марка	Хімічний склад, %	Термообробка	Твердість, НВ
20	0,22C; 0,20Si; 0,41Mn; 0,11Cr; 0,04S; 0,03P	нормалізація	187
45	0,48C; 0,67Mn; 0,23Si; 0,20Cr; 0,04S; 0,03P	нормалізація	205
45X	0,46C; 0,30Si; 0,75Mn; 1,00Cr; 0,03S; 0,03P	поліпшення	302
38X2MЮА	0,40C; 0,35Si; 0,50Mn; 0,03P; 0,95Al; 1,45Cr; 0,20Mo; 0,03S	поліпшення	321

Результати дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів після іонного азотування. Насичення поверхонь металів в тліючому розряді відбувається в 1,5–2 рази інтенсивніше [3], що зумовлює нові корисні властивості іонно-азотованих матеріалів. Згідно [8] через 4 год. досягається рівновага між осадженням і розпилюванням. Тому основні дослідження властивостей азотованих покриттів були проведені

при тривалості процесу насичення 4 год.

Враховуючи, що зміна мікротвердості по глибині дифузійного шару характеризує співвідношення і розподіл структурних і фазових складових покриття, а також може служити мірою енергоємності поверхневих шарів [9], досліджений вплив параметрів іонного азотування на зміну мікротвердості (рис. 1, 2).

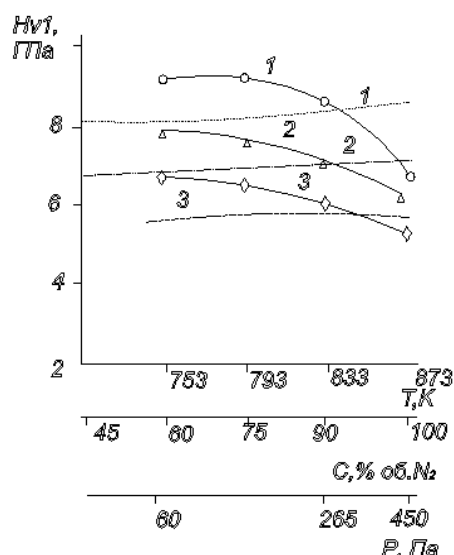


Рис. 1 – Залежність мікротвердості нітридної зони (—) від температури азотування, T , К; (---) від вмісту азоту C , % об.; (---) від тиску суміші, P , Па для наступних сталей: 1 – 45X; 2 – 45; 3 – 20

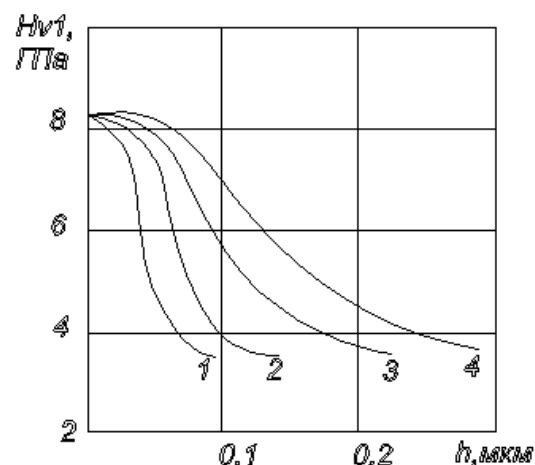


Рис. 2 – Розподіл мікротвердості $Hv1$ по глибині дифузійного шару азотованих зразків із сталі 45X (833 К, 75% N_2 + 25% Ar , 265 Па) наступною тривалістю: 1 – 1 год.; 2 – 2 год.; 3 – 4 год. і 4 – 6 год.

Встановлені наступні загальні закономірності зміни мікротвердості нітридної зони і дифузійного шару вивчених матеріалів залежно від параметрів іонного азотування:

1) максимальна величина мікротвердості підвищується залежно від збільшення вмісту вуглецю основи та кількості легуючих елементів (криві 1–3 на рис. 1);

2) з підвищенням температури азотування мікротвердість нітридної зони дифузійного шару знижується і швидкість зниження збільшується із збільшенням ступеня легування;

3) із збільшенням вмісту азоту і тиску насичуючої суміші мікротвердість зростає;

4) збільшення тривалості насичення при незмінних інших параметрах азотування, не змінюючи величини мікротвердості, сприяє плавнішому її переходу до твердості основи (рис. 2).

Підвищення мікротвердості металів після азотування пояснюється, в першу чергу, високою твердістю металевих нітридів, а оскільки твердість нітридів титана, цирконію, ванадію, хрому і молібдену значно вище за нітридів заліза [10], то і мікротвердість легуваних сталей також значно вище. Крім того, вирішальний вплив на величину і характер розподілу мікротвердості по глибині дифузійного шару має дисперсність нітридів заліза і легуючих елементів [3, 10]. Дослідження тонкої структури азотованого шару сталі 45Х показали, що при температурі насичення 833 К

утворюються нітридні частинки завтовшки 30–100 і шириною 50–600, а при температурі 873 К завтовшки 80–200 і шириною 150–1000 кх. Тобто дисперсність нітридів підвищується з підвищенням температури азотування, відповідно знижується мікротвердість.

Аналіз впливу параметрів іонного азотування на зміну товщини нітридної зони h_N і дифузійного шару h показав можливість регулювання цих характеристик шару, в першу чергу, шляхом зміни температури азотування і складу насичуючого середовища (рис. 3). При збільшенні температури азотування відповідно збільшується як глибина дифузійного шару h , так і глибина нітридної зони h_N . При цьому найінтенсивніше зростання дифузійного шару h спостерігалось для вуглецевої сталі 45 (крива 2 залежності $h = f(T)$ на рис. 3), а найменше – для легованої сталі 38Х2МЮА (крива 3). Останнє пояснюється низькою рухливістю азоту в нітридах легуючих елементів, які блокують дифузію в твердому розчині [3]. Однак глибина та інтенсивність зростання нітридної зони h_N , навпаки, збільшуються при збільшенні ступеня легування сталі (крива 3), що пояснюється збільшенням розчинності азоту в залізі при його легуванні нітридоутворюючими елементами, якими є більшість легуючих елементів (за винятком алюмінію і кремнію, які декілька знижують розчинність азоту [3, 11]). Утворені в нітридній зоні нітриди заліза і легуючих елементів затрудняють дифузію азоту углиб металу і перешкоджають розвитку зони внутрішнього азотування.

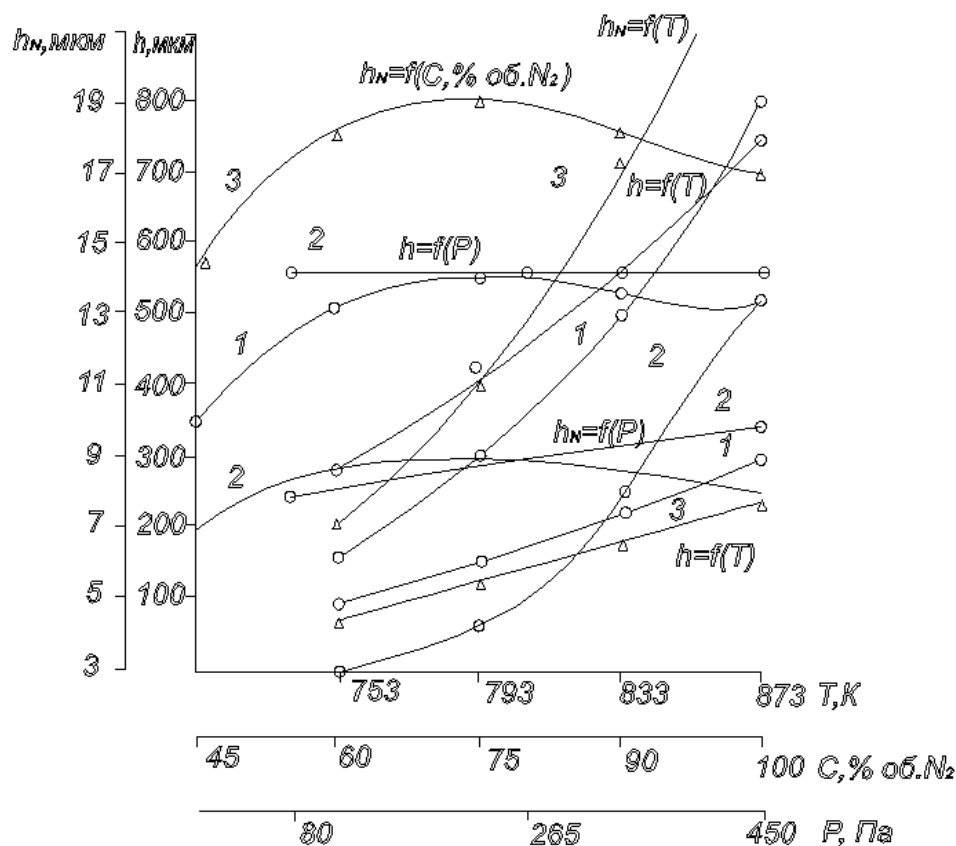


Рис. 3 – Залежність глибини дифузійного шару h і нітридної зони h_N від температури (—), концентрації азоту в насичуючій суміші (---) та її тиску (---) для сталей: 1 – 45Х; 2 – 45; 3 – 38Х2МЮА

З підвищенням концентрації азоту в насичуючій суміші до 75% збільшується товщина нітридної зони h_N , а подальше збільшення концентрації азоту приводить до зниження h_N , що, враховуючи меншу масу іонів азоту порівняно з іонами аргону, можливо? викликано погіршенням очищення поверхні металу [12] (рис. 3, залежності $h_N = f(C\%, N_2)$).

Збільшення тиску насичуючого середовища практично не змінює глибину дифузійного шару h , але декілька збільшує товщину нітридної зони (залежності $h = f(P)$ і $h_N = f(P)$ на рис. 3).

Для кількісного аналізу впливу параметрів іонного азотування на товщину і твердість азотованого шару з використанням методу Бокса-Уілсона проведений повний факторний аналіз. При 5 %-ному рівні значущості одержані наступні рівняння регресії:

$$y_1 = 255,00 + 18,25x_1; \quad (1)$$

$$y_2 = 15,60 + 0,94x_1 + 0,15x_2 + 0,19x_3; \quad (2)$$

$$y_3 = 7,29 - 0,65x_1 + 0,08x_2 + 0,18x_3, \quad (3)$$

де y_1 – загальна товщина дифузійного шару h , мм; y_2 – товщина нітридної зони h_N , мкм; y_3 – мікротвердість поверхні, HV1; x_1 – температура азотування, К; x_2 – вміст азоту в насичуючій суміші, % об. x_3 – тиск насичуючої суміші, Па.

Аналіз одержаних моделей (1)–(3) підтверджує раніше одержані результати і дозволяє по відомих параметрах іонного азотування визначити товщини ні-

тридної та дифузійних зон, а також мікротвердість азотованої поверхні.

При металографічних дослідженнях все більша увага надається вивченню структурного стану поверхневих шарів для аналізу процесів зношування матеріалів на основі фізики міцності та пластичності кристалічних тіл [5]. Тому для сталі 45Х за допомогою рентгеноструктурного аналізу визначені залежності відношення параметрів кристалічних ґраток c/a від концентрації азоту в поверхневому шарі K_N (рис. 4) і зміни параметрів кристалічних ґраток залежно від зміни режимів іонного азотування (рис. 5), що дозволяє кількісно оцінити міцнісні характеристики приповерхневого шару.

Дані рентгеноструктурного аналізу підтверджують результати металографічного аналізу. Однак зменшення співвідношення (c/a) з підвищенням концентрації азоту в газовій суміші (рис. 4), а також відхилення від прямолінійної залежності в області із вмістом 75 % азоту вимагають пояснення. Тому були побудовані залежності зміни параметрів кристалічних ґраток a і c від режимів іонного азотування (рис. 5). Звідси ясно, що із збільшенням концентрації азоту збільшується параметр a з одночасним зменшенням параметра c і при вмісті 75 % азоту швидкості зміни параметрів змінюються обернено пропорційно, що обумовлює постійність зміни співвідношення c/a .

Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що незалежно від складу газової атмосфери (табл. 2) в поверхневому шарі утворюються ε -Fe₂₋₃N, γ '-Fe₄N та α -фази. При цьому фазовий склад і співвідношення фазових структур в азотованому шарі можна регулювати шляхом зміни параметрів азотування (рис. 6 – 8).

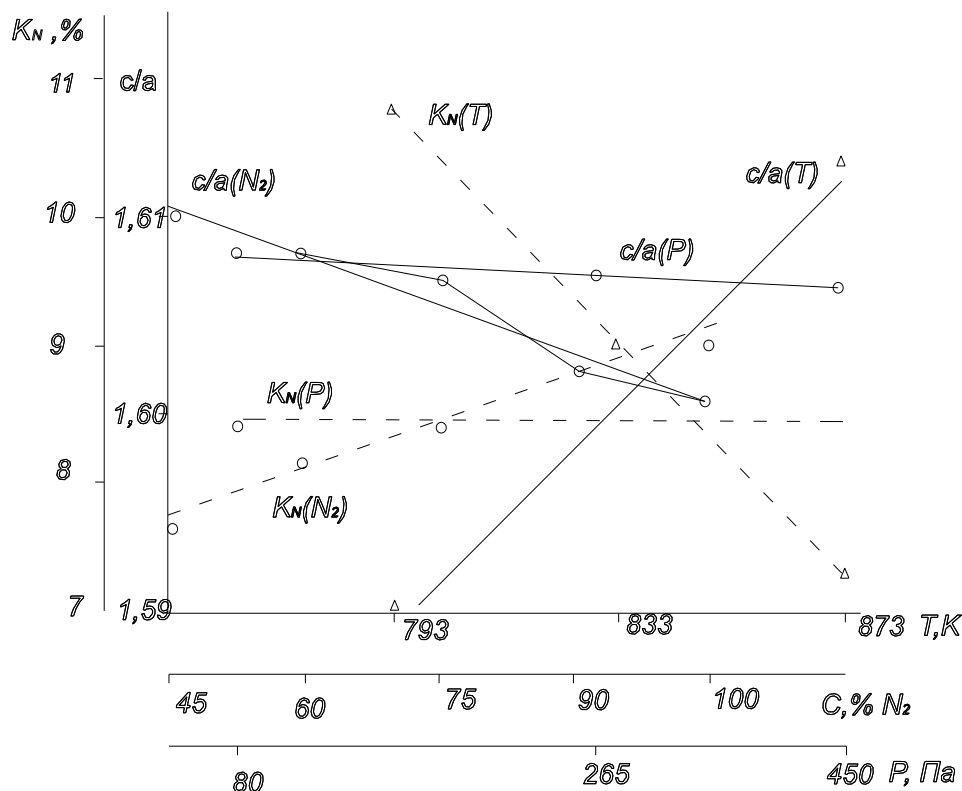
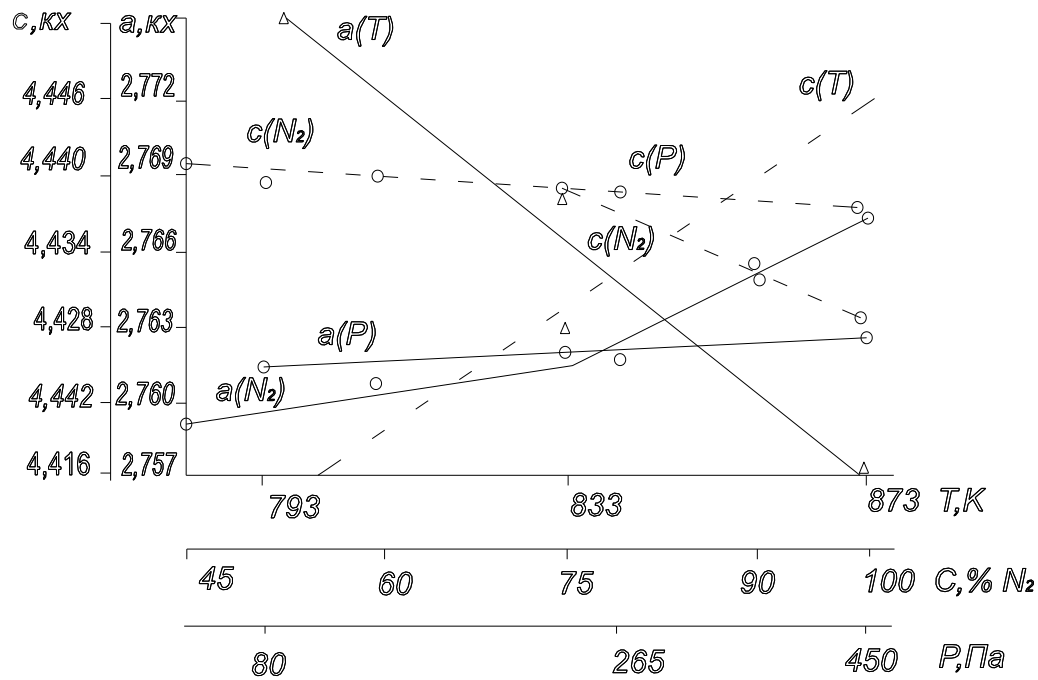
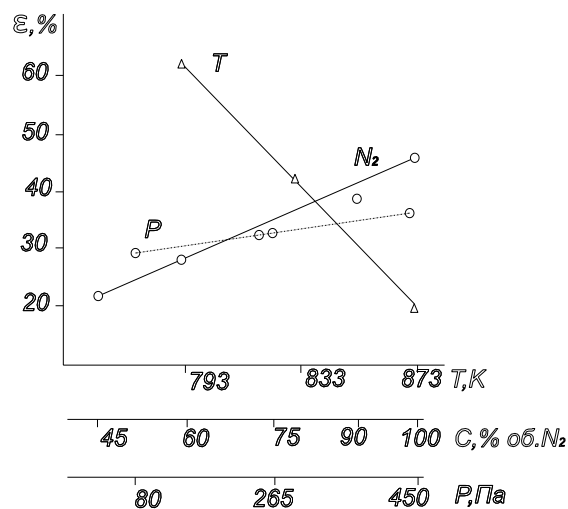
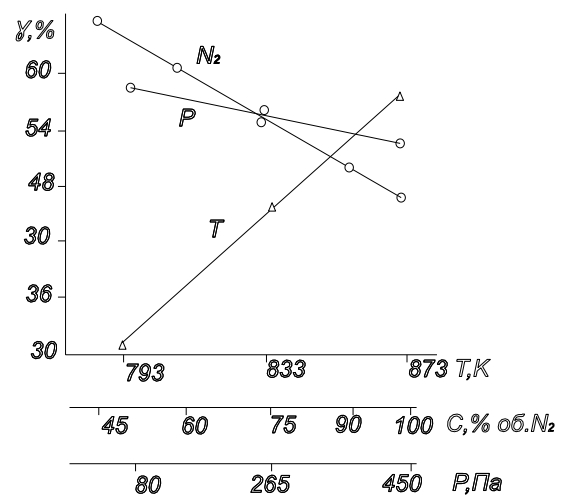


Рис. 4 – Залежність відношення параметрів кристалічних ґраток c/a від концентрації азоту в поверхневому шарі (K_N)

Рис. 5 – Залежність параметрів c і a від режимів азотування (T , C , P)Таблиця 2 – Параметри кристалічних ґраток (a ; c ; c/a); концентрація азоту в поверхневому шарі (K_N) і фазовий склад азотуваних (843 К, 75 % N_2 , 265 Па, 4 год.) сталей

Показники	20	45	45X	38X2МЮА
a , кх	2,775	2,757	2,761	2,764
c , кх	4,443	4,441	4,439	4,436
c/a	1,613	1,611	1,608	1,605
K_N , %	7,3	7,6	8,3	8,7
ε -Fe ₂₋₃ N, %	19	21	31	45
γ '-Fe ₄ N, %	56	62	55	55
α -Fe, %	25	17	14	-

Рис. 6 – Залежність вмісту ε -фази дифузійного шару сталі 45X від режимів іонного азотуванняРис. 7 – Залежність вмісту γ' -фази дифузійного шару сталі 45X від режимів іонного азотування

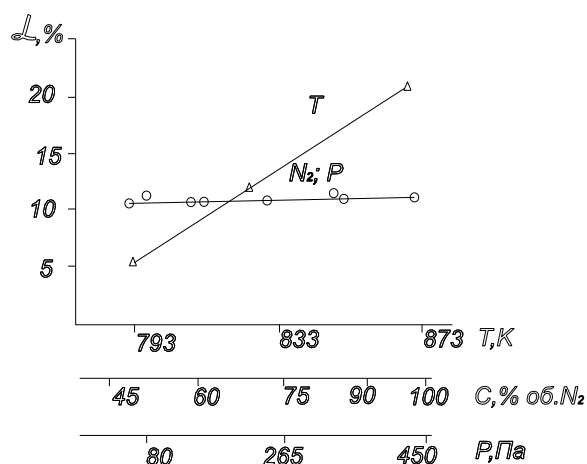


Рис. 8 – Залежність вмісту α -фази дифузійного шару сталі 45Х від режимів іонного азотування

Аналіз одержаних залежностей показує, що найістотніше впливає на кількість утворення тих або інших фаз температура іонного азотування. Так, з її підвищенням зменшується кількість ε -фази у поверхневому шарі (рис. 6) і одночасно збільшується кількість γ' та α -фаз (рис. 7, 8). Із збільшенням азотного потенціалу насичуючої суміші та її тиску збільшується кількість ε -фази і зменшується кількість γ' -фази. При цьому концентрація азоту і тиск суміші не впливає на вміст α -фази (рис. 8), кількість якої контролюється тільки температурою процесу азотування.

Враховуючи різку відмінність фізико-механічних властивостей фазових структурних складових азотованого шару і можливість регулювання їх кількості та співвідношення між ними, з'являються широкі можливості отримання шарів із заданими експлуатаційними властивостями поверхні. Тому наступний етап дослідження – міцність і пластичність іонно-азотованих поверхневих шарів:

– для відкритих пар тертя із зростанням твердості поверхні підвищується їх здатність навантаження і довговічність роботи, тобто в цих випадках необхідний максимальний розвиток нітридної зони;

– для закритих пар тертя необхідно забезпечити: високу пластичність, мінімальну наклепуваність при деформації відповідно до правила позитивного градієнта механічних властивостей [13–15]; теплофізичні властивості, які гарантують теплове розвантаження поверхонь тертя при виникненні температурних спалахів [14, 15].

Позитивний градієнт механічних властивостей при азотування може створюватися за рахунок м'якої зони нітриду Fe_3N , який спирається на тверду зону γ' -фази для вуглецевих сталей і на високоміцну зону внутрішньої азотування високолегованих сталей.

Нітриди заліза володіють більшою теплоємністю порівняно із залізом, що зменшує можливість виникнення температурних спалахів. Спорідненість до кисню нітридів заліза і нітридів легуючих елементів значно вище, ніж заліза [3]. При цьому внаслідок того, що розчинність кисню приблизно на три порядки вища, ніж в матриці, на поверхні нітридів формуються окисні структури першого роду [3], які пластичніше окисних

плівок Fe_2O_3 , й одночасно володіють близькими до останніх антиадгезійними властивостями [16].

Таким чином, азотовані шари, з урахуванням регульованості їх фазового складу, надають широкі можливості досягнення оптимальних характеристик процесу тертя залежно від умов роботи фрикційного контакту. Однак, фізика міцності й пластичності іонно-азотованих шарів при терті вивчена недостатньо.

Найбільший вплив на зносостійкість азотованих шарів, як вже відмічено вище, робить зона внутрішньої азотування, тобто її міцнісні та пластичні характеристики. Зміцнення при формуванні зон внутрішньої азотування, виходячи з уявлень дислокацій – результат гальмування дислокацій виділеннями нітридів заліза і легуючих елементів. Тому на основі моделей Орована і Мотті-Набарро [17] можна розрахувати ступінь зміцнення зон внутрішнього азотування.

Згідно уточнень ряду авторів, варіант формули Орована для напружень течії має вигляд:

$$\Delta\tau = 0,85 \frac{Gb}{2\pi(\lambda - 2r)} 0,5(1 + (1 - \nu)) \ln \frac{\lambda - 2r}{2b}, \quad (4)$$

де $\Delta\tau$ – величина зміцнення; G – модуль зсуву матеріалу матриці; b – вектор Бюргерса; r – радіус частинок; λ – відстань між центрами частинок; ν – коефіцієнт Пуассона матеріалу частинок.

Виходячи з результатів власних досліджень тонкої структури азотованих шарів, а також аналізу літературних даних [3, 18] проведений розрахунок в широких межах зміни діаметру нітридних частинок (5–1000) нм і відстані між їх центрами (5–2000) нм з використанням значень початкових даних з [18].

Одержані дані (рис. 9) свідчать, що із збільшенням розміру дисперсних фаз і відстані між виділеннями опір зон внутрішньої азотування пластичній деформації зсуву зменшується.

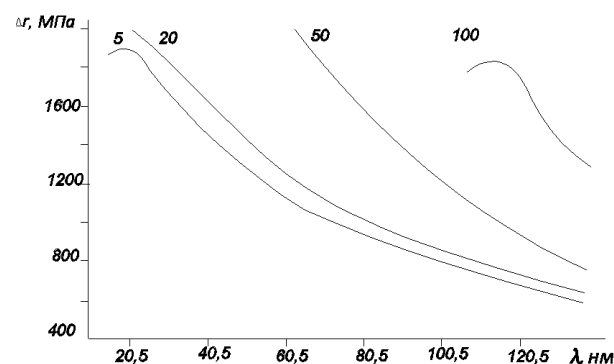


Рис. 9 – Залежність ступеня зміцнення зони внутрішньої азотування заліза $\Delta\tau$ по Ораву (λ – відстань між центрами частинок, цифри на кривих – діаметр частинок, нм)

Мотт і Набарро порівнюють напруження течії із середнім арифметичним величин внутрішнього напруження:

$$\tau = 2G\varepsilon f_v, \quad (5)$$

де G – модуль зсуву матеріалу матриці; $\varepsilon = \frac{3K\delta}{\delta K + 4G}$, де K – об'ємний модуль матеріалу частинки; $K = E/(3(1-\nu))$, де E – модуль Юнга матеріалу частинки; ν – коефіцієнт Пуассона матеріалу частинки; δ – параметр невідповідності кристалічних ґраток матриці ($\delta = c/a$); $f_v = (0,81 d/\lambda)^3$ – об'ємна доля частинок, що виділяються; λ – відстань між центрами частинок; d – діаметр частинок.

З урахуванням вищевикладеного, формула визначення критичного напруження зсуву має вигляд:

$$\tau \approx \frac{2EG \cdot c/a}{E + 4G(1-\nu)} f_v, \quad (6)$$

де c/a – ступінь спотворення кристалічних ґраток матриці.

Розрахунок, проведений за формулою (6), показав, що величина зміцнення зони внутрішнього азотування залежить від об'ємної частки нітридів, які виділяються, та їх природи (рис. 10). При цьому зміцнююча дія нітридів легуючих елементів (Ti, Cr, Zr, W, Al та ін.) приблизно однакова (прямі 1, 2 на рис. 10). Зокрема, аналіз зміни модуля пружності матеріалів різних класів при кімнатній температурі [18] і теоретичний розрахунок за рівнянням Мотто-Набарро вказує на ефективність зміцнюючої дії фаз карбідів легуючих елементів типу $(Fe, Me)_n(NC)$ або $(Fe, Me)_n(NCO)$, тобто карбонітридних і карбооксинітридних фаз.

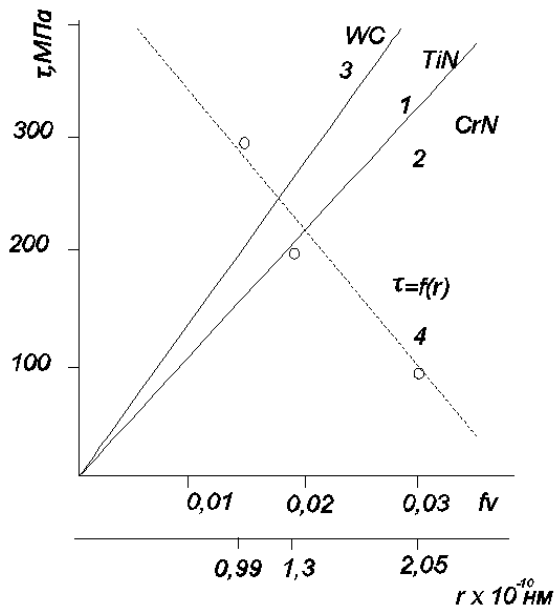


Рис. 10 – Вплив об'ємної частки нітридів f_v (1, 2) і карбідів вольфраму (3), а також радіуса дисперсних нітридних частинок r (4) на величину зміцнення зони внутрішнього азотування залізної матриці (модель Мотто-Набарро)

Представивши формулу Орована (4) в декілька іншому вигляді, одержимо:

$$\tau \approx 0,6 \frac{Gb}{r} \sqrt[3]{f_v}, \quad (7)$$

де b – вектор Бюргерса; r – радіус зміцнюючої частинки; f_v – об'ємна концентрація зміцнюючої фази.

Обговорення результатів дослідження регулювання фізико-механічних властивостей сталей після іонного азотування. Аналіз формули (7) показує, що ефект зміцнення істотно залежить від розміру частинок, що виділяються, і слабше від загального вмісту другої фази. На рис 7 (пряма 4) показана можливість досягнення зміцнення матриці вуглецевих сталей 20 і 45 за рахунок дисперсності нітридних частинок, що виділяються. З графіка видно, що для збільшення ступеня зміцнення по напруженнях зсуву в 3 рази необхідно зменшити дисперсність частинок в 2 рази. Експериментально показано, що при азотування низьколегованих сталей зміцнення може досягати до 300–400 МПа, а із збільшенням ступеня легуваності $\Delta\tau$ зростає (наприклад, для сталі 38Х2МЮА $\Delta\tau = 780$ –800 МПа) [3, 18]. Однак теоретично ступінь зміцнення може досягати величини від 45 до 5000 МПа, що дозволяє різко збільшити міцність дифузійного шару.

Таким чином, проведений розрахунок зміцнення азотованого шару вуглецевих сталей за теорією Мотто-Набарро для когерентних виділень нітридів і за теорією Орована для некогерентних виділень показав, що існуюча технологія іонного азотування не дозволяє досягти теоретично можливого рівня зміцнення дифузійного шару. Однак, розглянуті методики розрахунку зміцнення зон внутрішнього азотування показують шляхи підвищення міцності азотованих матеріалів як за рахунок раціонального легування, так і за рахунок зміни дисперсності нітридних частинок.

Висновки. В результаті проведених досліджень:

1. Вивчена будова й фазовий склад іонно-азотованих шарів, а також рентгеноструктурним аналізом встановлені залежності зміни параметрів кристалічних ґраток і концентрації азоту залежно від параметрів іонного азотування.
2. Проведений розрахунок зміцнення азотованих шарів на вуглецевих і легуваних сталях для когерентних і некогерентних виділень нітридів, показує значне невикористання можливостей сучасної технології азотування по зміцненню матриці основного матеріалу, міцність якої може досягати 5000 МПа.
3. Одержані залежності значень зміцнення зони внутрішнього азотування від об'ємної долі частинок нітридів легуючих елементів, їх діаметра і відстані між частинками, що дозволяє одержувати дифузійні шари з максимальними міцнісними властивостями за рахунок легування та управління морфологією й геометрією виділення нітридних фаз.

Список літератури:

1. Каплун, В. Г. Ионное азотирование в безводородных средах [Текст]: монография / В. Г. Каплун, П. В. Каплун. – Хмельницький: ХНУ, 2015. – 315 с.
2. Лахтин, Ю. М. Азотирование сталей [Текст] / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М.: Машиностроение, 1976. – 175 с.
3. Лахтин, Ю. М. Структура и прочность азотированных сплавов [Текст] / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
4. Алехин, В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов [Текст] / В. П. Алехин. – М.: Наука, 1983. – 280 с.

5. Рыбакова, Л. М. Структура и износостойкость металла [Текст] / Л. М. Рыбакова, Л. И. Куксенова. – М.: Машиностроение, 1982. – 209 с.
6. Миркин, Л. И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов [Текст]: справочник / Л. И. Миркин. – М.: Машиностроение, 1979. – 134 с.
7. Масабуми, Я. Строение и свойства слоев, полученных при азотировании стали [Текст] / Я. Масабуми // Дэнки сэйко. – 1978. – Т. 49. – С. 35–42.
8. Zaat, J. H. Diffusielayeren vor het verminderen van Stijtage bij glidende wrijving [Text] / J. H. Zaat // Polytechnisch tijdschrift. – 1978. – Vol. 33, Issue 6. – P. 302–310.
9. Погодаев, Л. И. Гидроабразивный и кавитационный износ судового оборудования [Текст] / Л. И. Погодаев, П. А. Шевченко. – Л.: Судостроение, 1984. – 264 с.
10. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов [Текст] / И. И. Новиков. – М.: Metallurgizdat, 1978. – 390 с.
11. Арзамасов, Б. Н. Химико-термическая обработка в активизированных газовых средах [Текст] / Б. Н. Арзамасов. – М.: Машиностроение, 1979. – 224 с.
12. Арзамасов, Б. Н. Ионное азотирование сплавов [Текст] / Б. Н. Арзамасов, А. В. Виноградов, А. В. Величанский // Новые сплавы и методы упрочнения деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 105–117.
13. Гаркунов, Д. Н. Триботехника [Текст] / Д. Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
14. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
15. Hirth, F. W. Zur Kavitation von Kupferlegierungen in Hydraulikflüssigkeiten [Text] / F. W. Hirth, H. Speckhardt // Metall (W.-Berlin). – 1985. – Vol. 29, Issue 11. – P. 1106–1110.
16. Физико-химические свойства окислов [Текст]: справочник / под ред. Г. В. Самсонова. – М.: Металлургия, 1969. – 389 с.
17. Келли, А. Дисперсионное твердение [Текст] / А. Келли, Р. Никлсон. – М.: Металлургия, 1966. – 300 с.
18. Гольдштейн, М. И. Дисперсионное упрочнение конструкционных сталей [Текст] / М. И. Гольдштейн // Митом. – 1975. – № 11. – С. 50–56.
19. безводородных середях. Khmel'nic'kiy: HNU, 315.
20. Lahlin, Yu. M., Kogan, Ya. D. (1976). Azotirovanie staley. Moscow: Mashinostroenie, 175.
21. Lahlin, Yu. M., Kogan, Ya. D. (1982). Struktura i prochnost' azotirovannykh splavov. Moscow: Metallurgiya, 176.
22. Alekhin, V. P. (1983). Fizika prochnosti i plastichnosti poverkhnostnykh sloev materialov. Moscow: Nauka, 280.
23. Rybakova, L. M., Kuksenova, L. I. (1982). Struktura i iznosostoykost' metalla. Moscow: Mashinostroenie, 209.
24. Mirkin, L. I. (1979). Rentgenostrukturnyy kontrol' mashinostroitel'nykh materialov. Moscow: Mashinostroenie, 134.
25. Masabumi, Ya. (1978). Stroenie i svoystva sloev, poluchennykh pri azotirovanii stali. Dehnki sehyko, 49, 35–42.
26. Zaat, J. H. (1978). Diffusielayeren vor het verminderen van Stijtage bij glidende wrijving. Polytechnisch tijdschrift, 33 (6), 302–310.
27. Pogodaev, L. I., Shevchenko, P. A. (1984). Gidroabrazivnyy i kavitacionnyy iznos sudovogo oborudovaniya. Leningrad: Sudostroenie, 264.
28. Novikov, I. I. (1978). Teoriya termicheskoy obrabotki metallov. Moscow: Metallurgizdat, 390.
29. Arzamasov, B. N. (1979). Himiko-termicheskaya obrabotka v aktivizirovannykh gazovykh sredakh. Moscow: Mashinostroenie, 224.
30. Arzamasov, B. N., Vinogradov, A. V., Velishchanskiy, A. V. (1981). Ionnoe azotirovanie splavov. Novye splavy i metody uprochneniya detaley mashin. Moscow: Mashinostroenie, 105–117.
31. Garkunov, D. N. (1985). Tribotekhnika. Moscow: Mashinostroenie, 424.
32. Kragel'skiy, I. V., Dobychin, M. N., Komalov, V. S. (1977). Osnovy raschetov na trenie i iznos. Moscow: Mashinostroenie, 526.
33. Hirth, F. W., Speckhardt, H. (1985). Zur Kavitation von Kupferlegierungen in Hydraulikflüssigkeiten. Metall (W.-Berlin), 29 (11), 1106–1110.
34. Samsonov, G. V. (Ed.) (1969). Fiziko-himicheskie svoystva okslov. Moscow: Metallurgiya, 389.
35. Kelli, A., R. Niklson (1966). Dispersionnoe tverdenie. Moscow: Metallurgiya, 300.
36. Gol'dshteyn, M. I. (1975). Dispersionnoe uprochnenie konstruktsionnykh staley. MitOM, 11, 50–56.

Bibliography (transliterated):

1. Kaplun, V. G., Kaplun, P. V. (2015). Ionnoe azotirovanie v

Надійшла (received) 26.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Іонне-азотування: регулювання фізико-механічних властивостей/ О. Ю. Рудик/ Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.22–29. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Ионное-азотирование: регулирование физико-механических свойств/ А. Е. Рудык/ Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.22–29. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Ion-nitriding: regulation of physical and mechanical properties/ A. Rudyk/ Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.22–29. – Bibliogr.:18. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Рудик Олександр Юхимович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра зносостійкості та надійності машин, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016, e-mail: arudyk@rambler.ru.

Рудык Александр Ефимович – кандидат технических наук, доцент, кафедра износостойкости и надежности машин, Хмельницкий национальный университет, ул. Институтская, 11, г. Хмельницкий, Украина, 29016, e-mail: arudyk@rambler.ru.

Rudyk Alexandre – candidate of technical sciences, Khmel'nitskii National University, e-mail: arudyk@rambler.ru.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 519.7:616.8

О. К. БІЛОШИЦЬКА, Т. А. КЛИМЕНКО**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕПІЛЕПТИЧНИХ ЕЕГ-СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ**

Горизонт прогнозування поведінки нелінійних динамічних систем досить незначний. Доведено, що епілептичні напади характеризуються збільшенням хаотичної складової, отже завчасне виявлення тенденцій до такого збільшення дозволяє прогнозувати розвиток патологій та погіршення стану людини. В даній роботі розглядаються методи нелінійної динаміки, які дозволяють точно охарактеризувати періоди діяльності мозку при епілепсії. Для аналізу ЕЕГ-сигналів використовувалися показник Херста та фрактальна розмірність. Результати отриманих досліджень можуть бути використані в подальшому для побудови моделі прогнозування нападів епілепсії за допомогою ЕЕГ.

Ключові слова: нелінійна динаміка, ЕЕГ, R/S-аналіз, показник Херста, фрактальна розмірність.

Горизонт прогнозирования поведения нелинейных динамических систем достаточно незначительный. Доказано, что эпилептические приступы характеризуются увеличением хаотичной составляющей, следовательно, своевременное выявление тенденций к такому увеличению позволяет прогнозировать развитие патологии и ухудшение состояния человека. В данной работе рассматриваются методы нелинейной динамики, которые позволяют точно охарактеризовать периоды деятельности мозга при эпилепсии. Для анализа ЭЭГ-сигналов использовались показатель Херста и фрактальная размерность. Результаты полученных исследований могут быть использованы в дальнейшем для построения модели прогнозирования приступов эпилепсии с помощью ЭЭГ.

Ключевые слова: нелинейная динамика, ЭЭГ, R/S анализ, показатель Херста, фрактальная размерность.

Biological systems are complicated structures and reveal the specific features that refer to the chaotic behavior. Being the quantity reflection of brain activity, EEG contains components that refer to neither periodic signal nor to the artifacts. The evidence of such chaotic features significantly increase during the epileptic seizures that are not predictable and rather dangerous for patients. The horizon of prognosis for nonlinear dynamical systems is limited and this fact evokes the need for complicated approach for solving the task of timely detection of pathological activity in brain. In our work we used two methods of nonlinear dynamic: Hurst exponent and fractal analysis in order to define whether they can be used to distinguish stages of epileptical activity. Hurst exponent estimates the tendency of further behavior and fractal dimension reflects the system complexity. Both this parameters highly correlate with the chaotic behavior. The results demonstrate significant difference for periods of EEG with epilepsy and this parameters can be used for further enhancement of EEG analysis.

Keywords: nonlinear dynamics, EEG, RS analysis, Hurst exponent, fractal dimension.

Вступ. Складність, а також різноманітність форм і проявів епілепсії викликає великий науковий інтерес і необхідність в комплексному підході до її дослідження. Одним із важливих етапів цього дослідження є виділення паттернів різних періодів перебігу хвороби. Для їх якісного вивчення та порівняння необхідно з високою точністю виділяти ці періоди. Виявлення епілептичної активності в сигналах ЕЕГ шляхом візуального сканування записів є виснажливим і трудомістким процесом. Крім того, для цього завдання необхідно залучати кваліфікованого фахівця. Комп'ютерний метод детекції різних періодів епілептичної активності в сигналах ЕЕГ поліпшував би діагностику епілепсії і дозволив би швидко отримувати правильно відсортовані дані для подальших досліджень.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. ЕЕГ є одним з найбільш інформативних показників локальних і загальних фізіологічних та патологічних змін функціонального стану мозку людини, наприклад, таких як епілепсія [1]. Епілепсія – розлад центральної нервової системи, що характеризується періодичним і раптовим збільшенням електричної активності кори головного мозку [2]. Сигнали ЕЕГ, записані безпосередньо перед і під час приступу, містять паттерни, які відрізняються від ділянок ЕЕГ здорової людини.

Періоди між приступами характеризуються випадковими перехідними хвилями (ізолювані гострі

піки, круті хвилі, комплекси пік-хвиля). Динаміка періоду, що передуює нападу, досить складна. Кількість задіяних нейронів у цей час варіюється від десятків до тисяч [3]. Навіть для одного і того ж пацієнта тривалість переходу від спокою до нападу і області кори мозку, що при цьому задіяні, не є постійними. Період нападу являє собою тривалі ділянки поліморфних форм різної амплітуди і частоти, комплексів піків і гострих хвиль, ритмічної гіперсинхронності або електроенцефальної неактивності, які спостерігаються протягом часу, що перевищує середню тривалість цих аномалій в період між нападами [2].

Амплітуда піків не завжди однозначно визначає епілептичний напад. Тим не менш, ці піки не важко відрізнити від артефактів: вони мають помітну загострену форму та ритмічний характер [4]. Слід також зазначити, що у більшості випадків патологічні паттерни ЕЕГ не заміняють в повному обсязі нормальну активність: вони з'являються тільки періодично, в деяких областях голови, або проявляються на загальному фоні [2].

Завдання, пов'язані з автоматичним аналізом ЕЕГ епілептиків, можна розділити на три основні групи: визначення нападу, прогноз нападу і визначення місця локалізації нападу. Для всіх цих завдань базовим є вибір параметрів, що відображають відмінності в системі.

© О. К. Білошицька, Т. А. Клименко. 2017

Ціль та задачі дослідження. Теорія нелінійної динаміки ґрунтується на концепції хаосу і широко використовується в багатьох сферах, включаючи медицину і біологію. Традиційні методи аналізу сигналів, наприклад, оцінка спектру, припускають що сигнали стаціонарні, але на практиці це не так, оскільки такі основні параметри як амплітуда і частота сигналу є змінними характеристиками [4]. Нестационарні явища представлені в ЕЕГ зазвичай у вигляді перехідних процесів, таких як різкі хвилі, піки або піко-хвильові періоди, які особливо характерні для епілепсії [2].

Таким чином, в структурі ЕЕГ крім регулярних складових у вигляді відомих ритмів, можна виявити хаотичну складову, яка не є шумом, а відображає нелінійну динаміку функціонального стану мозкових структур, тобто детермінований хаос [5].

Виділення параметрів, які тим чи іншим чином характеризують певний період ЕЕГ – процес, що формує базу для будь-якої подальшої комп'ютерної обробки сигналу. Доведено, що сигнали електричної активності мозку, окрім періодичних складових, можуть описуватися й параметрами детермінованого хаосу. Епілептичні напади характеризуються ще більшою вираженістю таких процесів. Епілепсія – не єдина патологія, що проявляється збільшенням амплітуди піків та їх загостренням на ЕЕГ, інколи напади можуть бути непомітними і не мати фізичних рухових проявів чи не супроводжуватися різким порушенням нормального сигналу. Таким чином, відстежувати лінійні параметри системи не є досить надійним у випадку класифікації таких сигналів. Досвід зарубіжних вчених продемонстрував, що модель, побудована на параметрах нелінійної динаміки, показує точність класифікації близько 95 % [6].

Детермінований хаос відіграє важливу роль як ефективний інструмент для характеристики сигналів. Хоч і сигнали ЕЕГ вважаються хаотичними, існують закономірності, які самі по собі не стосуються змінних параметрів і можуть бути використані в їх характеристиці [4, 7]. Ряд нелінійних параметрів сьогодні широко використовується для аналізу і опису ЕЕГ-сигналу: максимальний показник Ляпунова, кореляційна розмірність, фрактальна розмірність, показник Херста, ентропія, кількісний аналіз повторень [8].

Матеріали та методи дослідження патологічних сигналів ЕЕГ. Показник Херста використовується для оцінки наявності або відсутності довгострокової залежності і її ступеня в часовому ряді [9]. Він містить мінімум припущень про досліджувану систему і дозволяє ввести класифікацію часових рядів в залежності від власного значення [10, 11].

Значення показника Херста знаходиться в межах від 0 до 1. При значеннях від 0,5 до 1 часовий ряд демонструє трендостійку поведінку, тобто, якщо ряд зростає або убыває, то з ймовірністю тим більшою, чим показник H , він буде зберігати цю тенденцію деякий час у майбутньому. Показник $H=0,5$ вказує на незалежність значень ряду. Діапазон від 0 до 0,5 відповідає антиперсистентним рядам: якщо система демонструє зростання в попередній період, то з

ймовірністю тим більшою, чим менше показник H , в наступному періоді відбудеться спад.

Проведені дослідження [12] продемонстрували зміну показника Херста при різних сигналах ЕЕГ. Показник Херста показує, що нормальна мозкова діяльність людини не корелює в природі, тоді як епілептичні сигнали характеризуються антикореляцією.

Фрактальна розмірність – це потужний інструмент для виявлення перехідних процесів. Він може бути використаний для вимірювання просторової складності біологічних сигналів. Проаналізувавши розмірності ЕЕГ, дослідники прийшли до висновку, що епілептичні напади є станом із зниженою розмірністю в порівнянні з нормальним станом хворих на епілепсію [3].

Вхідна база складається з даних про 22 пацієнтів, яким у ході діагностичного дослідження був встановлений діагноз за міжнародним класифікатором хвороб (МКХ-10) G40 Епілепсія: 14 дітей (до 18 років) та 8 дорослих. База містить наступні дані:

- вік пацієнта
- дата запису ЕЕГ
- діагноз, встановлений лікарем
- дані про сигнали з 16 відведень.

Дані про сигнали з відведень структуровані наступним чином: для кожного пацієнта наявні відокремлені стадії, що характеризують функціональний стан кори головного мозку [13]:

- норма (міжепілептичні періоди, в яких відсутні прояви патологічної активності);
- перед нападом (період, що характеризується появою помітних відхилень від нормального стану);
- напад (наявні характерні прояви патологічної активності мозку);
- після нападу (загасання патологічної активності).

Сигнали дискретизовані з частотою 200 Гц, значення представлені у мкВ.

Результати дослідження динамічних особливостей нормальних та патологічних станів на ЕЕГ. Алгоритм обчислення показника Херста складається головним чином з визначення співвідношення R/S , де R – розмах значень, S – стандартне відхилення значень, параметри розраховуються для різних поділів сигналу.

Даний алгоритм був реалізований за допомогою мови програмування Python з використанням наступних бібліотек: math, NumPy, Pandas, SciPy.

Отримані усереднені значення показника Херста не співпадають з теоретичними відомостями. Причиною такому може бути те, що напади епілепсії, як і більшість патологій головного мозку, локалізовані в певній зоні кори півкуль і таким чином вони не рівномірно проявляються у всіх відведеннях. Усереднюючи показники по відведенням, ми отримуємо середні значення, що в цілому відображають стан системи (показник Херста майже у всіх випадках знаходиться в інтервалі від 0.35 до 0.5), проте не дають відомостей про різницю між періодами. З урахуванням цього подальші порівняння ми проводили окремо для кожного сигналу, не усереднюючи значення по відведенням (рис. 1).

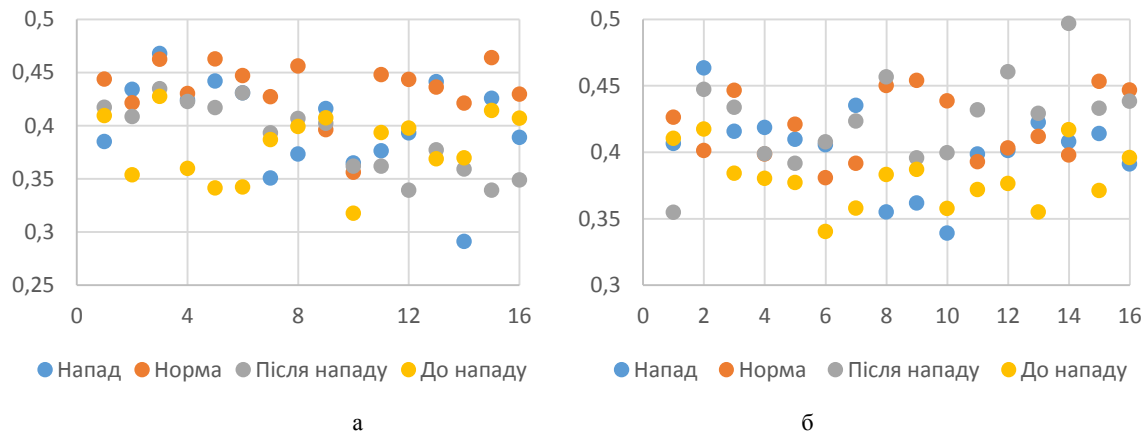


Рис. 1 – Залежність значення показника Херста від відведення по різних періодам: а – дитина, б – дорослий

На графіках можемо бачити, що найнижчі значення показника Херста, як правило, відповідають періодам нападу та перед нападом. Значення норми та після нападу є більшими.

Для розрахунку фрактальної розмірності використовуємо метод Box Counting. Визначаємо довжину сторони площі, в межах якої знаходиться аттрактор $L = x_{max} - x_{min}$, де x_{max} та x_{min} – відповідно максимальне та мінімальне значення сигналу.

Квадрат зі стороною L , який займає аттрактор системи, починаємо ділити, зменшуючи кожну сторо-

ну відповідно у 2, 4, 8, 16 та 32 рази. Зменшуючи сторону квадрату r , та відповідно збільшуючи кількість квадратів, що тепер покриває площу з аттрактором ми для кожного значення довжини сторони квадрату рахуємо кількість непустих квадратів. Будуємо логарифмічну залежність $\ln(N_i)$ від $\ln(1/r_i)$, де r_i – розмір сторони квадрата, N_i – кількість непустих квадратів при такій довжині

За допомогою написаного алгоритму на мові Python була оброблена база даних ЕЕГ і отримано відповідні результати (рис. 2).

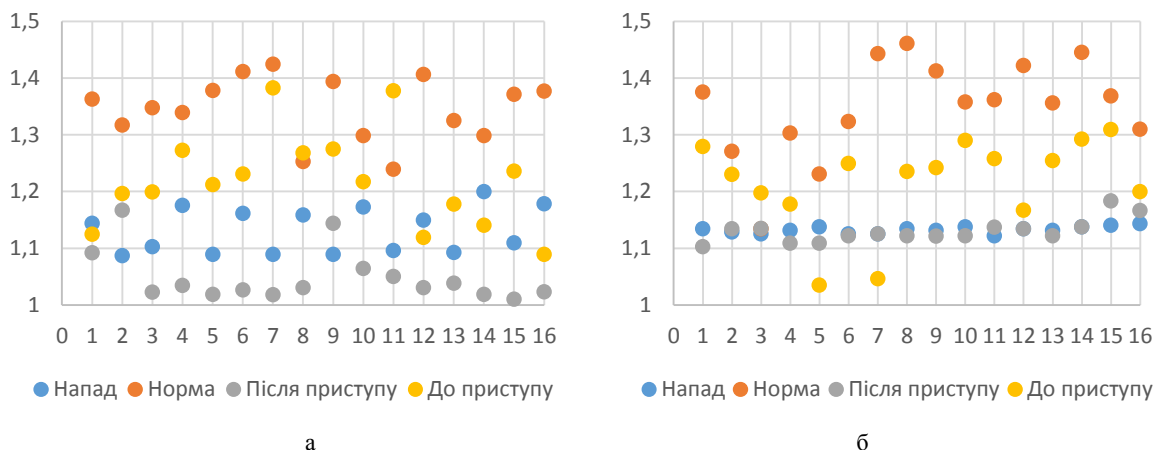


Рис. 2 – Залежність значення фрактальної розмірності від відведення по різних періодам: а – дитина, б – дорослий

На графіках можемо бачити, що періоду норми відповідають найбільші значення фрактальної розмірності, значення для нападу знаходяться значно нижче. Значення до нападу помітно коливаються на обох графіках, досягаючи майже однакового із нормою рівня у випадку для дитини.

Обговорення результатів дослідження нелінійних показників функціонування нейронної мережі головного мозку. Алгоритми розрахунку параметрів були запрограмовані із використанням мови та бібліотек Python 2.7. Отримані в ході обробки данні зберігаються у новій базі та можуть бути використані для подальших досліджень. Аналізуючи отриманні результати, бачимо, що вони відповідають теоретичним відомостям та відображають особливості функціонування системи головного мозку при такій патології як епілепсія. Також можна стверджувати,

що при аналізі певних параметрів слід уникати усереднень значень по відведенням через нерівномірність проявів патологічної активності в усіх відділах головного мозку.

Обчислені значення фрактальної розмірності різняться для кожного періоду, що підтверджується однією з теорій синергетики – чим простіший сигнал, тим більші значення фрактальної розмірності.

Висновки. В результаті дослідження було обрано параметри нелінійної динаміки, які дозволяють точно охарактеризувати періоди діяльності мозку при епілепсії. За допомогою запрограмованих алгоритмів обчислення отримано базу з даними про нелінійні параметри ЕЕГ та в ході аналізу результатів виявлено деякі закономірності для подальшого використання цієї інформації для побудови моделі класифікації

періодів сигналу ЕЕГ. Отриману базу можна доповнювати результатами підрахунку ще деякими параметрами нелінійної динаміки.

Таким чином, аналізуючи електроенцефалограму методами нелінійної динаміки, ми можемо говорити про системні процеси, які відбуваються в головному мозку, та прогнозувати своєчасне виявлення епілептичних нападів.

Список літератури:

1. Душенин, Д. Ю. Численное моделирование нелинейной динамики ЭЭГ на основе мезоскопической модели мозговых нейронов [Электронный ресурс] / Д. Ю. Душенин // Технологический институт Южного федерального университета в г. Таганроге. – 2013. – 11 с. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/38680213-Chislennoe-modelirovanie-nelineynoy-dinamiki-eeg-na-osnove-mezoskopicheskoy-modeli-mozgovykh-neyronov-d-yu-dushenin.html>
2. Epilepsy – Histological, Electroencephalographic and Psychological Aspects [Text] / Ed: D. Stevanovic. – 2012. – doi: [10.5772/1194](https://doi.org/10.5772/1194)
3. Acharya, U. R., Vinitha Sree, S., Swapna, G., Martis, R. J., Suri, J. S. (2013). Automated EEG analysis of epilepsy: A review [Text] / U. R. Acharya, S. Vinitha Sree, G. Swapna, R. J. Martis, J. S. Suri // Knowledge-Based Systems. – 2013. – № 45. – P. 147–165. doi: [10.1016/j.knsys.2013.02.014](https://doi.org/10.1016/j.knsys.2013.02.014)
4. Sanei, S. EEG Signal Processing [Text] / S. Sanei, J. A. Chambers. – John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 313 p. doi: [10.1002/9780470511923](https://doi.org/10.1002/9780470511923)
5. Койчубеков, Б. К. Особенности нелинейной динамики ээг в различных возрастных группах [Текст] / Б. К. Койчубеков, М. А. Сорокина, В. И. Пашеев // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 4-2. – С. 68–72.
6. Keller, K. Ordinal Patterns, Entropy, and EEG [Text] / K. Keller, A. Unakafov, V. Unakafova // Entropy. – 2014. – № 16 (12). – P. 6212–6239. doi: [10.3390/e16126212](https://doi.org/10.3390/e16126212)
7. Patil, M. Analysis of EEG signal for detection of Epilepsy Seizure [Text] / M. Patil, B. Khadse // IJTCAS. – 2014. – № 14-219. – P. 416–420.
8. 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. – Режим доступу: <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/99891/95089>
9. Natarajan, K. Nonlinear analysis of EEG signals at different mental states [Text] / K. Natarajan, U. R. Acharya, F. Alias, T. Tiboleng, S. K. Puthusserypady // BioMedical Engineering OnLine. – 2004. – № 3 (1). – P. 7. doi: [10.1186/1475-925x-3-7](https://doi.org/10.1186/1475-925x-3-7)
10. Гаязова, Н. Т. Стохастическая оценка скорости патологического тремора человека с помощью показателя Херста [Текст] / Н. Т. Гаязова, Р. Р. Зарипов // Вестник ТГПУ. – 2008. – № 4 (15). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/stokhasticheskaya-otsenka-skorosti-patologicheskogo-tremora-cheloveka-s-pomoschyu-pokazatelya-hersta>
11. Калущ, Ю. Показатель Херста и его скрытые свойства [Текст] / Ю. А. Калущ, В. М. Логинов // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2002. – № 4. – С. 29–37.
12. Nurujjaman, M. Comparative study of nonlinear properties of EEG signals of normal persons and epileptic patients [Text] / M. Nurujjaman, R. Narayanan, A. S. Iyengar // Nonlinear Biomedical Physics. – 2009. – № 3 (1). – P. 6. doi: [10.1186/1753-4631-3-6](https://doi.org/10.1186/1753-4631-3-6)
13. 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. – № 1/2 (49) – С. 65–68. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1887/1782>

Bibliography (transliterated):

1. Dushenin, D. Ju. (2013). Chislennoe modelirovanie nelinejnoj dinamiki jegeg na osnove mezoskopicheskoy modeli mozgovykh nejronov. Tehnologicheskij institut Juzhnogo federal'nogo universitet a v g. Taganroge, 11. Available at: <http://docplayer.ru/38680213-Chislennoe-modelirovanie-nelineynoy-dinamiki-eeg-na-osnove-mezoskopicheskoy-modeli-mozgovykh-neyronov-d-yu-dushenin.html>
2. Stevanovic, D. (Ed.). (2012). Epilepsy - Histological, Electroencephalographic and Psychological Aspects. doi: [10.5772/1194](https://doi.org/10.5772/1194)
3. Acharya, U. R., Vinitha Sree, S., Swapna, G., Martis, R. J., Suri, J. S. (2013). Automated EEG analysis of epilepsy: A review. Knowledge-Based Systems, 45, 147–165. doi: [10.1016/j.knsys.2013.02.014](https://doi.org/10.1016/j.knsys.2013.02.014)
4. Sanei, S., Chambers, J. A. (2007). EEG Signal Processing. John Wiley & Sons Ltd, 313. doi: [10.1002/9780470511923](https://doi.org/10.1002/9780470511923)
5. Koichubekov B. K. Sorokyna, M. A. Pashev V. Y. (2013). Osobennosti nelineinoi dynamiki eeg v razlychnykh vozrastnykh hrupakh. International Journal of Experimental Education, 4-2, 68–72.
6. Keller, K., Unakafov, A., Unakafova, V. (2014). Ordinal Patterns, Entropy, and EEG. Entropy, 16 (12), 6212–6239. doi: [10.3390/e16126212](https://doi.org/10.3390/e16126212)
7. Patil, M., Khadse, B. (2014). Analysis of EEG signal for detection of Epilepsy Seizure. IJTCAS, 14-219, 416–420.
8. Biloshytska, O. K. (2016). Nonlinear Dynamics as Instruments for Prediction of Pathological Changes in the Electroencephalogram. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes, 50 (1222), 79–83. Available at: <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/99891/95089>
9. Natarajan, K., Acharya U. R., Alias, F., Tiboleng, T., Puthusserypady, S. K. (2004). Nonlinear analysis of EEG signals at different mental states. BioMedical Engineering OnLine, 3 (1), 7. doi: [10.1186/1475-925x-3-7](https://doi.org/10.1186/1475-925x-3-7)
10. Haiazova N. T. Stokhasticheskaja otsenka skorosti patolohicheskoho tremora cheloveka s pomoshchiu pokazatelya Khersta / N. T. Haiazova, R. R. Zarypov. // Vestnyk THHPU. – 2012. – #4.
11. Kalush Yu. Pokazatel Khersta y ego skrytye svoystva / Yu. Kalush, V. Lohynov. // Sybyrskiy zhurnal yndustrialnoi matematyky. – 2002. – #4. – S. 29–37.
12. Nurujjaman, M., Narayanan, R., Iyengar, A. S. (2009). Comparative study of nonlinear properties of EEG signals of normal persons and epileptic patients. Nonlinear Biomedical Physics, 3 (1), 6. doi: [10.1186/1753-4631-3-6](https://doi.org/10.1186/1753-4631-3-6)
13. Dolia, V. K., Enhlezi, I. P., Afanasieva, I. A. (2011). Vplyv informatsii noho navantazhennia na parametry osnovnoi diialnosti vodiiv (zbudzhualni protsesy). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (2 (49)), 65–68. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1887/1782>

Надійшла (received) 12.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження показників епілептичних ЕЕГ-сигналів за допомогою методів нелінійної динаміки/ О. К. Білошицька, Т. А. Клименко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.30–34. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Исследование показателей эпилептических ЭЭГ-сигналов с помощью методов нелинейной динамики/ О. К. Белошицкая, Т. А. Клименко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.30–34. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Analysis of the parameters of EEG signals with epileptic activity using nonlinear methods/ O. Biloshytska,

T. Klymenko//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241).– P. 30–34. – Bibliogr.: 13. – 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, асистент кафедри біомедичної інженерії; м. Київ, проспект Перемоги, 37, e-mail: o.biloshytska@kpi.ua.

Клименко Тетяна Андріївна – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Факультет біомедичної інженерії, студентка кафедри біомедичної інженерії; м. Київ, проспект Перемоги, 37, e-mail: tatyana.klimenko.95@gmail.com

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

Клименко Татьяна Андреевна – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Факультет биомедицинской инженерии, студентка кафедры биомедицинской инженерии; г. Киев, проспект Победы, 37; e-mail: tatyana.klimenko.95@gmail.com

Biloshytska Oksana – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Faculty of Biomedical Engineering, assistant of department of Biomedical Engineering; Peremogy ave., 37, Kyiv;

Klymenko Tetiana – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Faculty of Biomedical Engineering, student of department of Biomedical Engineering; Peremogy ave., 37, Kyiv;

УДК 629.7.615.3

Н. С. АЩЕПКОВА

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІЮВАННЯ МАНІПУЛЯТОРА

Пакет прикладних програм *Mathcad* являється потужною середовищем для рішення наукоємких дослідницьких та інженерних задач. К достоїнствам програмного забезпечення слід віднести широкий вибір вбудованих функцій, інструментів, програмних засобів і зрозумілий наочний інтерфейс.

При проектуванні маніпуляторів необхідно проводити математичне моделювання для уточнення і оптимізації конструкційних і динамічних параметрів. Для розробки і налагодження програми на машинно-орієнтованому мові потрібна спеціальна підготовка користувача і додаткові витрати часу. Чисельне моделювання з використанням *Mathcad* дозволяє знизити трудомісткість інженерної роботи.

Ключевые слова: точність позиціонування, кінематична схема, полюс схвату, перетворення координат, траєкторія руху.

Пакет прикладних програм *Mathcad* є потужною середовищем для вирішення наукоємних дослідницьких та інженерних задач. До переваг програмного забезпечення слід віднести широкий вибір вбудованих функцій, інструментів, програмних засобів і зрозумілий наочний інтерфейс.

При проектуванні маніпуляторів необхідно проводити математичне моделювання для уточнення і оптимізації конструкційних і динамічних параметрів. Для розробки і налагодження програми на машинно-орієнтованому мові потрібна спеціальна підготовка користувача і додаткові витрати часу. Чисельне моделювання з використанням *Mathcad* дозволяє знизити трудомісткість інженерної роботи.

Ключові слова: точність позиціонування, кінематична схема, полюс схвату, перетворення координат, траєкторія руху.

The *Mathcad* software package is a powerful environment for solving science-intensive research and engineering tasks. The advantages of software include a wide range of built-in functions, tools, software tools and an intuitive visual interface.

While designing manipulators, it is necessary to perform mathematical modeling to refine and optimize the design and dynamic parameters. To develop and debug a program in a machine-oriented language, special user training and additional time is required. Numerical modeling with the use of *Mathcad* allows to reduce labor intensity of engineering work. In work methods of problems solution of the kinematic analysis of manipulators are considered and the algorithm of the analysis of accuracy of the manipulator by results of mathematical modeling is presented.

The article defines the features of calculating the accuracy of the manipulator positioning when using the *Mathcad* software package. An example of a solution to the problem of analyzing the accuracy of positioning for a six-link manipulator operating in a spherical coordinate system is considered. For this example, the kinematic diagram of the manipulator is presented, the matrices of the coordinate transformation are composed, the coordinates of the grip pole in the reference frame connected with the base are determined, the error of the positioning of the gripper is calculated.

Keywords: accuracy of positioning, kinematic the circuit, pole схвату, transformation of coordinates, trajectory of movement.

Вступ. При розв’язанні завдань кінематичного аналізу робіт за допомогою ЕОМ потрібні програми чисельного рішення трансцендентних та диференціальних рівнянь, коефіцієнти яких є функціями часу. Виникає потреба створити методику математичного моделювання та аналізу точності позиціонування схвату маніпулятора у досить поширеному програмному середовищі *Mathcad* [5, 6].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Маніпулятор виробничого робота можна уявити як відкритий кінематичний ланцюг, тверді ланки якого з’єднані кінематичними парами п’ятого класу [2, 3, 7]. Якщо кінематичний ланцюг не містить внутрішніх замкнутих контурів, то число кінематичних пар n визначає число ступенів рухливості маніпу

© Н. С. Ащепкова. 2017

лятора [1 - 4, 7, 8]. Положення кінематичного ланцюга маніпулятора визначають за допомогою узагальнених координат $q_i(t)$, ($i = 1, 2, \dots, n$) - відносних переміщеннях у кінематичних парах [1-4, 7, 8].

Розв'язання оберненої задачі про положення маніпулятора здійснюється як на етапі проектування, так і на етапі синтезу керуючих впливів [2, 3, 8]. Варто врахувати, що для маніпуляторів з більшим числом ступенів рухливості можливо кілька наборів узагальнених координат, що забезпечують задане положення полюсу схвату. Вибір оптимального рішення проводиться виходячи з додаткових обмежень [9, 10] або критеріїв якості [2-4, 8].

Моделювання динаміки маніпулятора обґрунтовано для синтезу траєкторії, визначення орієнтації і точності позиціонування особливої точки Р – полюса схвату маніпулятора [9, 10].

Математична модель маніпулятора складається методом Лагранжа-Ейлера або Ньютона-Ейлера, з перетворенням координат методом Денавіта-Хартенберга [1 - 4, 8].

Мета дослідження. Мета дослідження – моделювання динаміки та розробка методу аналізу точності позиціонування маніпулятора виробничого роботу у середовищі Mathcad.

Вихідні дані для моделювання руху та аналізу точності позиціонування маніпулятора з використанням Mathcad [5, 6] містять інформацію щодо кінематичної схеми маніпулятора, геометричних розмірів й щільностей ланок маніпулятора, необхідного закону руху схвату маніпулятора, початкового положення ланок, навантаження.

С кожною ланкою маніпулятора зв'яжемо праву декартову систему координат $O_iX_iY_iZ_i$. Початок відліку O_i розташуємо в центрі шарніра, одну координатну вісь направимо по осі шарніра, другу координатну вісь направимо уздовж осі симетрії ланки, третя координатна вісь доповнює систему до правої [3, 4, 7, 8]. Рух маніпулятора визначається зміною в часі узагальнених координат $q_i(t)$, якими є кути повороту - в обертовальних, і переміщення - у поступальних кінематичних парах.

Алгоритм розв'язання задач кінематичного і динамічного аналізу маніпуляторів докладно розглянуто у [2]. Координати особливої точки Р маніпулятора в системі координат зв'язаною з n - ою ланкою $\vec{r}_p^n = (x_p \ y_p \ z_p \ 1)^T$ і в системі координат зв'язаною з основою робота визначимо за формулою:

$$\vec{r}_p^0 = f(q_1(t), q_2(t), \dots, q_k(t)) = A_0^1 \cdot A_1^2 \cdot A_2^3 \cdot \dots \cdot A_{n-1}^n \cdot \vec{r}_p^n = T_n \cdot \vec{r}_p^n, \quad (1)$$

де $T_n = A_0^1 \cdot A_1^2 \cdot A_2^3 \cdot \dots \cdot A_{n-1}^n$ - загальна матриця перетворення координат від n - ої ланки до 0 - ої ланки (основи маніпулятора).

Рівняння (1) – рівняння кінематики, що дозволяє визначати положення об'єкта маніпулювання в просторі, заданому декартовими координатами.

Похибка при позиціонуванні схвату обумовлена збуреннями різних функціональних елементів робота. Точність позиціонування особливої точки Р залежить

від похибок в шарнірах при відносних рухах ланок через наявність зазорів в кінематичних парах; похибок роботи приводів і системи управління.

У загальному випадку похибка позиціонування маніпулятора:

$\Delta\{\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma\}$ – нелінійна функція похибок;

$\Delta i\{\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i, \Delta \alpha_i, \Delta \beta_i, \Delta \gamma_i\}$ - в i -х шарнірах [2, 3], тут $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ - складові похибки позиціонування по осях O_iX_i, O_iY_i, O_iZ_i ; $\Delta \alpha_i, \Delta \beta_i, \Delta \gamma_i$ - кутові складові похибки щодо тих же осей.

Складові лінеаризованої функції Δ має вигляд

$$\Delta x \approx \sum_i \left(\frac{\partial x}{\partial \Delta x_i} \Delta x_i + \frac{\partial x}{\partial \Delta y_i} \Delta y_i + \frac{\partial x}{\partial \Delta z_i} \Delta z_i + \frac{\partial x}{\partial \Delta \alpha_i} \Delta \alpha_i + \frac{\partial x}{\partial \Delta \beta_i} \Delta \beta_i + \frac{\partial x}{\partial \Delta \gamma_i} \Delta \gamma_i \right),$$

$$\Delta y \approx \sum_i \left(\frac{\partial y}{\partial \Delta x_i} \Delta x_i + \frac{\partial y}{\partial \Delta y_i} \Delta y_i + \frac{\partial y}{\partial \Delta z_i} \Delta z_i + \frac{\partial y}{\partial \Delta \alpha_i} \Delta \alpha_i + \frac{\partial y}{\partial \Delta \beta_i} \Delta \beta_i + \frac{\partial y}{\partial \Delta \gamma_i} \Delta \gamma_i \right),$$

$$\Delta z \approx \sum_i \left(\frac{\partial z}{\partial \Delta x_i} \Delta x_i + \frac{\partial z}{\partial \Delta y_i} \Delta y_i + \frac{\partial z}{\partial \Delta z_i} \Delta z_i + \frac{\partial z}{\partial \Delta \alpha_i} \Delta \alpha_i + \frac{\partial z}{\partial \Delta \beta_i} \Delta \beta_i + \frac{\partial z}{\partial \Delta \gamma_i} \Delta \gamma_i \right).$$

Запишемо вираз для похибки в матричній формі:

$$\Delta = \sum_i \Phi_i \cdot \Delta_i, \quad (2)$$

де

$$\Phi_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \Delta x_i} & \dots & \frac{\partial x}{\partial \Delta \gamma_i} \\ \frac{\partial y}{\partial \Delta x_i} & \dots & \frac{\partial y}{\partial \Delta \gamma_i} \\ \vdots & \dots & \vdots \end{bmatrix},$$

являє собою матрицю коефіцієнтів передавальних відносин похибок Δ_i в шарнірах до викликаних ними відповідних складових похибки в точці позиціонування. Ці коефіцієнти залежать від геометричних розмірів, кінематичної схеми маніпулятора і визначаються конфігурацією кінематичного ланцюга в кожній точці позиціонування.

Похибки позиціонування точки Р з використанням співвідношень (1, 2) розрахуємо за формулами:

$$\Delta_{xP} = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_1 \cdot \Delta_{\alpha_i}, \quad \Delta_{yP} = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_2 \cdot \Delta_{\alpha_i},$$

$$\Delta_{zP} = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_3 \cdot \Delta_{\alpha_i},$$

де

$$\left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_1, \quad \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_2, \quad \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_3$$

компоненти вектора $\left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)$; Δ_{α_i} – кутова похибка

в i -му шарнірі. Загальна похибка позиціонування полюса схвату Р становить: $\Delta_P = \sqrt{\Delta_{xP}^2 + \Delta_{yP}^2 + \Delta_{zP}^2}$.

Складемо алгоритм розв'язання задачі аналізу точності позиціонування маніпулятора з використанням пакета прикладних програм *Mathcad*:

1) визначимо матриці перетворення координат методом Денавіта-Хартенберга [2-4, 8] для поступальних кінематичних пар:

$$A_v(\vec{i}, q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \pm q + x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_v(\vec{j}, q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & \pm q + y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_v(\vec{k}, q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & \pm q + z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

для обертовальних кінематичних пар:

$$A_w(\vec{i}, q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & \cos q & \pm \sin q & y \\ 0 & \mp \sin q & \cos q & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_w(\vec{j}, q) = \begin{bmatrix} \cos q & 0 & \pm \sin q & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ \mp \sin q & 0 & \cos q & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_w(\vec{k}, q) = \begin{bmatrix} \cos q & \pm \sin q & 0 & x \\ \mp \sin q & \cos q & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

2) на підставі кінематичної схеми маніпулятора представимо переміщення полюсу схвату, як послідовність рухів по кожній узагальненій координаті. Складемо ланцюжок переміщень від 0 - ої ланки (основи маніпулятора) до n - ої ланки, відносно якої особлива особлива точка P нерухова. Наприклад:

$$0 \xrightarrow{A_w(\vec{k}, q_1)} 1 \xrightarrow{A_v(\vec{k}, q_2)} 2 \xrightarrow{A_v(\vec{j}, q_3)} 3 \dots n-1 \xrightarrow{A_v(\vec{i}, q_n)} n. (3)$$

3) визначимо положення точки P маніпулятора в системі координат зв'язаної з n - ою ланкою $\vec{r}_p^n = (x_p \ y_p \ z_p \ 1)^T$ й у системі координат зв'язаної з основою робота

$$\begin{aligned} \vec{r}_p^0 &= f(q_1(t), q_2(t), \dots, q_k(t)) = \\ &= A_0^1 \cdot A_1^2 \cdot A_2^3 \cdot \dots \cdot A_{n-1}^n \cdot \vec{r}_p^n = T_n \cdot \vec{r}_p^n, \end{aligned}$$

де $T_n = A_0^1 \cdot A_1^2 \cdot A_2^3 \cdot \dots \cdot A_{n-1}^n$ - загальна матриця перетворення координат від n - ої ланки до 0 - ої ланки (основи маніпулятора). Для розглянутого прикладу згідно (3) отримаємо:

$$A_0^1 = A_w(\vec{k}, q_1), \quad A_1^2 = A_v(\vec{k}, q_2),$$

$$A_2^3 = A_v(\vec{j}, q_3), \quad \dots, \quad A_{n-1}^n = A_v(\vec{i}, q_n).$$

4) Складові похибки позиціонування визначимо за формулами:

$$\Delta_{xP} = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_1 \cdot \Delta_{\alpha i},$$

$$\Delta_{yP} = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_2 \cdot \Delta_{\alpha i},$$

$$\Delta_{zP} = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_3 \cdot \Delta_{\alpha i},$$

де $\left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_1, \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_2, \left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)_3$ -

компоненти вектора $\left(\frac{\partial T_6}{\partial \alpha_i} \cdot r_p^6 \right)$; $\Delta_{\alpha i}$ - кутова похибка

в i - му шарнірі. Загальна похибка позиціонування полюса схвату P становить: $\Delta_P = \sqrt{\Delta_{xP}^2 + \Delta_{yP}^2 + \Delta_{zP}^2}$.

Приклад. Запропонований метод розглянемо на прикладі 6 - ланкового робота, який працює у сферичній системі координат. Маніпулятор промислового робота розглядається як розімкнутий просторовий кінематичний ланцюг, який складається з послідовно з'єднаних шести ланок. Ланки маніпулятора з'єднані ротаційними кінематичними парами V-го класу - шарнірами (рис. 1).

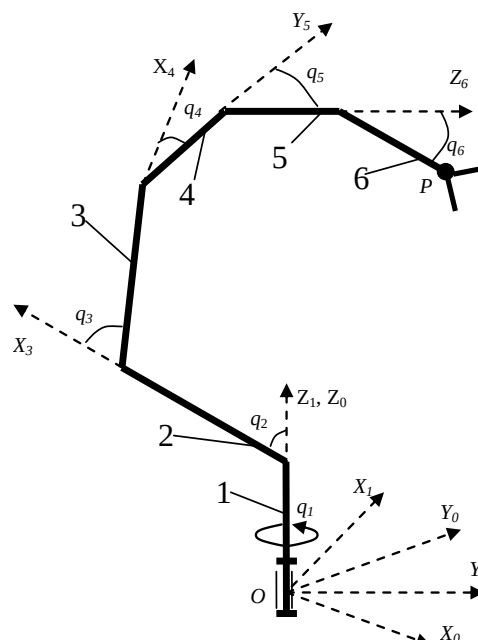


Рис. 1 – Кінематична схема маніпулятора. Системи координат

На рис.1 ланки 1, 2, 3 - стійка, плече і передпліччя відповідно; 4, 5, 6 - елементи кисті маніпулятора. Рухомі з'єднання будь-яких двох ланок забезпечують можливість обертання навколо деякої осі кінематичної пари.

Прийmemo за початкове положення маніпулятора положення, при якому ланка 1 співвісна ланці 2; ланки 3, 4, 5 і 6 співвісні між собою; поздовжні осі ланок 2 і 3 перпендикулярні, а ланки 1 і 6 повернені в шарнірах до упору (рис. 2).

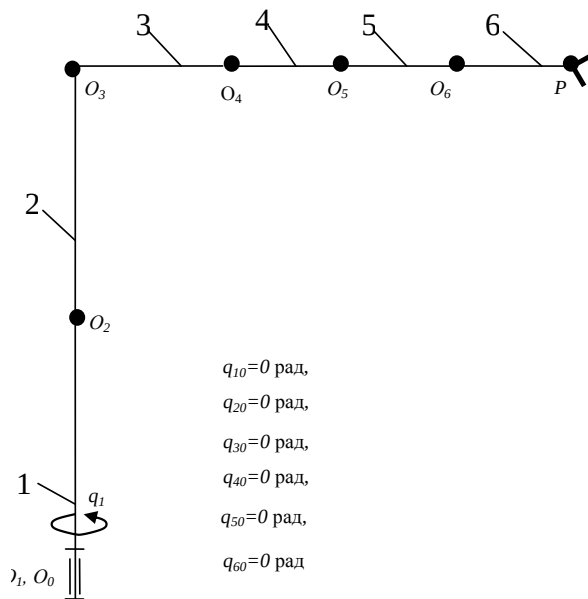


Рис. 2 – Маніпулятор в початковому положенні

Для отримання рівнянь кінематики введемо ортогональні праві системи координат [2]:

- $OXYZ$ - нерухома система координат; початок координат - точка O , площина YOZ збігається з площиною ланок 2 і 3 при початковому положенні маніпулятора;

- $O_iX_iY_iZ_i$ ($i=1, \dots, 6$) – системи координат, зв'язані з ланками маніпулятора. Точки O суміщені з центрами відповідних шарнірів (рис. 2). Вісі O_iZ_i спрямовані уздовж ланок до точок O_{i+1} (для $i=1, 2, \dots, 5$). Вісь O_6Z_6 спрямована від точки O_6 до точки P . Вісі O_iX_i (для $i=2, 3, 4$) і вісь O_5Y_5 спрямовані по осях кінематичних пар (при початковому положенні маніпулятора вісі $O_{i-1}X_{i-1}$ і O_iX_i для $i=2, \dots, 5$ – односпрямовані). Вісь O_6X_6 при початковому положенні маніпулятора паралельна і односпрямованим з віссю OX .

Для визначення точності позиціонування об'єкту маніпулювання відносно нерухливої системи координат $OXYZ$ застосуємо лінійні перетворення координат Денавіта-Хартенберга [2, 4, 8].

Для розглянутого прикладу визначимо матриці перетворень координат:

$$A_0^1(\bar{k}, q_1) = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_1^2(\bar{i}, q_2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 \\ 0 & \sin q_2 & \cos q_2 & L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_2^3(\bar{i}, q_3) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_3 & \sin q_3 & 0 \\ 0 & -\sin q_3 & \cos q_3 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_3^4(\bar{i}, q_4) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_4 & -\sin q_4 & 0 \\ 0 & \sin q_4 & \cos q_4 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_4^5(\bar{j}, q_5) = \begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_5^6(\bar{k}, q_6) = \begin{bmatrix} \cos q_6 & -\sin q_6 & 0 & 0 \\ \sin q_6 & \cos q_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Тоді

$$T_6 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 \\ 0 & \sin q_2 & \cos q_2 & L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$\cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_3 & \sin q_3 & 0 \\ 0 & -\sin q_3 & \cos q_3 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_4 & -\sin q_4 & 0 \\ 0 & \sin q_4 & \cos q_4 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$\cdot \begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_6 & -\sin q_6 & 0 & 0 \\ \sin q_6 & \cos q_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Результати обчислень декартових координати точки P в системі $OXYZ$ з використанням Mathcad наведено на рис. 3.

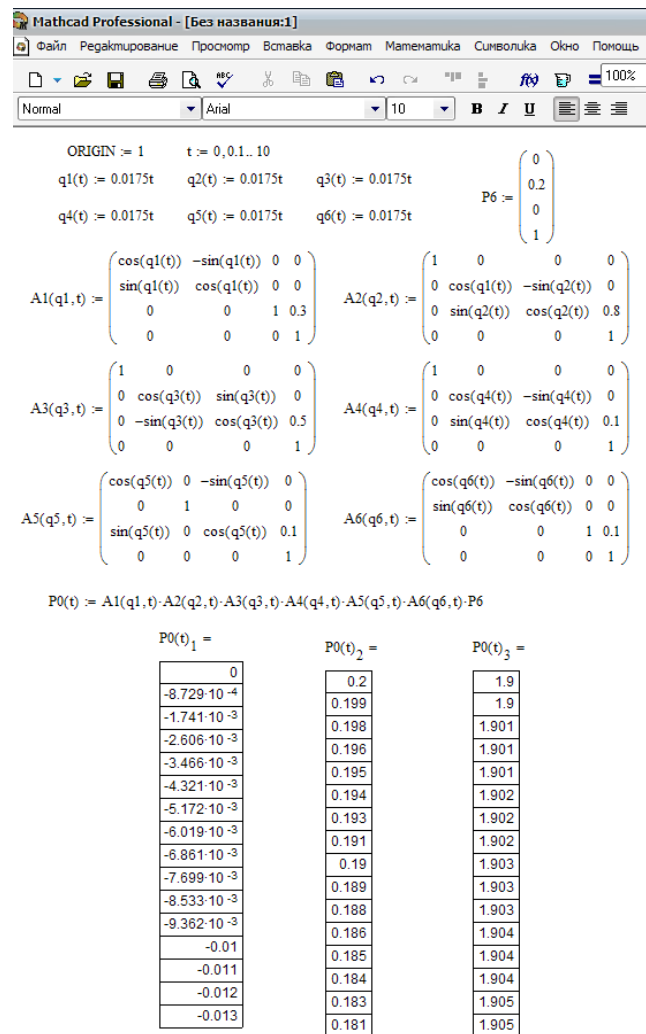


Рис. 3. – Результати обчислень декартових координати точки Р в системі OXYZ з використанням Mathcad

Використовуючи результати моделювання кінематики маніпулятора, оцінимо значення похибки позиціонування Δ_P обумовлені похибками роботи приводів робота. Для маніпулятора кінематична схема якого наведена на рис. 1 переміщення в шарнірах задаються кутовими координатами q_i . Розрахуємо похибку позиціонування точки Р обумовлену неточністю відпрацювання $q_i(t)$ за формулами:

$$\Delta_{xP} = \begin{bmatrix} -\sin q_1 & -\cos q_1 & 0 & 0 \\ \cos q_1 & \sin q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \Delta_{q1} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 \\ 0 & \sin q_2 & \cos q_2 & L_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_3 & \sin q_3 & 0 \\ 0 & -\sin q_3 & \cos q_3 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_4 & -\sin q_4 & 0 \\ 0 & \sin q_4 & \cos q_4 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_6 & -\sin q_6 & 0 & 0 \\ \sin q_6 & \cos q_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot r_P^6 + \dots$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_3 & \sin q_3 & 0 \\ 0 & -\sin q_3 & \cos q_3 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_4 & -\sin q_4 & 0 \\ 0 & \sin q_4 & \cos q_4 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_6 & -\sin q_6 & 0 & 0 \\ \sin q_6 & \cos q_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot r_P^6 + \dots$$

$$\begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_6 & -\sin q_6 & 0 & 0 \\ \sin q_6 & \cos q_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot r_P^6 + \dots$$

$$\begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin q_2 & -\cos q_2 & 0 \\ 0 & \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \Delta_{q2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_3 & \sin q_3 & 0 \\ 0 & -\sin q_3 & \cos q_3 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_4 & -\sin q_4 & 0 \\ 0 & \sin q_4 & \cos q_4 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_6 & -\sin q_6 & 0 & 0 \\ \sin q_6 & \cos q_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot r_P^6 + \dots$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_3 & \sin q_3 & 0 \\ 0 & -\sin q_3 & \cos q_3 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_4 & -\sin q_4 & 0 \\ 0 & \sin q_4 & \cos q_4 & L_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos q_6 & -\sin q_6 & 0 & 0 \\ \sin q_6 & \cos q_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot r_P^6 + \dots$$

Формули громіздкі, користуватися ними не зручно, тому виконаємо ці розрахунки у середовищі *Mathcad* (рис. 4). В розрахунках приймалось $\Delta q_i = 1,05 \cdot 10^{-3}$ м.

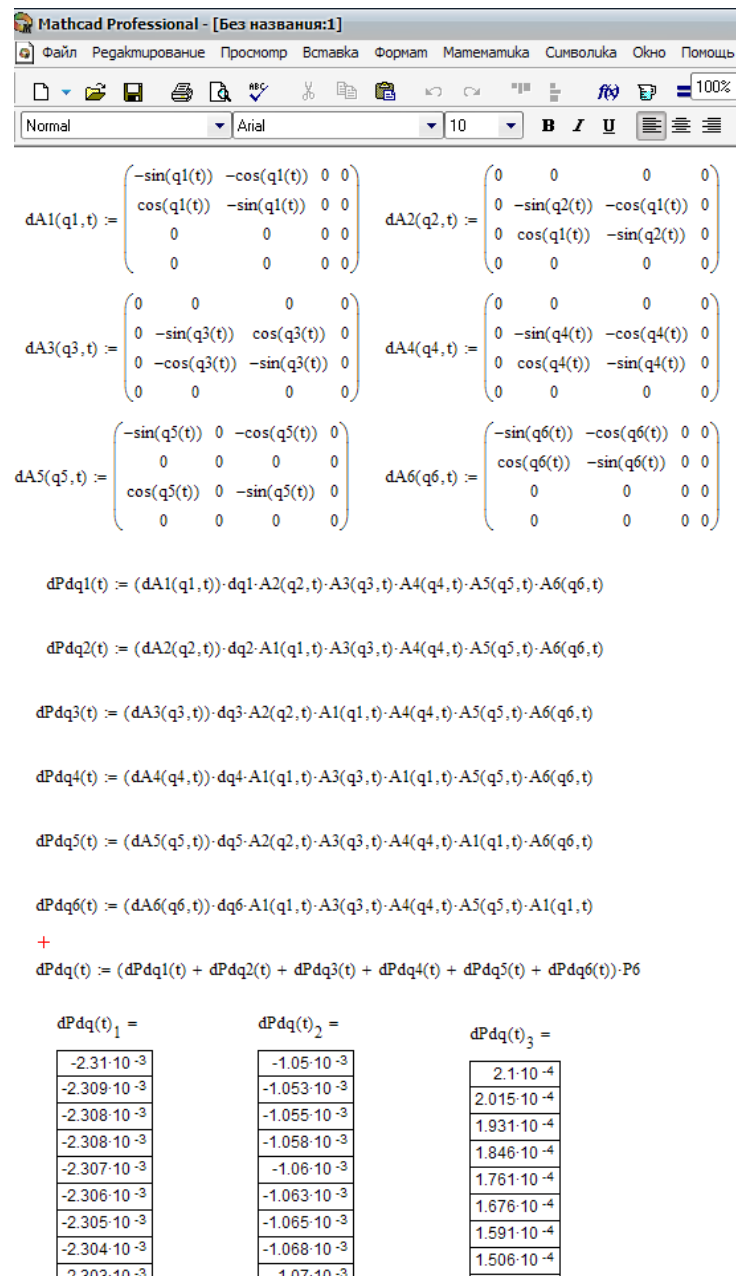


Рис. 4. – Розрахунок похибки позиціонування особливої точки P маніпулятора, яка обумовлена неточністю відпрацювання $q_i(t)$

На рис. 5 наведено графіки залежності похибки позиціонування полюсу схвата від конфігурації маніпулятора, на рис. 5 $\Delta_{xP} = dPd(q, t)_1$, $\Delta_{yP} = dPd(q, t)_2$, $\Delta_{zP} = dPd(q, t)_3$.

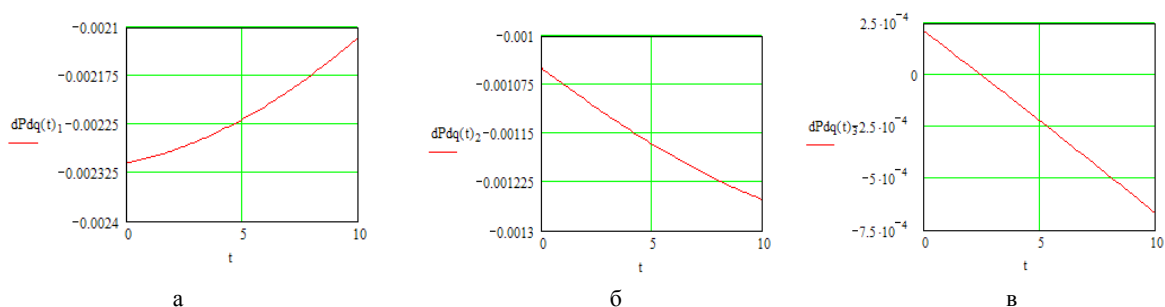


Рис. 5 – Графіки залежності похибки позиціонування полюсу схвата від конфігурації маніпулятора: а – складова похибки. Δ_{xP} ; б – складова похибки. Δ_{yP} ; в – складова похибки. Δ_{zP}

Загальна похибка позиціонування полюса схвату Р становить: $\Delta_P = \sqrt{\Delta_{xP}^2 + \Delta_{yP}^2 + \Delta_{zP}^2}$. На рис. 6 наведено приклад розрахунку загальної похибки позиціонування полюса схвату Р.

За наведеною методикою можна обчислити матрицю коефіцієнтів Φ_i передавальних відносин похибок Δ_i в шарнірах до обумовлених ними відповідних складових загальної похибки позиціонування схвату маніпулятора.

Методом математичного моделювання можна визначити окремий внесок кожного збурення у загальну похибку позиціонування схвату. Результати такого розрахунку наведено на рис. 7. При зміні кута $q_1(t) = 0.0175 \cdot t$, $0 \leq t \leq 30$ с і $q_i = \text{const} = 0^\circ$ ($i = 2 \div 6$) загальна похибка $\Delta_P(t)$ – унімодальна опукла функція з екстремальним значенням $\Delta_P \text{ max} = 2,565 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 7, а); при зміні кута $q_3(t) = 0.0175 \cdot t$, $0 \leq t \leq 30$ с і $q_i = \text{const} = 0^\circ$ ($i = 1, 2, 4 \div 6$) загальна похибка $\Delta_P(t)$ – зростаюча нелінійна функція з найбільшим значенням $\Delta_P \text{ max} = 2,705 \cdot 10^{-3}$ м (рис. 7, б).

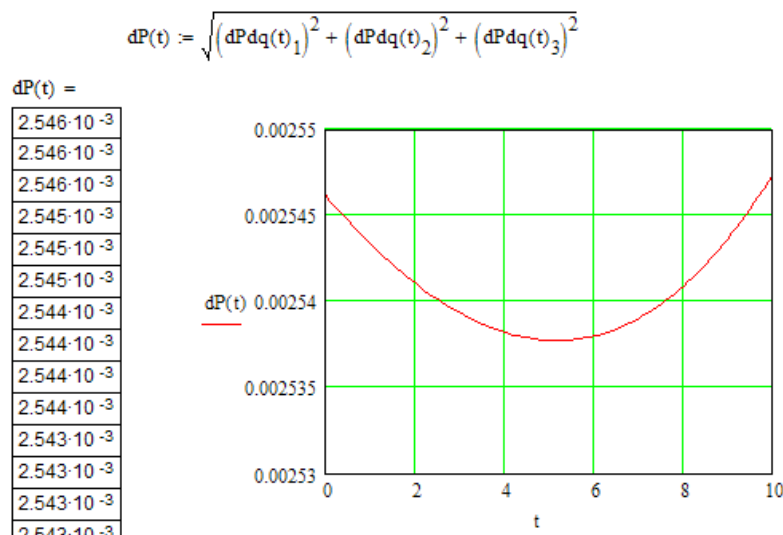


Рис. 6 – Приклад розрахунку загальної похибки позиціонування полюса схвату

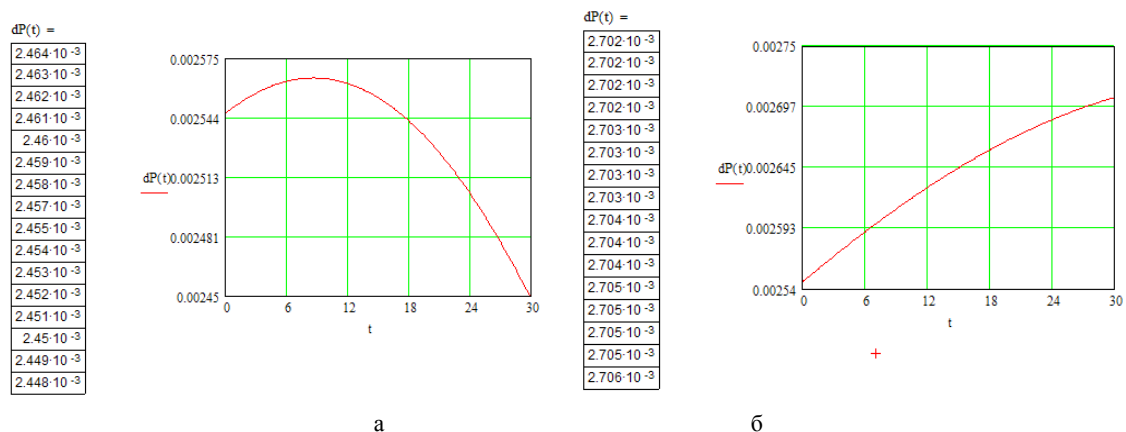


Рис. 7 – Результати математичного моделювання для визначення внеску збурень $q_1(t)$ та $q_3(t)$ у загальну похибку позиціонування схвату

Висновок

На етапі проектування виробничого робота математичне моделювання дозволяє:

- обчислити попередні значення похибки позиціонування полюсу схвату;
- визначити переборні похибки і ліквідувати причини їх виникнення;
- для непереборних похибок підібрати конфігурацію кінематичної схеми маніпулятора, так щоб значення загальної похибки позиціонування

задовольняло умовам точності.

Аналіз графіків загальної похибки дозволяє визначити «критичні» конфігурації кінематичної схеми, граничні значення похибок у приводах та збурення сигналів керування при яких виникають екстремуми функції похибки $\Delta_P(t)$.

У подальшому доопрацюванні виробничого робота математичне моделювання та аналіз загальної похибки $\Delta_P(t)$ дозволяє підвищити точність позиціонування полюсу схвату.

Список літератури:

1. Ащепкова, Н. С. Моделирование и кинематический анализ кривошипно-шатунного механизма [Текст] / Н. С. Ащепкова // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 62. – С. 3–12.
2. Ащепкова, Н. С. Метод кинематического и динамического анализа манипулятора с использованием Mathcad [Текст] / Н. С. Ащепкова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 5, № 7 (77). – С. 54–63. doi: [10.15587/1729-4061.2015.51105](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51105)
3. Воробьев, Е. И. Механика промышленных роботов. Кн. 1. Кинематика и динамика [Текст]: уч. пос. / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелёва; под. ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. – К.: Вища школа, 1988. – 304 с.
4. Бурдаков, С. Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов [Текст] / С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев. – М.: Высшая школа, 1986. – 264 с.
5. Котлярский, Л. Н. MathCad. Решение инженерных и экономических задач [Текст] / Л. Н. Котлярский. – СПб.: Питер, 2005. – 388 с.
6. Кудрявцев, Е. М. Mathcad 2000 Pro [Текст] / Е. М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс, 2001. – С. 530–540.
7. Сокол, Г. І. Теорія механізмів робототехнічних систем. Кінематика [Текст]: навч. пос. / Г. І. Сокол. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2002. – 92 с.
8. Шахинпур, М. Курс робототехники [Текст] / М. Шахинпур. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
9. Промышленная робототехника и гибкие автоматизированные производства [Текст] / под. ред. Е. И. Юревича. – Ленинград: Лениндздат, 1984. – 223 с.
10. Кулешов, В. С. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы [Текст] / В. С. Кулешов, Н. А. Лакота, В. В. Андрюнин и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 328 с.

Bibliography (transliterated):

1. Ashchepkova, N. S. (2014). Modelirovanie i kinematicheskii analiz krivoshipno -shatunnogo mekhanizma. Visnyk NTU "KhPI", 62, 3–12.
2. Ashchepkova, N. S. (2015). Mathcad in the kinematic and dynamic analysis of the manipulator. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (7 (77)), 54–63. doi: [10.15587/1729-4061.2015.51105](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51105)
3. Vorob'ev, E. I., Popov, S. A., Shevelyova, G. I.; Frolov, K. V., Vorob'ev, E. I. (Eds.) (1988). Mekhanika promyshlennykh robotov. Kn. 1. Kinematika i dinamika. Kyiv: Vishcha shkola, 304.
4. Burdakov, S. F., D'yachenko, V. A., Timofeev, A. N. (1986). Proektirovanie manipulyatorov promyshlennykh robotov i robotizirovannykh kompleksov. Moscow: Vysshaya shkola, 264.
5. Kotlyarskiy, L. N. (2005). MathSad. Reshenie inzhenernykh i ehkonomicheskikh zadach. Sankt-Peterburg: Piter, 388.
6. Kudryavcev, E. M. (2001). Mathcad 2000 Pro. Moscow: DMK Press, 530–540.
7. Sokol, H. I. (2002). Teoriya mekhanizmiv robototekhnichnykh system. Kinematyka. Dnipropetrovs'k: RVV DNU, 92.
8. Shahinpur, M. (1990). Kurs robototekhniki. Moscow: Mir, 527.
9. Yurevich, E. I. (Ed.) (1984). Promyshlennaya robototekhnika i gibkie avtomatizirovannye proizvodstva. Leningrad: Leninzdats, 223.
10. Kuleshov, V. S., Lakota, N. A., Andryunin, V. V. et. al. (1986). Distantsionno upravlyaemye roboty i manipulyatory. Moscow: Mashinostroenie, 328.

Надійшла (received) 07.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделирование та аналіз точності позиціонування маніпулятора / Ащепкова Н. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.34–41. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Моделирование и анализ точности манипулятора / Ащепкова Н. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.34–41. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Modeling and analysis of the manipulator accuracy / Aschepkova N. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241). – P.34–41. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ащепкова Наталя Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, Кафедра механотроніки, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; E-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru.

Ащепкова Наталья Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, Кафедра механотроники, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, пр. Гагарина, 72, г. Днепр, Украина, 49010; E-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru

Aschepkova Natalia – PhD, Associate Professor, Department mehanotroniky, Oles Honchar Dnipro National University, ave., Gagarina, 72, Dnipro, Ukraine, 49010; E-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru

В. Б. МАКСИМЕНКО, В. В. ШЛЫКОВ, В. А. ДАНИЛОВА**ОБНАРУЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ВИДЕО ТЕРМОГРАММ**

Представлен метод обнаружения тепловых неоднородностей на видео термограммах сердца, который включает в себя несколько инновационных механизмов. Предлагаемая методика сохраняет набор значений для каждого пикселя термографического изображения, которые определяются из предыдущего кадра видеоизображения. Затем этот набор значений сравнивается с текущим значением пикселя, чтобы определить, относится ли этот пиксель к фону. Поэтому для каждого последующего фрейма термографического изображения периодически происходит обновление фонового изображения, что позволяет системе обнаруживать изменение градиента температур и выделять тепловые неоднородности на поверхности сердца.

Ключевые слова: модель, тепловой поток, распределение температуры, MSC Sinda.

Представлений метод виявлення теплових неоднорідностей на відео термограмах серця, який включає в себе кілька інноваційних механізмів. Запропонована методика зберігає набір значень для кожного пікселя термографічного зображення, які визначаються з попереднього кадру відеозображення. Потім цей набір значень порівнюється з поточним значенням пікселя, щоб визначити, чи відноситься цей піксель до фону. Тому для кожного наступного фрейму термографічного зображення періодично відбувається оновлення фонового зображення, що дозволяє системі виявляти зміну градієнта температур і виділяти теплові неоднорідності на поверхні серця.

Ключові слова: модель, тепловий потік, розподіл температури, MSC Sinda.

The method for detecting thermal inhomogeneities in video of a cardiac thermograms is presented, which includes several innovative mechanisms. The proposed technique stores a set of values for each pixel of the thermal image, which is determined from the previous frame of the video image. This set of values is then compared with the current pixel value to determine if the pixel belongs to the background. Therefore, for each subsequent frame of the thermal image, the background image is periodically updated, which allows the system to detect a change in the temperature gradient and to determine thermal inhomogeneities on the heart surface.

Keywords: model, heat flow, temperature distribution, MSC Sinda.

Введение. Известно, что воспалительные, сосудистые, онкологические и дегенеративные патологические процессы меняют локальное распределение температуры на поверхности тела. Эти изменения тем более выражены, чем ближе к поверхности расположен патологический очаг. Причем, в разных участках тела температура неодинакова и меняется в зависимости от физиологического состояния организма. Обычно локальные изменения температуры опережают визуальные клинические проявления, что очень важно для ранней диагностики и своевременного лечения. При воспалительных процессах определяется зона гипертермии, что соответствует области инфильтрации, которая имеет неоднородную структуру, при этом отмечается разница температур с окружающими тканями 0,7–1 °C при хроническом воспалении, 1–1,5 °C при остром, и более 1,5–2 °C при деструктивном процессе [1, 2].

В экспериментальных и хирургических ситуациях в кардиологии термография позволяет хирургу контролировать температуру в нужной точке эпикарда желудочков и визуализировать, насколько хорошо функционируют трансплантаты. Данные термографии могут помочь определить степень ишемического повреждения миокарда, сердца и кровеносных сосудов во время операции [3]. В условиях искусственного кровообращения на термограммах проявляются эффекты неравномерного распределения температуры в тканях организма человека во время управляемого охлаждения и согревания [4]. Исследование биофизических основ инфракрасной термографии сердца позволяет принять эффективные меры по совершенствованию интраоперационной защиты жизненно важных органов. В этой связи обнаружение и исследование тепловых неоднородностей на термограммах открытого сердца позволит повысить эффективность при-

менения инструментов контроля температуры в условиях искусственного кровообращения.

Модель обнаружения тепловых неоднородностей на видео термограмм. В работе описывается программная модель обнаружения тепловых неоднородностей на видео термограммах сердца, которая содержит схему вычитания исходного фона и удаления статических объектов, температура которых не изменяется. Как правило, общий подход для выделения движущегося объекта из фоновой сцены – вычитание фона изображения. Идея состоит в том, чтобы вычесть текущее изображение, которое содержит объект, из эталонного изображения в течение определенного периода времени. Вычитание фона оставляет только нестационарные или новые объекты в видео-ряде, которые включают всю область теней объектов. Этот метод используется во многих системах предварительной обработки потока видео для обнаружения и отслеживания объектов [5, 6]. Однако многие из этих алгоритмов чувствительны к локальным изменениям освещения и не позволяют использовать их для обнаружения тепловых неоднородностей объектов в инфракрасной области спектра [7, 8]. Для обнаружения тепловых неоднородностей необходимо разработать алгоритм вычитания фона, который позволит справиться с проблемами локального освещения, такими как тени, и глобальными изменениями освещения, а также обнаруживать изменение градиента температур на поверхности сердца. Метод также должен учитывать требования к чувствительности, надежности и скорости обнаружения тепловых неоднородностей, которые важны в условиях искусственного кровообращения в кардиохирургии.

Общий подход для выделения тепловых неоднородностей на термограмме из фоновых кадров инфракрасного изображения – это вычитание фона.

Идея состоит в том, чтобы вычесть текущее изображение из эталонного изображения, которое получается на статическом фоне теплового изображения в течение заданного периода времени.

Для удаления объектов переднего плана применяется модель гауссовой смеси (GMM). При сохранении набора значений для каждого пикселя термографического изображения, которые определяются из предыдущего кадра видеоизображения, применяется метод цветового вероятностного фона (CBM), который содержит программный алгоритм на основе кратковременной цветовой фоновой модели (STCBM) и долгосрочной цветовой фоновой модели (LTCBM). В методе CBM динамическая граница в цветовом пространстве RGB позволяет различать значения пикселей, которые соответствуют исходному цвету фона и нескольким его оттенкам – подсветка и передний план на изображении. Кроме того, метод CBM может использоваться для определения пороговых значений пикселей термографического изображения. Сущность метода обнаружения тепловых неоднородностей заключается в комбинировании методов CBM и GBM, а также применении модели GMM при определении исходного фона в видео термограмм. Возможность определения тепловых неоднородностей для биологических объектов из видеопоследовательности является фундаментальной и решающей проблемой во многих системах тепловидения, которые включают инфракрасное видеонаблюдение [9,10].

Основная схема вычитания фона заключается в вычитании кадров изображения из эталонного изображения, которое моделирует фон теплового изображения. Основные шаги алгоритма заключаются в следующем [11]:

1. Фоновое моделирование создает опорный образ;
2. Представление фона инфракрасного изображения;
3. Определение пороговых значений пикселей, которые используются в операции вычитания кадров, чтобы получить фон теплового изображения.
4. Операция классификации пикселей как частей фона, включая опорный фон и фон теплового изображения, который содержит неоднородности.

При вычитании фоновой модели изображения из текущего кадра видео термограммы выполняется по пиксельное вычитание интенсивностей кадра видео и фоновой модели изображения [12]:

$$D_k(x, y) = |I_k(x, y) - F_k(x, y)|, \quad k = \overline{1, N},$$

где $I_k(x, y)$ – вектор размерности формата RGB, который представляет интенсивность пикселя (x, y) , $F_k(x, y)$ – модель фона, которая строится для усредненного количества предшествующих кадров, k – последовательность кадров видео термограмм.

Для одноканального изображения в оттенках серого $I_k(x, y), F_k(x, y) \in \{0, \dots, 255\}$.

Тогда кратковременная цветочная фоновая модель

(STCBM) для кадра $I_k(x, y)$ позволяет определить модель фона $F_k(x, y)$ в соответствии с формулой [13]:

$$F_k(x, y) = \frac{1}{s} \sum_{j=0}^{s-1} I_{k-j}(x, y),$$

s – количество кадров видео, по которым выполняется построение модели фона.

При обновлении модели фона используют информацию об интенсивностях пикселей текущего кадра на основе модели гауссовой смеси (GMM). При построении фона с использованием данного метода считается, что для любого пикселя (x_0, y_0) для кадра $I_k(x, y)$ известна его интенсивность для всех предыдущих кадров видео:

$$\{F_1, F_2, \dots, F_k\} = \{I_j(x_0, y_0), j = \overline{1, k}\}.$$

Вероятность того, модель фона F_k может быть представлена смесью из s распределений Гаусса, определяется в соответствии с формулой [14]:

$$P(F_k) = \sum_{j=0}^s \omega_j^k N(F_k | \mu_j^k, \sigma_j^k),$$

где ω_j^k – вес j -ого распределения Гаусса для кадра с номер k , $N(F_k | \mu_j^k, \sigma_j^k)$ – функция плотности нормального распределения, μ_j^k – математическое ожидание распределения Гаусса для N – кадров, σ_j^k – среднеквадратическое отклонение.

Предполагая, что компоненты цвета в кадре термограммы независимы и имеют одинаковое среднеквадратическое отклонение в распределении Гаусса, функция плотности нормального распределения имеет вид [13, 14]:

$$N(F_k | \mu_j^k, \sigma_j^k) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D_k}{2}} |\sigma_j^k|^{\frac{1}{2}}} e^{-\left(\frac{1}{2} (F_k - \mu_j^k)^T (\mu_j^k)^{-1} (F_k - \mu_j^k)\right)},$$

где T – пороговое значение цвета пикселя, которое определяется методом CBM.

Данное предположение позволяет снизить вычислительную трудоемкость метода GMM и определить распределение наблюдаемых значений цвета для каждого пикселя термографического изображения. При анализе очередного кадра $I_k(x, y)$ возможны две ситуации классификации текущего пикселя:

1. Если для текущего пикселя (x_0, y_0) выполняется распределение Гаусса, то пиксель классифицируется как принадлежащий фону;

2. Если для текущего пикселя (x_0, y_0) распределение Гаусса не обнаружилось, то пиксель классифицируется как принадлежащий объекту – тепловой неоднородности.

В долгосрочной цветовой фоновой модели (LTСВМ) при обработке каждого последующего кадра необходимо обновить параметры распределений: математическое ожидание μ_j^k и среднеквадратическое отклонение σ_j^k . Начальная инициализация параметров распределений может выполняться с использованием метода СВМ и средних значений k – последовательность кадров.

Применение модели обнаружения тепловых неоднородностей. Обнаружение тепловых неоднородностей для последовательности изображений на видео термограмм можно выполнить на модели миокарда, построенной в системе MSC Sinda [15]. Модель теплового обмена для локального участка миокарда построена для двух условий теплопередачи: теплопроводность и свободная конвекция для участка миокарда, которая обеднена коронарной сосудами и участка миокарда с удвоенной плотностью распределения коронарных сосудов в миокарде.

Процесс согревания сердца в условиях искусственного кровообращения с использованием аппарата искусственного кровообращения происходит за счет возврата венозной крови, которая согревается в теплообменнике, в контур искусственного кровообращения. Термограммы для охлажденного сердца до температуры 19,6 °С и согретого сердца до температуры 29,6 °С представлено на рис. 1, соответственно.

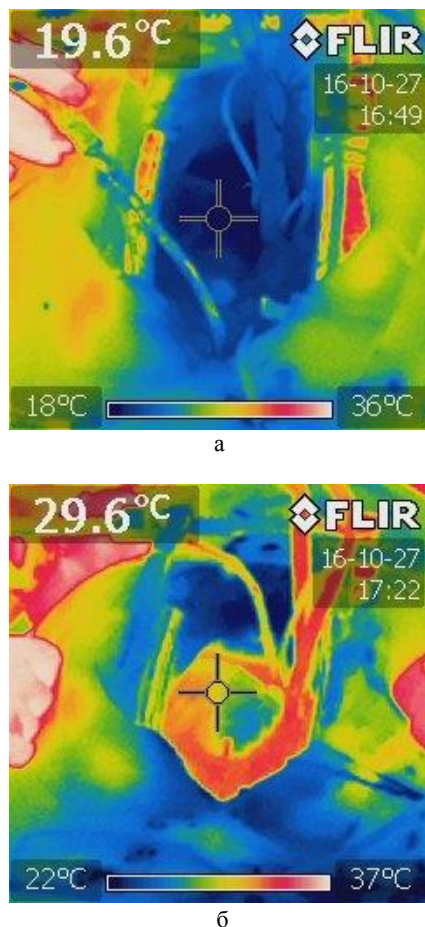


Рис. 1 – Термограммы для охлажденного и согретого сердца: а – при температуре гипотермии 19,6 °С; б – при температуре гипертермии 29,6 °С

В свою очередь, решение уравнения теплопроводности и свободной конвекции [16] для участка миокарда, которая обеднена коронарной сосудами, дает разницу температур в миокарде, которая может достигать значения $\Delta T_1 \approx 10$ °С, что видно по распределению температур на рис. 2.

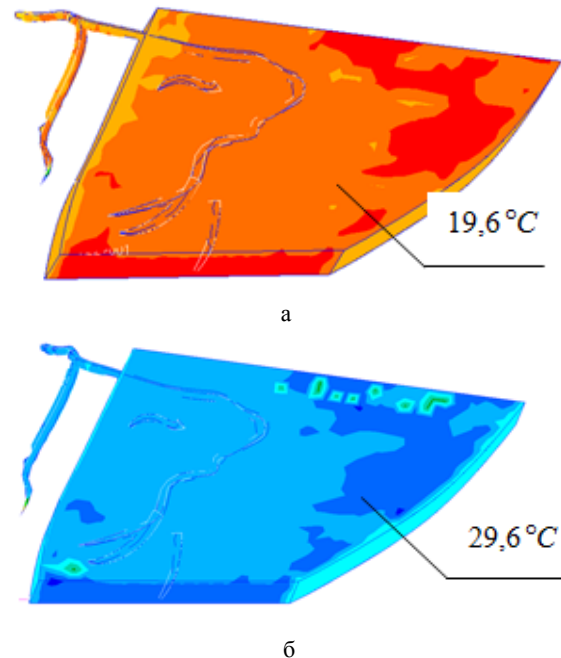


Рис. 2 – Распределение температур на поверхности миокарда, обедненного коронарными сосудами: а – при охлаждении сердца в условиях искусственного кровообращения; б – при нагревании сердца в условиях искусственного кровообращения

При решении задачи теплопроводности и свободной конвекции для участка миокарда с удвоенной плотностью расположения коронарных сосудов в теле миокарда вычисленная разность температур в миокарде составляет величину $\Delta T_2 \approx 3$ °С, что видно из распределения температур на рис. 3.

Реализация модели теплообмена в системе MSC Sinda для процесса охлаждения миокарда дает на завершающей стадии процесса, при установлении теплового баланса, разницу температур на границе, разделяющей миокард и коронарные сосуды не более 0,5 °С, а на участках миокарда, которые имеют изъятые коронарные сосуды, разница температур превышает величину в 1,0 °С.

Приведенные температурные неоднородности, которые получены для модели теплового обмена в системе MSC Sinda, можно визуализировать с использованием предложенной модели обнаружения тепловых неоднородностей на видео термограмм. Метод обнаружения температурных неоднородностей позволяет визуализировать контуры сосудов на поверхности миокарда на основе анализа видеопоследовательности для изображений термограмм. Суть метода заключается в определении градиентов температуры между кровью в сосудах и миокардом в последовательные моменты времени при нагревании (рис. 4) или охлаждении сердца (рис. 5).

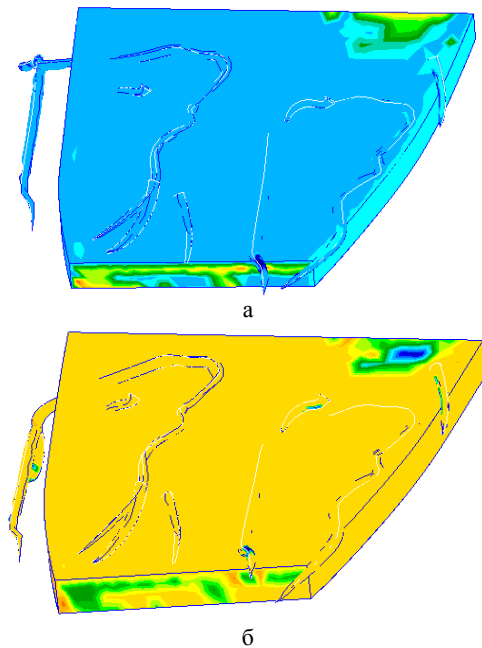


Рис. 3 – Распределение температур на поверхности миокарда с удвоенной плотностью распределения коронарных сосудов: а – при охлаждении сердца в условиях искусственного кровообращения; б – при согревании сердца в условиях искусственного кровообращения

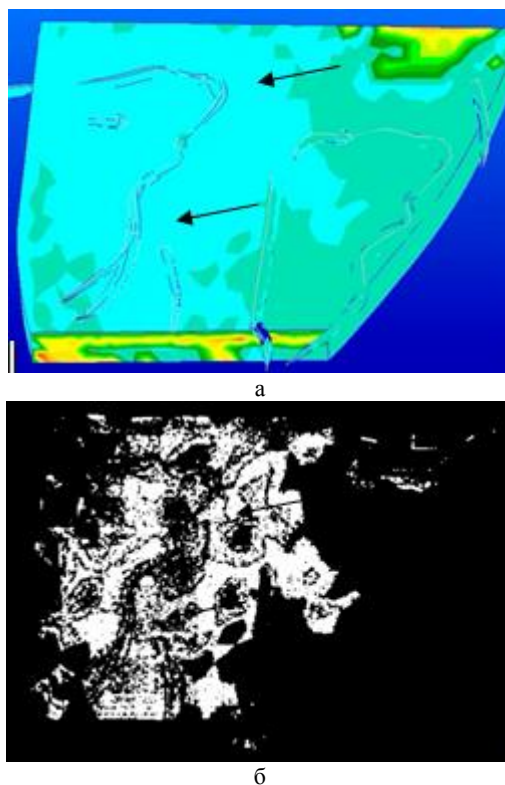


Рис. 4 – Визуализация контуров сосудов на модели при согревании сердца: а – в системе MSC Sinda; б – методом обнаружения температурных неоднородностей

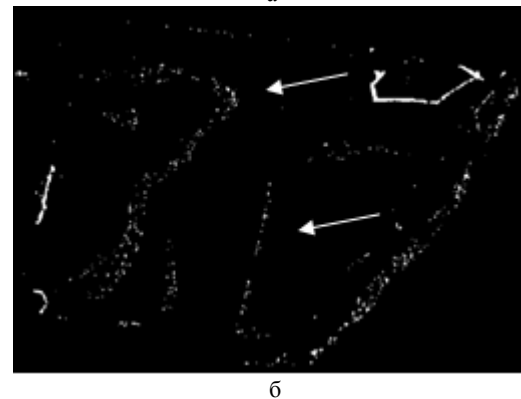
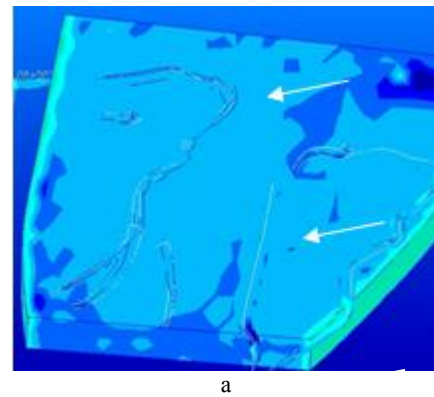


Рис. 5. Визуализация контуров сосудов на модели при охлаждении сердца: а – в системе MSC Sinda; б – методом обнаружения температурных неоднородностей

Важными физическими свойствами теплового изображения при «цветовом зрении» являются отражательные свойства объекта в инфракрасном диапазоне, которые инвариантны к изменениям освещенности, структуре кадра или геометрии биологического объекта. Обновленный подход при анализе термограмм с использованием модели гауссовой смеси (GMM) для кадров тепловых изображений показал, что его применение позволяет улучшить сегментацию части тепловых видео изображений относительно анализа статических изображений, особенно в неблагоприятных условиях формирования термограмм.

Клиническая апробация модели обнаружения тепловых неоднородностей. Сравнительная оценка результатов применения метода для обнаружения тепловых неоднородностей в различных тепловизионных изображениях сердца в настоящее время проходит клиническую апробацию. При этом полученные результаты позволяют сделать вывод, что этот метод может предоставить дополнительную важную информацию о температуре и однородности сосудов во время охлаждения и нагрева миокарда.

Анализ градиентов температуры во времени для последовательных кадров термограмм позволяет выделить контуры областей на миокарде, в которых изменение температуры значительно отстает от средней температуры при согревании сердца (рис. 6).

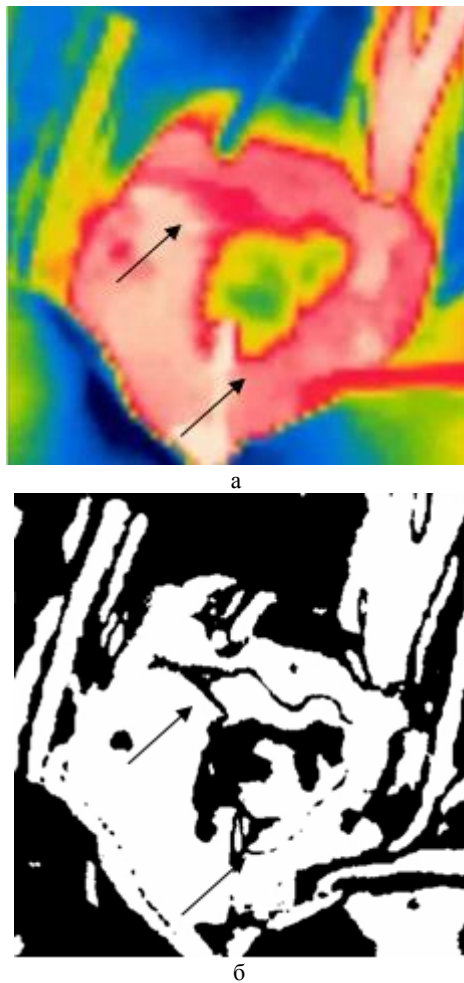


Рис. 6. Визуализация контуров сосудов миокарда in situ: а – на термограмме; б – методом обнаружения температурных неоднородностей

Обработка видео изображений термограмм и моделирование зарегистрированных термограмм для гипо- и гипертермии показали распространение температурных профилей, что позволяет диагностировать ишемические очаги в миокарде за счет визуализации температурных градиентов и идентификации контуров артерий.

Выводы. Представленный метод обнаружения тепловых неоднородностей на видео термограммах сердца, позволяет обнаруживать изменение градиента температур и выделять тепловые неоднородности на поверхности миокарда. Дискретные модели теплообмена для стационарного конвекционного ламинарного потока через пограничную поверхность крови и миокарда дают количественное описание процессов теплопереноса на границе между миокардом и коронарными сосудами.

Рассмотренные методы анализа термограмм позволяют изучать неоднородность температурного поля в миокарде и тем самым выявлять области ишемии в сердце.

Список литературы:

1. Nicholas, A. Medical Infrared imaging [Text] / A. Nicholas, B. Diakides, D. Joseph, A. Bronzino. – CRC Press Taylor Group

- LLC, London, 2008. – 451 p.
2. Ткаченко, Ю. А. Клиническая термография (обзор основных возможностей) [Текст] / Ю. А. Ткаченко, М. В. Голованова, А. М. Овечкин. – Ростов на Дону, 1999. – 274 с.
3. Данилова, В. А. Тепловізійне дослідження розподілу температури міокарда [Текст] / В. А. Данилова, В. В. Шликов // Наукові Вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – С. 106–111.
4. 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. – P. 93–96.
5. Van Droogenbroeck, M. Visual Background Extractor [Text] / M. Van Droogenbroeck, O. Barnich. – World Intellectual Property Organization, 2009. – No. WO 2009/007198.
6. McIvor, A. Background subtraction techniques [Text] / A. McIvor // Proc. Image Vis. Comput., Auckland. – New Zealand, 2000.
7. Radke, R. J. Image change detection algorithms: a systematic survey [Text] / R. J. Radke, S. Andra, O. Al-Kofahi, B. Roysam // IEEE Transactions on Image Processing. – 2005. – Vol. 14, Issue 3. – P. 194–307. doi: 10.1109/tip.2004.838698
8. Barnich, O. OViBE: A powerful random technique to estimate the background in video sequences [Text] / O. Barnich, M. Van Droogenbroeck // 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2009. doi: 10.1109/icassp.2009.4959741
9. Котовський, В. Й. Обґрунтування вимог до умов проведення термографічних досліджень біологічних об'єктів [Текст] / В. Й. Котовський // Вісті академії інж. наук України. – 2009. – № 2 (39). – С. 6–11.
10. Данилова, В. А. Метод безконтактного контролю температури [Текст] / В. А. Данилова, В. В. Шликов // Наукові Вісті НТУУ «КПІ». – 2015. – Вип. 49 (1). – С. 88–94.
11. Форсайт, Д. Компьютерное зрение. Современный подход [Текст] / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Изд. д. Вильямс, 2004. – 465 с.
12. Bradski, G. Learning OpenCV. Computer Vision with OpenCV Library [Text] / G. Bradski, A. Kaehler. – O'Reilly Media Publishers, 2008. – 571 p.
13. Szeliski, R. Computer Vision: Algorithms and Applications [Text] / R. Szeliski. – Springer, 2010. – 979 p.
14. Sonka, M. Image Processing. Analysis and Machine Vision [Text] / M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle. – Thomson, 2008. – 866 p.
15. Astrum, SINDA user manual, ver. 3.2, 2003.
16. Moin, P. Fundamentals of Engineering Numerical Analysis [Text] / P. Moin. – 2nd ed. – Cambridge University Press, New York, 2010. doi: 10.1017/cbo9780511781438

Bibliography (transliterated):

1. Nicholas, A., Diakides, B., Joseph, D., Bronzino, A. (2008). Medical Infrared imaging. CRC Press Taylor Group LLC, London, 451.
2. Tkachenko, Yu. A., Golovanova, M. V., Ovechkin, A. M. (1999). Klinicheskaya termografiya (obzor osnovnykh vozmozhnostey). Rostov na Donu, 274.
3. Danilova, V. A., Shlykov, V. V. (2014). Teploviziyne doslidzhennya rozpodilu temperatury miokarda. Naukovi Visti NTUU «KPI», 106–111.
4. 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, 93–96.
5. Van Droogenbroeck, M., Barnich, O. (2009). Visual Background Extractor. World Intellectual Property Organization, No. WO 2009/007198.
6. McIvor, A. (2000). Background subtraction techniques. Proc. Image Vis. Comput., Auckland. New Zealand.
7. Radke, R. J., Andra, S., Al-Kofahi, O., Roysam, B. (2005). Image change detection algorithms: a systematic survey. IEEE Transactions on Image Processing, 14 (3), 294–307. doi: 10.1109/tip.2004.838698
8. Barnich, O., Van Droogenbroeck, M. (2009). ViBE: A powerful random technique to estimate the background in video sequences. 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. doi: 10.1109/icassp.2009.4959741
9. Kotovs'ky, V. Y. (2009). Obgruntuvannya vymoh do umov provedennya termohrafichnykh doslidzhen' biolohichnykh ob'yektiv. Visti akademiyi inzh. nauk Ukrayiny, 2 (39), 6–11.
10. Danilova, V. A., Shlykov, V. V. (2015). Metod bezkontaktynoh

- kontrolyu temperatury. Naukovi Visti NTUU «KPI», 49 (1), 88–94.
11. Forsayt, D., Pons, Zh. (2004). Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyy podhod. Moscow: Izd. d. Vilyams, 465.
 12. Bradski, G., Kaehler, A. (2008). Learning OpenCV. Computer Vision with OpenCV Library. O'Reilly Media Publishers, 571.
 13. Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 979.
 14. Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R. (2008). Image Processing. Analysis and Machine Vision. Thomson, 866.
 15. Astrium, SINDA user manual, ver. 3.2, 2003.
 16. Moin, P. (2010). Fundamentals of Engineering Numerical Analysis. Cambridge University Press, New York. doi: 10.1017/cbo9780511781438

Поступила (received) 05.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Виявлення теплових неоднорідностей для послідовності зображень у відео термограм/ Максименко В. Б., Шликов В. В., Данилова В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.42–47. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Обнаружение тепловых неоднородностей для последовательности изображений в видео термограмм/ Максименко В. Б., Шликов В. В., Данилова В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.42–47. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Detection of thermal inhomogeneities for a sequence of images in video thermograms/ Maksymenko V., Shlykov V., Danilova V. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241). – P.42–47. – Bibliogr.:16. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Максименко Віталій Борисович – доктор медичних наук, декан факультету біомедичної інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056; e-mail : maksymenko.vitaliy@gmail.com.

Шликов Владислав Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056; e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Данилова Валентина Анатоліївна – асистент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056; e-mail: valnaa@ukr.net.

Максименко Виталий Борисович – доктор медицинских наук, декан факультета биомедицинской инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», пр. Победы, 37, Киев, Украина, 03056; e-mail: maksymenko.vitaliy@gmail.com.

Шликов 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.

Данилова Валентина Анатольевна – ассистент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», проспект Победы, 37, Киев, Украина, 03056, тел.: +380(44) 204-96-83, e-mail: valnaa@ukr.net.

Maksymenko Vitaliy – Doctor of medical sciences, dean of the Department of Biomedical engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: maksymenko.vitaliy@gmail.com.

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, e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Danilova Valentyna – assistant of Biomedical engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: valnaa@ukr.net.

*Є. О. АДОНЬЄВ, В. М. ВЕРЕЩАГА***ПРИНЦИПИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ КОРЕЛЯЦІЇ ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ БАГАТОФАКТОРНИХ СИТУАЦІЙ І ПРОЦЕСІВ**

Із застосуванням геометричної формалізації, розробленої на основі точкового БН-числення, доведено необхідність і введено новий математичний термін – «геометрична кореляція». З використанням геометричної кореляції запропоновано алгоритм розв'язання задач багатовимірного евклідового випуклого простору E^n через розв'язання відповідної кількості одно-, дво-, трьохвимірних задач з подальшою суперпозицією отриманих розв'язків. Надано класифікацію принципів геометричної кореляції, наведено приклад алгоритму з використанням одного з принципів побудови моделі багатофакторної ситуації.

Ключові слова: геометрична формалізація, геометрична кореляція, суперпозиція, багатофакторна ситуація.

С применением геометрической формализации, разработанной на основе точечного БН-исчисления, доказана необходимость и введен новый математический термин – «геометрическая корреляция». С применением геометрической корреляции предложен алгоритм решения задач многомерного евклидова выпуклого пространства E^n через решение соответствующего количества одно-, двух-, трехмерных задач с дальнейшей суперпозицией полученных решений. Приведено классификацию принципов геометрической корреляции, приведен пример алгоритма с применением одного из принципов построения модели многофакторной ситуации.

Ключевые слова: геометрическая формализация, геометрическая корреляция, суперпозиция, многофакторная ситуация.

In modeling processes in the field of energy saving, the problem of combining a large number of physically heterogeneous factors often arises. Existing methods of mathematical modeling, as a rule, require the establishment of a correlation between the input values of the future model, and then, based on the correlation results, a model is constructed. It always puts in the model certain limitations on the number of factors that can be included in the model, in the size of the matrices, and so on. In addition, the need to integrate physically diverse factors further complicates modeling with traditional methods. In our opinion, these drawbacks are deprived of compositional methods of geometric modeling, whose geometrical formalization takes place with the help of algebraic methods of the point BN-calculus (Balyuby-Nidische calculus), because of the representation in the analytical form of correlation geometric shapes by creating the corresponding geometric aggregates. In the article, using the geometric formalization developed on the basis of point BN-calculus, the necessity and a new mathematical term - "geometric correlation" - was proved. Using geometric correlation, an algorithm for solving problems of a multidimensional Euclidean convex space E^n through a solution of the corresponding number of one-, two-, and three-dimensional problems with further superposition of the solutions obtained is proposed. A classification of the principles of geometric correlation is given, an example of an algorithm is given with the use of one of the principles for constructing a model of a multifactorial situation.

Keywords: geometric formalization, geometric correlation, superposition, multifactorial situation.

Вступ. У моделюванні ситуацій і процесів, зокрема, у сфері енергоефективних технологій, часто виникає проблема поєднання великої кількості фізично різнорідних факторів, серед яких немає можливості і сенсу визначити головні, що найбільше впливають на перебіг процесу. Традиційні методи математичного моделювання, у царині енергоефективності, нами віднесено до комбінаційних, тобто таких, для яких кореляція між вихідними величинами майбутньої моделі, у алгебраїчній формі встановлюється до створення моделі, а потім за результатами кореляцій, будується модель.

На нашу думку, наявність взаємної залежності між елементами на початковому етапі моделювання, завжди висуває до моделі певні обмеження за кількістю факторів, що можуть бути включені до моделі, за розмірами матриць, тощо. Окрім того, необхідність інтеграції фізично різнорідних факторів додатково ускладнює моделювання традиційними методами, що тягне за собою збільшення похибки у розрахунках та призводить до прийняття помилкових рішень

Вважаємо, що розв'язання проблеми інтеграції у моделі різнорідних факторів та збільшення кількості її вихідних факторів криється у розробці композиційних методів моделювання, геометрична формалізація у яких відбувається алгебраїчними методами точкового БН-числення (Балюби-Найдиша числення), через подання у аналітичному вигляді кореляційних геометричних фігур шляхом створення відповідних геометричних агрегатів [1]. Будь-яка проміжна (змінювана) точка створеної таким чином кореляційної геометричної фігури є сумою відповідних відсотків від усіх опорних (базових) точок. Іншими словами, у композиційному методі геометричного моделювання аналі-

тична модель у точковій формі, для визначення умов, лишається незмінною, а змінюються тільки вихідні точки. За рахунок цього відбувається моделювання. Така особливість композиційного методу є важливою, тому що на практиці, з метою підвищення адекватності моделі, часто виникає необхідність змінювати якісно і кількісно вихідні фактори.

Таким чином, розробка та дослідження композиційного методу геометричного моделювання є актуальними через його можливості поєднувати у моделі різнорідні фактори, змінювати (замінювати) кількісно і якісно фактори без зміни аналітичної точкової форми моделі. Зважаючи на це, розробка принципів геометричної кореляції у композиційному геометричному моделюванні, є також актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Створення композиційного методу геометричного моделювання (КМГМ) стало можливим тільки на основі методів точкового БН-числення [1]. Розробниками КМГМ є автори цієї статті [5–8], у яких було зроблено перші спроби щодо створення та аналізу Б-поверхонь (Балюби поверхонь), розробки композиційного методу геометричного моделювання, обґрунтування необхідності його розробки та його переваги над існуючими способами моделювання процесів, стосовно особливостей і властивостей Б-поверхонь та означено перспективи застосування КМГМ. Із сказаного випливає, що поява нового методу моделювання відкриває нові можливості для створення багатофакторних моделей.

Формування мети дослідження. Обґрунтувати необхідність введення нового поняття – «геометричної кореляції», розробити алгоритм розв'язання задачі

багатовимірному простору через її поділення на відповідну кількість задач просторів меншої розмірності. Надати визначення та класифікацію принципів геометричної кореляції у побудові моделей для багатofакторних ситуацій і процесів.

Геометрична кореляція у композиційному методі геометричного моделювання. Зазвичай, під геометричною формалізацією розуміють графічно-вербальне (синтетичне) відображення ситуації або процесу, комп'ютерна реалізація яких потребує значних зусиль, для їхнього аналітичного відображення. При цьому, встановлення кореляцій між вихідними елементами, показниками, тощо відбувається на етапі формування аналітичної моделі, а початкова геометрична схема використовується лише для пояснення аналітичних операцій, і ніяк не впливає на моделювання процесу. Такий процес моделювання нами названо «традиційним». І навпаки, геометрична формалізація з використанням алгебри точкового БН-числення, здійснює кореляцію між вихідними елементами, показниками, тощо на початку моделювання у процесі створення геометричної схеми з подальшим її аналітичним відображенням у точковій формі, що створюється з використанням алгебри точкового БН-числення. При цьому, зміна вихідної геометричної схеми обов'язково призведе до зміни аналітичного запису у точковій формі. Такий процес назовемо «формалізованим геометричним моделюванням» [1], а кореляцію – «геометричною кореляцією».

Із сказаного, на нашу думку, впливає, що у традиційному методі моделювання алгебраїчна складова передуює геометричній, яка існує, у більшості випадків, для пояснень алгебраїчних операцій і, ні у якому разі, не впливає на аналітику розрахунків. І навпаки, у формалізованому геометричному моделюванні ніяким чином не можна створити аналітичний запис у точковій формі, доки не буде прийнято геометричної схеми, під яку будуть створюватись точкові агрегати [1]. При цьому, зміна геометричної схеми призводить до відповідних змін у відповідній точковій формі, що відображає аналітику процесу.

Таким чином, у формалізованому геометричному моделюванні кореляційні процеси відбуваються на етапі створення геометричної схеми, а аналітика точкових агрегатів дозволяє виконувати перетворення вихідних геометричних форм. А це і підтверджує, що у формалізованому геометричному моделюванні геометрія передуює алгебрі.

Як відомо [2], кореляція – встановлення залежності між величинами, що не має чіткого аналітичного характеру. На відміну від кореляції у традиційних алгебраїчних методах моделювання, вводимо поняття «геометричної кореляції» для формалізованого геометричного моделювання (геометричної формалізації). Під геометричною формалізацією будемо розуміти аналітичне подання геометричних фігур методами алгебри точкового БН-числення. Геометрична формалізація з використанням алгебри точкового БН-числення, тобто – формалізоване геометричне моделювання (ФГМ) покладено у основу композиційного методу геометричного моделювання (КМГМ). Покажемо декілька варіантів застосування ФГМ у КМГМ на геометрич-

ній формалізації одного фактору – «Вікно» (фрагмент), параметри для якого наведені у табл. 1.

Застосуємо для фактору «Вікно» монофакторний принцип побудови моделі [3], який передбачає окремий аналіз по кожному з 50-х параметрів (табл. 1, в таблиці показані 33 з усіх 50-ти параметрів), виходячи з цього, кожному з типів-моделей вікон, будемо розглядати як окрему точку 50-вимірному простору. У наших дослідженнях було розглянуто 20 моделей вікон різних виробників з різними параметрами (характеристиками), які у даній статті не наведено через великий об'єм інформації.

Таким чином, у якості вихідних даних наших досліджень маємо 20 типів-моделей вікон, кожне з яких характеризується 50-ма параметрами, тобто одна тисяча значень. На такій кількості показників можна побудувати десятки або навіть сотні моделей. Звідси випливає, що перш ніж будувати модель, необхідно визначити її мету, тобто яке питання, відносно вікна, ми хочемо дослідити, з використанням створеної моделі. Мета створення не може бути однозначною, тому що однозначні розв'язки можна дістати, використовуючи дані таблиці 1. Після формування мети моделі, що створюється, необхідно визначити параметри, які у найбільшій мірі відповідають поставленій меті. Оскільки мета не є однозначною, то таких параметрів буде два і більше. Окремо, по кожному з визначених параметрів, що відповідають меті моделі, розташуємо їхні показники у порядку зростання або зменшення для усіх двадцяти моделей вікон. Таке розташування параметрів спростить обрання дев'яти опорних точок, що будуть характеризувати Б-поверхню відгуку. Фіксуємо номери точок, що увійшли до складу опорних. На області визначення $0 \leq u \leq 1$; $0 \leq v \leq 1$ будемо відсікати Б-поверхню відгуку, який складається з чотирьох чарунків (рис. 1)

У середині кіл (рис. 1) позначено номери точок, у яких визначається параметр. У точці (0,5, 0,5) позначено два номери 8 та 9, у точці (0, 1) позначено чотири номери 17, 18, 19, 20 – це означає, що в усіх цих точках параметр є однаковим. Обираючи три найменших значення параметру, три – у середині ряду та три найбільших значення, визначаємо дев'ять опорних точок для побудови відсіку Б-поверхні.

На тих же самих точках, не змінюючи їхнього розташування, побудуємо Б-поверхню ще для двох параметрів. На першій, другій та третій Б-поверхнях визначаємо значення параметрів, що задовольняють вимогам моделі і тим самим знаходимо область визначення.

Нехай, для прикладу, область визначення знаходиться у межах $0.4 \leq u \leq 0.7$; $0.5 \leq v \leq 0.75$. Для цих значень параметрів будемо одну з Б-поверхонь $1=f(2, 3)$; $2=\varphi(1, 3)$; $3=\psi(1, 2)$ (рис. 2).

На одній з цих поверхонь і знаходимо розв'язок задачі за визначеними вимогами.

Далі розглянемо інший, більш узагальнюючий, принцип застосування Б-поверхонь для моделювання процесів, який враховує у моделі усі параметри, що характеризують будь-який фактор.

Таблиця 1 – Фактор «ВІКНО», класифікація параметрів

№	Параметри	од. вим.
1. Економічні		
1	1.1. Вартість вікна,	грн
2	1.2. Вартість монтажу,	грн
3	1.3. Загальна вартість,	грн
4	1.4. Відповідність вимогам програми «тепліх кредитів»	Так/Ні
5	1.5. Економія на опаленні за сезон (теплова енергія)	Гкал
6	1.6. Економія на кондиціонуванні за сезон (електроенергія)	кВт·год
7	1.7. Загальна економія енергії за рік	кВт·год
8	1.8. Загальні втрати енергії за рік	кВт·год
9	1.9. Експлуатаційні витрати за рік	грн
2. Екологічні		
10	2.1. Зменшення викидів CO ₂ за рік	кг
11	2.2. Матеріал профілю (металопластик, дерево, алюміній)	назва
3. Фізичні		
12	3.1. Тип вікна (кількість створок)	шт
13	3.2. Ширина вікна	м
14	3.3. Висота вікна	м
15	3.4. Ширина профільної системи	мм
16	3.5. Ширина склопакету	мм
17	3.6. Кількість камер склопакету	шт
18	3.7. Товщина скла (якщо різні – вказати кожне)	мм
19	3.8. Ширина камери склопакету	мм
20	3.9. Наповнювач склопакету (повітря, аргон)	назва
21	3.10. Опір теплопередачі вікна R ₀	м ² К/Вт
22	3.11. Коефіцієнт теплопередачі вікна U _w	Вт/(м ² К)
23	3.12. Коефіцієнт теплопередачі склопакету U _g	Вт/(м ² К)
24	3.13. Сонячний фактор вікна g	%
25	3.14. Світлопропускання вікна	%
26	3.15. Клас шумоізоляції	№, дБ
27	3.16. Клас енергоефективності вікна (A ... E)	літера
4. Технологічні		
28	4.1. Супутні матеріали	назва
29	4.2. Технологічне обладнання	назва
30	4.3. Додаткові технологічні роботи	назва
31	4.4. Інші технологічні параметри	назва
5. Художньо-естетичні		
32	5.1. Колір	назва
33	5.2. Фактурність	назва

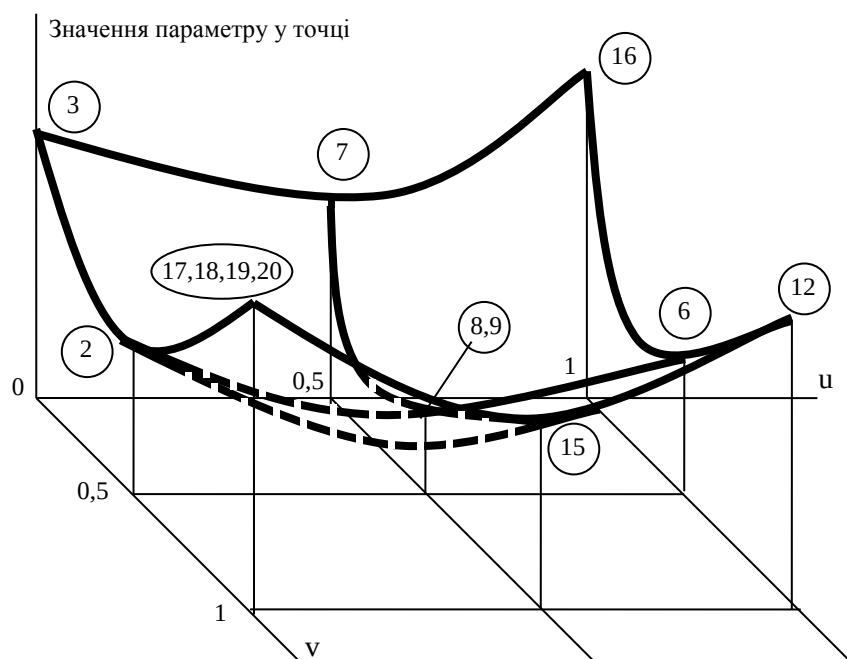


Рис. 1 – Б-поверхня відгуку по одному параметру

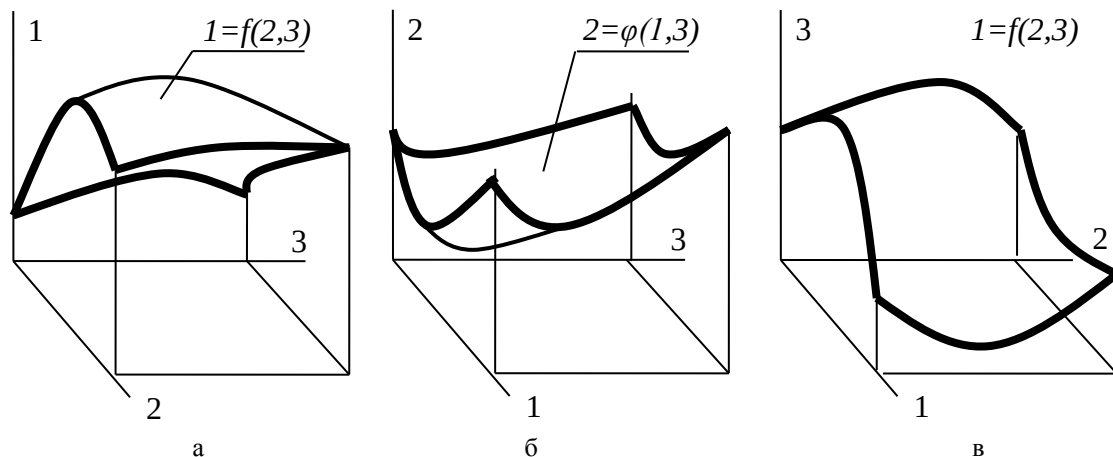


Рис. 2 – Приклади побудови Б-поверхні за трьома параметрами: а) $f(2,3)$; б) $\varphi(1,3)$ в) $\psi(1,2)$

У відповідності до поставленої мети створення моделі, визначаємо опорний параметр, на базі якого будемо обирати номери дев'яти вузлових точок для створення Б-поверхні відгуку, що аналогічна рис. 1. На визначених дев'яти вузлових точках будемо решту – сорок дев'ять, як для нашого прикладу, Б-поверхонь.

Треба зауважити, що від обрання опорної Б-поверхні багато у чому залежить адекватність побудованої моделі до процесу. Для будь-якої з дев'яти вузлових точок знайдемо суму усіх п'ятдесяти значень параметрів, не зважаючи на одиниці виміру. Отримане число приймемо за одиницю. Із пропорції визначимо коефіцієнти $\bar{K}_i (i=1,50)$ які забезпечують перехід від абсолютних значень параметрів до відносних. Обернені до коефіцієнти $K_i = \frac{1}{\bar{K}_i}$ зрівноважу-

ють вплив на суперпозицію усіх параметрів, не зважаючи на їхні абсолютні величини.

Назвемо – коефіцієнти відсоткові; K_i – коефіцієнти вагові. Таке зрівноваження координат точки, за допомогою вагових коефіцієнтів K_i , дозволяє не загубити вплив кожної з них при побудові суперпозиції з п'ятдесяти Б-поверхонь, що відображають зміну кожної з координат. Якщо параметри (Б-поверхні) позначити через m_i , то суперпозицію з усіх координат, в цілому, для фактору “Вікно”, у загальному вигляді, можна записати:

$$M_{\text{вікно}} = \sum_{i=1}^{50} m_i k_i. \quad (1)$$

У наведеному прикладі було показано, як задачу п'ятидесятивимірному простору було розкладено на п'ятдесят одновимірних задач з подальшою їхньою суперпозицією. При цьому, типи показників – економічні, екологічні, фізичні, технологічні, художньо-естетичні було об'єднано у одній моделі. Інколи доцільно будувати моделі окремо за кожним з означених типів показників окремо, наприклад, за економічними

з усіх факторів, що входять до досліджуваної ситуації або процесу, тощо.

Надамо класифікацію принципів створення моделей, про які йшла мова вище.

1. Принцип монопараметричний-монофакторний. Передбачає виконання геометричної кореляції за одним параметром серед усіх типо-моделей фактору “Вікно” (або будь-якого іншого).

2. Принцип монопараметричний-поліфакторний. Передбачає виконання геометричної кореляції за одним параметром, за усіма типо-моделями серед багатьох факторів.

3. Принцип поліпараметричний-монофакторний. Передбачає виконання геометричної кореляції за усіма параметрами (координатами) серед усіх типо-моделей у межах одного фактору.

4. Принцип поліпараметричний-поліфакторний. Передбачає виконання геометричної кореляції за усіма параметрами, за усіма типо-моделями серед багатьох факторів.

Безумовно, окрім згаданих принципів геометричної кореляції для побудови моделі можуть бути застосовані їхні комбінації.

Наведемо, для прикладу, алгоритм побудови моделі з використанням поліпараметричного-монофакторного принципу геометричної кореляції.

1. Формулюємо мету створення моделі.
2. Визначаємо основні параметри, відносно яких буде побудована модель.

3. За показниками будь-якого з визначених основних параметрів, призначаємо номери точок (типо-моделей) у порядку зростання (зменшення) значень параметру, що розглядається серед усіх типо-моделей у межах одного фактору.

4. Для основного параметру, будь-якої його окремої точки, яка являє собою типо-модель, а її параметри є координатами точки, визначаємо відсоткові – $\bar{K}_i$, та вагові – K_i коефіцієнти.

5. Одним із способів, які було задано вище, або якимось іншим, будемо, у відповідності до (1), Б-поверхню, яка і є поліпараметричною-монофакторною моделлю багатofакторної ситуації.

6. Відповідний аналіз отриманої Б-поверхні надає шуканий розв'язок задачі для однієї тисячі (як для нашого прикладу) вихідних елементів.

В усіх, наведених у цій статті, прикладах було застосовано Б-поверхні, що побудовані на дев'яти дійсних точках евклідового простору E^3 . Хоча вихідні точки фактору "Вікно" є точками евклідового простору E^{50} . Таким чином, з використанням композиційного методу геометричного моделювання, задачу п'ятидесятивимірному простору було зведено до великої кількості одно-, дво- та тривимірних задач.

Така можливість КМГМ пояснюється тим, що у основу його розробки покладено точкове числення Балюби-Найдиша, алгебра якого і передбачає таку можливість.

Для підвищення точності відображення вихідних факторів необхідно використовувати Б-поверхні, що побудовані на кількості точок більшій, ніж дев'ять, наприклад, 12, 16, 20, 25, тощо. Однак, збільшення їхньої кількості призводить до ускладнення та збільшення розрахунків навіть для E^3 .

Висновок. Надано пояснення щодо геометричної формалізації, яку розроблено на основі алгебри точкового БН-числення, вказано на її відмінність від формалізації методами традиційної математики. На підставі застосування геометричної формалізації виникла необхідність введення нового поняття – геометричної кореляції.

Було показано спосіб розв'язання задачі п'ятидесятивимірному простору шляхом розв'язання п'ятидесяти одновимірних задач з подальшою суперпозицією отриманих розв'язків.

Надано визначення та класифікацію принципів геометричної кореляції у побудові моделей для багатфакторних ситуацій і процесів.

Запропоновано алгоритм побудови багатфакторної моделі, що відповідає поліпараметрично-монофакторному принципу геометричної кореляції.

Список літератури:

1. Балюба, И. Г. Точечное исчисление [Текст]: уч. пос. / И. Г. Балюба, В. М. Найдыш; под ред. В. М. Верещаги. – Мелітополь: Изд-во МГПУ им. Б. Хмельницького, 2015. – 234 с.
2. Нечволод, Л. І. Сучасний словник іншомовних слів [Текст] / Л. І. Нечволод. – Харків: Торсинг плюс, 2007. – 768 с.
3. Верещага, В. М. Монофакторний принцип побудови моделі багатфакторних задач термореновації будівель [Текст] / В. М. Верещага, Є. О. Адоньєв // Сучасні проблеми моделювання. – 2016. – Вип. 7. – С. 24–31.
4. Конопацький, Є. В. Геометричне моделювання алгебраїчних кривих та їх використання при конструюванні поверхонь у точковому численні Балюби-Найдиша [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Є. В. Конопацький. – Мелітополь, ТДАТУ, 2012. – 163 с.

5. Кучеренко, В. В. Формалізовані геометричні моделі нерегулярної поверхні для гіперкількісної дискретної скінченної множини точок [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В. В. Кучеренко. – Мелітополь, ТДАТУ, 2013. – 232 с.
6. Адоньєв, Є. О. Алгоритм формування моделей багатфакторних процесів композиційного методу [Текст]: VI-ї Всеукр. наук.-практ. конф. / Є. О. Адоньєв, В. М. Верещага, А. В. Найдиш // Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених. – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – Вип. 6. – С. 12–18.
7. Адоньєв, Є. О. Композиційний метод утворення поверхонь: суть, особливості та перспективи використання у моделюванні багатфакторних процесів [Текст]: XII Міжнар. наук.-практ. конф. / Є. О. Адоньєв, В. М. Верещага, А. В. Найдиш // Обухівські читання. – К., 2017. – С. 94–99.
8. Адоньєв, Є. О. Визначення та аналіз параболічної поверхні Балюби (БПП) [Текст] / Є. О. Адоньєв, В. О. Верещага // Системні технології. – 2017. – Вип. 1 (108). – С. 3–11.
9. Бумага, А. І. Точкове рівняння дуги параболи другого порядку [Текст]: IX Крымская междунар. научн.-практ. конф. / А. І. Бумага // Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 49–52.
10. Підгорний, О. Л. Актуальні проблеми геометричного моделювання в задачах енергозбереження у будівництві [Текст] / О. Л. Підгорний, В. О. Плоский, О. В. Сергійчук // Вентиляція, освітлення та теплозапостачання. – 2010. – Вип. 14. – С. 25–31.

Bibliography (transliterated):

1. Balyuba, I. G., Naidysh, V. M.; Vereshchaga, V. M. (Ed.) (2015). Tochechnoe ischislenie. Melitopol: Izd-vo MGPU im. B. Hmel'nickogo, 234.
2. Nechvolod, L. I. (2007). Suchasnyi slovnyk inshomovnykh sliv. Kharkiv: Torsynh plus, 768.
3. Vereshchaha, V. M., Adoniev, Ye. O. (2016). Monofaktorny pryntsy pobudovy modeli bahatofaktornykh zadach termorenovatsii budivel. Suchasni problemy modeliuvannia, 7, 24–31.
4. Konopatskyi, Ye. V. (2012). Heometrychne modeliuvannia alhebraichnykh kryvykh ta yikh vykorystannia pry konstruiuvanni poverkhon u tochkovomu chyslenni Baliuby-Naidysa. Melitopol, TDAU, 163.
5. Kucherenko, V. V. (2013). Formalizovani heometrychni modeli nerehuliarnoi poverkhni dlia hiperkilkisnoi diskretnoi skinchenoї mnozhyny tochk. Melitopol, TDAU, 232.
6. Adoniev, Ye. O., Vereshchaha, V. M., Naidysh, A. V. (2017). Alhorytm formuvannia modelei bahatofaktornykh protsesiv kompozitsiinoho metodu. Prykladna heometrii, dizain, obiekty intelektualnoi vlasnosti ta innovatsiina diialnist studentiv ta molodykh vchenykh. Kyiv: NTUU «KPI», 6, 12–18.
7. Adoniev, Ye. O., Vereshchaha, V. M., Naidysh, A. V. (2017). Kompozitsiinyi metod utvorennia poverkhon: sut, osoblyvosti ta perspektyvy vykorystannia u modeliuvanni bahatofaktornykh protsesiv. Obukhivski chytannia. Kyiv, 94–99.
8. Adoniev, Ye. O., Vereshchaha, V. O. (2017). Vyznachennia ta analiz parabolichnoi poverkhni Baliuby (BPP). Systemni tekhnolohii, 1 (108), 3–11.
9. Bumaha, A. I. Tochkeve rivniannia duhy paraboly druhoho poriadku. Geometrycheskoe i komp'yutenoe modelirovanie: ehnergoberezhennia, ehkologiya, dizayn. Kyiv: KNUBA, 90, 49–52.
10. Pidhornyi, O. L., Ploskyi, V. O., Serheichuk, O. V. (2010). Aktualni problemy heometrychnoho modeliuvannia v zadachakh enerhoberezhennia u budivnytstvi. Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohapostachannia, 14, 25–31.

Надійшло (received) 24.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Принципи геометричної кореляції при побудові моделей багатфакторних ситуацій і процесів/ Адоньєв Є. О., Верещага В. М. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.48–53. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Принципы геометрической корреляции при построении моделей многофакторных ситуаций и процессов/ Адоньев Е. А., Верещага В. М. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.48–53. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Principles of geometric correlation in the construction of models of multifactorial situations and processes/ Adoniev Y., Vereshchaga V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241). – P.48–53. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Верещага Віктор Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького; вул. Гетьманська, 20, м. Мелітополь, Україна, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

Адоньев Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, декан Экономико-гуманитарного факультета Запорожского национального университета в г. Мелитополь; ул. Героев Украины, 160А, г. Мелитополь, Украина, 72316, e-mail: evgen.adoniev@gmail.com.

Верещага Віктор Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого; ул. Гетьманская, 20, г. Мелитополь, Украина, 72300; , e-mail: vervik49@gmail.com.

Adoniev Yevhen – PhD, associate professor, dean of the Economics and Humanities Faculty of the Zaporizhzhya National University in Melitopol. Heroiv Ukrainy str., 160A, Melitopol, Ukraine, 72316; e-mail: evgen.adoniev@gmail.com.

Vereshchaga Viktor – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies of the Melitopol State Pedagogical University named after Bohdan Khmelnytsky; Getmansky str., 20, Melitopol, Ukraine, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

УДК 004.056.55

Р. С. ГАНЗЯ

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ НОРМУВАННЯ В КІЛЬЦІ Р-АДИЧНИХ ЧИСЕЛ

Аналізуються методи обчислення норми елемента в кільці р-адичних чисел. Пропонується використання альтернативного методу обчислення результанта через детермінант матриці Сильвестра, що може бути застосований для розрахунку норми елемента. Наводиться наша модифікація такого методу обчислення норми через зменшену матрицю Сильвестра. В роботі показано розрахунок теоретичної складності виконання методів, а також представлено порівняння теоретичних та практичних значень обчислення норми. Результати досліджень можуть бути використані при обчисленні порядку еліптичних кривих в певних системних рішеннях.

Ключові слова: порядок еліптичної кривої, обчислення норми, матриця Сильвестра, результант.

Анализируются методы вычисления нормы элемента в кольце р-адических чисел. Предлагается использование альтернативного метода вычисления результанта через детерминант матрицы Сильвестра, который может быть применен для расчета нормы элемента. Приводится наша модификация такого метода вычисления нормы через уменьшенную матрицу Сильвестра. В работе показано расчет теоретической сложности выполнения методов, а также представлено сравнение теоретических и практических значений вычисления нормы. Результаты исследований могут быть использованы при вычислении порядка эллиптических кривых в определенных системных решениях.

Ключевые слова: порядок эллиптической кривой, вычисление нормы, матрица Сильвестра, результант.

In this paper, we show the main stages of the procedure of elliptic curves order computation, which are defined over binary field. The main attention is paid to the analysis of computational complexity (time complexity) of known methods for norm computation and research the phase of normalization in the generation elliptic curves.

The paper proposes the use of an alternative method of calculation resultants through determinants Sylvester's matrix, that can be used to compute the norm of the element. However, this improvement is due to computation determinant internal structure Sylvester's matrix and basic operations. This reduces the overall complexity of the norm computation for almost 30%. We provide an assessment of theoretical complexity of this method and compare with other methods of norm computation Using practical implementation of explore methods we note the similarity of theoretical and practical evaluations of norm computation.

The research results can be used for counting order of the elliptical curves in specific system solutions. The advantage of methods based on resultants is with using other module: is the possibility of parallelizing computations of determinant (while the analytical method cannot be parallelizing) and a lot more speed in that case. In fact, our modification of the method of norm computation is optimal in terms of computational complexity for the case when you need to switch between bases for norm computation.

Keywords: order of the elliptic curve, norm computation, Sylvester's matrix, resultant.

Вступ. В Україні та в світі дуже швидко прогресують інформаційні технології. В еру активного розвитку технологій кожен день з'являються нові інформаційні сервіси та послуги, що об'єднують кінцевим користувачам існування в "інформаційному світі" та додають нові можливості. При цьому питання захисту інформації стає все актуальнішим. Для забезпечення безпеки інформаційних ресурсів в каналах зв'язку в Україні на рівні держави прийняті стандарти, що містять криптографічні алгоритми для виконання даних задач. Такі стандарти є або власні національні (ДСТУ

4145-2002, ДСТУ 7664-2014, ДСТУ 7624-2014), або гармонізовані міжнародні (ДСТУ ISO/IEC 14888, ДСТУ ISO/IEC 9796 та інші).

При використанні алгоритмів зі стандартів, розробники систем в більшості випадків використовують рекомендовані у стандартах значення та показники. Наприклад, для національного стандарту електронного цифрового підпису (далі – ЕЦП) визначені наступні загальносистемні параметри: поле, на якому визначена еліптична крива (далі – ЕК); коефіцієнти

© Р. С. Ганзя. 2017

рівняння кривої; порядок ЕК; базова точка ЕК; порядок базової точки; кофактор. Перелічені параметри містяться в стандарті в якості рекомендованих відповідно до рівня стійкості (максимальний розмір базової точки 431 біт. В українському стандарті ДСТУ-4145-2002 не визначена процедура генерування загальносистемних параметрів і процес формування рекомендованих параметрів зі стандарту також невідомий

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Відповідно до вимог з національного стандарту нами була запропонована методологія генерування загальносистемних параметрів ЕК для ДСТУ 4145-2002 [1]. Проте як показує аналіз даних у [2, 3, 4] існують об'єктивні причини збільшення розмірів загальносистемних параметрів крипто перетворень в групі точок еліптичних кривих.

Основна задача при формуванні загальносистемних параметрів для використання в групах точок ЕК зводиться до складного, з точки зору обчислення, завдання – обчислення кількості точок на ЕК [5]. Задача обчислення кількості точок на ЕК є нетривіальною і на даний момент в Україні відсутні у доступних джерелах дані про порядок виконання та сутність цього етапу. Проте в роботах [6–10] наводиться огляд і доказ математичних методів, що можуть використовуватися для обчислення кількості точок на ЕК.

Певні алгоритми та методи, що здатні обчислити порядок ЕК для бінарного поля (саме таке поле використане в ДСТУ 4145-2002) мають наступні кроки свого виконання:

- 1) Обчислення полінома, що задає поле (може бути переобчислений);
- 2) Обчислення елемента $C_j(\theta)$ для знаходження оберненої підстановки Фробеніуса (може бути передобчислений) [8];
- 3) Підняття j -інваріанту кривої до необхідної точності;
- 4) Знаходження значення c_0 з виразу $V_p^*(\tau) = c_0\tau_0 + O(\tau_0^2)$, більше детально цей крок для характеристики поля 2 описано у роботі Ск'єрни [10] або Веркаутерена [7];
- 5) Нормування коефіцієнтів значення з кроку 4 та отримання сліду ендоморфізму Фробеніуса;
- 6) Отримання значення порядку еліптичної кривої як $\#E(F_q) = 1 + q \pm t$, де t - значення, що отримане на попередньому кроці.

В наших попередніх роботах [2, 3] ми детально проаналізували та запропонували певні модифікації для кроків 1-4 обчислення $\#E$. Перші кроки алгоритмів обчислення порядку еліптичних кривих можуть бути обчислені з використанням p -адичних алгоритмів [8-10]. Оптимальним з точки зору обчислювальної складності є метод з роботи [9]. В роботі [7] наведена пропозиція щодо використання нормування для c_0 з метою отримання значення ендоморфізму Фробеніуса.

На даний момент існує аналітичний метод для обчислення норми [8] та метод на основі результанта [9]. Загальні відомості про обчислення норми описані авторами у [11]. Більш детально особливості даних

методів, а також їх обчислювальні та просторові складності, будуть проаналізовані далі в роботі.

При цьому математика в кільці p -адичних чисел, що необхідна побудови програмної моделі, описана в роботах [12, 13]. В якості основного критерію при дослідження будемо використовувати критерій часової складності (швидкодії) обчислення норми елемента в кільці та гарантії властивостей відповідних загальносистемних параметрів.

Ціль та задачі дослідження. Метою досліджень є визначення оптимального за часовим показником алгоритму нормування, що може бути використаний при побудові загальних параметрів еліптичних кривих.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Аналіз та порівняння методів нормування, що можуть бути використані для p -адичних алгоритмів.
2. Модифікація одного з методів, що може бути використаний в певних системних рішеннях при генерації власних (нерекомендованих у стандарті) загальних параметрів для ЕК, що визначена над двійковим полем.
3. Оцінка схожості теоретичної складності з практичною складністю порівнюваних алгоритмів.

Матеріали та методи дослідження методів нормування. Останнім важким з точки зору обчислювальної складності кроком при обчисленні порядку еліптичної кривої є процес обчислення норми. В загальному випадку можна представити дану задачу наступним чином: необхідно обчислити

$$N_{Q_p/Q_p}(\alpha) = \prod_{i=0}^{n-1} \Sigma^i(\alpha), \quad (1)$$

де $\alpha \in Z_q$.

Під виразом $\Sigma^i(\alpha)$ слід розуміти процес обчислення підстановки Фробеніуса, детально опис цього виразу можна знайти у [13].

Одним з перших алгоритмів обчислення норми був алгоритм Кедля [14], який запропонував використання звичайного піднесення в квадрат та множення, шляхом обчислення:

$$\alpha_{i+1} = \Sigma^{2^i}(\alpha_i) * \alpha_i, \quad (2)$$

для $i = 0, \dots, \lfloor \log_2 n \rfloor$ з $\alpha_0 = \alpha$. Так комбінуючи це вираз можна відновити $N_{Q_p/Q_p}(\alpha) = \Sigma^{n-1}(\alpha) \dots \Sigma(\alpha) \alpha$.

Нехай $n = \sum_{i=0}^l n_i 2^i$ з $n_i \in \{0, 1\}$ та $n_l = 1$, тоді можемо записати наступним чином:

$$N_{Q_p/Q_p}(\alpha) = \prod_{i=0}^l \Sigma^{2^{i+1} + 2^{i+2} + \dots + 2^l}(\alpha_i^{n_i}), \quad (3)$$

де сума $2^{i+1} + 2^{i+2} + \dots + 2^l$ визначається нулем для $i \geq l$.

Даний алгоритм є особливо привабливим для p -адичних полів з Гаусовим нормальним базисом малих характеристик, тому що там можливе ефективне і швидке обчислення підстановки Фробеніуса [8]. І в

такому випадку складність обчислення складає $O(\log n)$ множень та стільки ж обчислень підстановки Фробеніуса в $Z_q / (p^N Z_q)$, що складає приблизно $O((nN)^\mu \log n)$ бітових операцій з просторовою складністю $O(nN)$. Для інших базисів даний алгоритм практично не використовується через доволі велику складність обчислення підстановки Фробеніуса.

Множення двох цілих чисел, що складаються з n біт, здійснено за $O(n^\mu)$ операцій, де μ – це константа, яка визначає час виконання множення двох m бітових цілих чисел з часовою складністю $O(m^\mu)$. Так для класичних алгоритмів множення значення $\mu = 2$ для швидкого алгоритму Карацуби, слідуючи роботі [9], $\mu = \log_2 3$.

Проте для практичного використання більш цікавим є аналітичний метод обчислення норми, що був запропонований у роботі [8]. Автори методу канонічного підйому Сато-Ск'єрна-Тагучі еліптичної кривої також запропонували і метод нормування. Нехай $\exp(x) = \sum_{i=0}^{\infty} x^i / i!$ та $\log(x) = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i-1} (x-1)^i / i$ будуть p -адичними функціями експоненти та логарифму (у загальному випадку). Легкі обчислення показують нам, що $\exp(x)$ сходиться для $\text{ord}_p(x) > 1/(p-1)$ та $\log(x)$ сходиться для $\text{ord}_p(x-1) > 0$.

Припустимо спочатку, що α є близьким до одиниці, тобто $\text{ord}_p(\alpha-1) > 1/(p-1)$, тоді:

$$N_{Q_p/Q_p}(\alpha) = \exp(\text{Tr}_{Q_p/Q_p}(\log(\alpha))), \quad (4)$$

оскільки Σ є безперервним, то обидва ряди сходяться. Головним кроком в даному алгоритмі (4) є оцінка функції логарифма. Використовуючи загальний випадок обчислення функції логарифма ("сирий метод") на це буде необхідно $O(N)$ множень в $Z_q / (p^N Z_q)$ або $O(n^\mu N^{\mu+1})$ бітових операцій.

Автори ж роботи [8] запропонували інше вирішення цієї проблеми. Зокрема вони зазначили, що значення α^{p^k} для $k \in \mathbb{N}$ є дуже близьким до одиниці, тобто $\text{ord}_p(\alpha^{p^k} - 1) > k + \frac{1}{p-1}$. Якщо $\alpha \in Z_q / (p^N Z_q)$, тоді α^{p^k} визначається і в $Z_q / (p^{N+k} Z_q)$ та може бути обчислено за $O(k)$ множень в $Z_q / (p^{N+k} Z_q)$. В подальшому зауважимо, що

$$\log(\alpha) \equiv p^{-k} (\log(\alpha^{p^k})) (\text{mod } p^{N+k}) (\text{mod } p^N). \quad (5)$$

В такому випадку логарифм, що обчислюється всередині виразу (5) може бути обчислений з використанням $O(N/k)$ операція множення над $Z_q / (p^{N+k} Z_q)$. Тому якщо взяти $k \approx \sqrt{N}$, тоді обчис-

лити значення логарифму (всього виразу з 5) можна за $O(n^\mu N^{\mu+0.5})$ бітових операцій.

Для двійкових полів автори у [8] пропонують додаткове вдосконалення і на цей раз воно стосується напряму функції обчислення логарифму. Так як $\text{ord}_p(\alpha-1) > 1$, ми маємо $\alpha \equiv 1 (\text{mod } 2^v)$ для $v \geq 2$. Нехай $z = \alpha - 1 \in 2^v Z_q / (2^N Z_q)$ і тоді визначимо

$$\gamma = \frac{z}{2+z} \in 2^{v-1} Z_q / (2^{N-1} Z_q). \quad (6)$$

Тоді $\alpha = \frac{1+\gamma}{1-\gamma}$ і тому:

$$\log(\alpha) \equiv \log(1+z) = 2 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\gamma^{2j-1}}{2j-1}. \quad (7)$$

Зауважимо, що всі знаменники у виразі (7) є непарними. Приведення цього рівняння за модулем 2^N приведе до наступного

$$\log(\alpha) \equiv \log(1+z) = 2 \sum_{1 \leq (v-1)/(2j-1) < m-1}^{\infty} \frac{\gamma^{2j-1}}{2j-1} (\text{mod } 2^N). \quad (8)$$

Наступним кроком при обчисленні норми за аналітичним методом (4) є крок обчислення сліду Tr_{Q_p/Q_p} . Дана задача представляється наступним чином: визначаємо $\alpha_i \in Z_p$, як $\log(\alpha) \equiv \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i t^i (\text{mod } p^N)$ і тоді

$$\text{Tr}_{Q_p/Q_p} \log(\alpha) \equiv \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i \text{Tr}_{Q_p/Q_p}(t^i) (\text{mod } p^N), \quad (9)$$

в даному виразі кожен $\text{Tr}_{Q_p/Q_p}(t^i)$ для $i = 0, \dots, n-1$ може бути передобчислений з використанням формули Ньютона:

$$\text{Tr}_{Q_p/Q_p}(t^i) + \sum_{j=1}^{i-1} \text{Tr}_{Q_p/Q_p}(t^{i-j}) * f_{n-j} + i * f_{n-i} \equiv 0 (\text{mod } p^N). \quad (10)$$

В наведеному вище виразу під $f(t) = \sum_{i=0}^n f_i t^i$ мається на увазі поліном, що задає розширення кільця p -адичних чисел $Q_p \cong Q_p[t] / (f(t))$.

Нехай $t_a = \text{Tr}_{Q_p/Q_p}(\log(a)) \in Z_p$ тоді $\text{ord}_p(t_a) > 1/(p-1)$, отже $t_a \in pZ_p$ для $p \geq 3$ та $t_a \in 4Z_2$ для $p = 2$. Якщо передобчислити $\exp(p) (\text{mod } p^m)$ для $p \geq 3$ або $\exp(4) (\text{mod } p^m)$ для $p = 2$, отримаємо:

$$\exp(t_a) \equiv \exp(p)^{t_a/p} (\text{mod } p^m) \quad \text{для } p \geq 3, \quad (11)$$

$$\exp(t_a) \equiv \exp(4)^{t_a/p} (\text{mod } 2^m) \quad \text{для } p = 2, \quad (12)$$

після чого використовуючи звичайні алгоритми піднесення в квадрат та множення обчислимо $\exp(t_a)$. Тому, якщо значення α близьке до одиниці обчислення норми за алгоритмом (4) може бути обраховане з використанням $O(n^\mu N^{\mu+0.5})$ бітових операцій та з просторовою складністю $O(nN)$.

Зауважимо, що для $p=2$ ми припускаємо, що $\text{ord}_p(\alpha-1) > 1/(p-1)$; тоді як для $p \geq 3$ необхідно розглядати більш загальну ситуацію, де $\alpha \in Z_q$ не наближається до одиниці. Нехай $\bar{\alpha} \in F_q$ означає залишок по модулю p , а $\alpha_t \in Z_q$ значення підняття Тейхмюллера, тобто унікальний $(q-1)$ -ий корінь одиниці, який зводиться до $\bar{\alpha}$. Розглянемо рівність

$$N_{Q_p/Q_p}(\alpha) = N_{Q_p/Q_p}(\alpha_t) N_{Q_p/Q_p}(\alpha_t^{-1}\alpha); \quad (13)$$

тоді $\text{ord}_p(\alpha_t^{-1}\alpha-1) \geq 1 > 1/(p-1)$, так як p непарне. Крім того, зауважимо, що $N_{Q_p/Q_p}(\alpha_t)$ дорівнює підняттю Тейхмюллера $N_{F_p/F_p}(\bar{\alpha})$. Головна проблема в даному випадку обчислення підняття Тейхмюллера елемента. Використовуючи метод ітерацій Ньютона для $X^{1-q}-1=0$, $\alpha(\text{mod } p^N)$ може бути обчислений з використанням $O(n^{2\mu+1})$ бітових операцій та з просторовою складністю $O(n^2)$. Сато у роботі [12] вказав, що підняття Тейхмюллера α_t може бути ефективно обчислене як рішення

$$\Sigma(X) = X^p \quad \text{та} \quad X \equiv \bar{\alpha}(\text{mod } p). \quad (14)$$

Опираючись на метод SST [] можна стверджувати, що α_t може бути обчислений з

$$\Sigma^{-1}(X^p) = X \quad \text{та} \quad X \equiv \bar{\alpha}(\text{mod } p), \quad (15)$$

і використовуючи той самий трюк, що використаний в методі SST отримаємо, що для $W \approx n^{\mu/(1+\mu)}$ та $N \approx n/2$ складність такого обчислення складає $O(n^{2\mu+1/(1+\mu)})$ бітових операцій (не враховуючи складність передобчислень) та просторова складність $O(n^2)$.

Третій тип обчислення норми був запропонований Харлі у тій же роботі [9], де і метод підняття еліптичних кривих. Харлі запропонував асимптотично швидкий алгоритм обчислення норми, що базується на класичній формулі з теорії чисел, що представляє норму як результат. Сам результат може бути обчислено за допомогою адаптивного швидкого розширеного алгоритму пошуку НСД Моенка [15].

Нехай $Z_q = Z_p[\theta]$ з θ , який є коренем незвідного многочлена $f(x) \in Z_p[x]$ степені n . Тоді $f(x)$ повністю розщеплюється через Z_q як $f(x) = \prod_{i=0}^{n-1} (x - \Sigma^i(\theta))$, де Σ^i є підстановкою Фробеніуса відповідної степені.

Так для $\alpha \in Q_q$ отримаємо

$$N_{Q_p/Q_p}(\alpha) = p^{n \cdot \text{ord}_p(\alpha)} N_{Q_p/Q_p}(\alpha / p^{\text{ord}_p(\alpha)}).$$

Нехай $\alpha = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \theta^i$ буде одиницею в Z_q і визначимо $A(x) = \sum_{i=0}^{n-1} a_i x^i \in Z_p[x]$. За визначенням норми та результанта отримаємо наступне

$$N_{Q_p/Q_p}(\alpha) = \prod_{i=0}^{n-1} (\Sigma^i(\alpha)) = \prod_{i=0}^{n-1} A(\Sigma^i(\theta)) = \text{Res}(f(x), A(x)). \quad (16)$$

Так результат $\text{Res}(f(x), A(x))$ може бути обчислений майже в лінійний час, використовуючи варіант швидкого розширеного алгоритму пошуку НСД Моенка. Детально даний алгоритм описаний в [7], в даній роботі будуть наведені короткі відомості для побудови алгоритму нормування. Головна ідея алгоритму Моенка полягає у тому, що перша частка в алгоритмі Евкліда залежить тільки від найвищих коефіцієнтів вхідних поліномів.

Нехай $f = f_n x^n + \dots + f_0 \in K[x]$ буде поліном степені n над полем K і $f_n \neq 0$. Усічений поліном $f|k$ визначається як

$$f|k = f_n x^k + \dots + f_{n-k}, \quad (17)$$

де $f_i = 0$ для $i < 0$. Крім того, дві пари поліномів (f, g) та (f^*, g^*) збігаються з точністю до k , якщо $f|k = f^*|k$,

$$g|(k - (\deg f - \deg g)) = g^*|(k - (\deg f^* - \deg g^*)). \quad (18)$$

Враховуючи пару поліномів r_0 та r_1 з $\deg r_0 > \deg r_1$, алгоритм Евкліда обчислює наступний вираз

$$r_{i-1} = q_i r_i + p_{i+1} r_{i+1}, \quad (19)$$

з $q_i, r_i \in K[x]$, $p_{i+1} \in K$ для $i = 0, \dots, l$, $r_{l-1} = q_l r_l$. Нехай $m_i = \deg q_i$ для $k \in N$ визначимо значення $\eta(k) \in N$ наступним чином

$$\eta(k) = \max\{0 \leq j \leq l \mid \sum_{1 \leq i \leq j} m_i \leq k\}. \quad (20)$$

Базисом для алгоритму Моенка є лема, яка стверджує, що частки в алгоритмі Евкліда залежать тільки від самого високого значення коефіцієнтів на вході. Доведення даної леми наведено у [15]. Лема полягає у наступному, нехай $k \in N$ і припустимо, що (f, g) та (f^*, g^*) збігаються з точністю до $2k$, тоді

$\eta(k) = \eta^*(k), q_i = q_i^*$ та $p_{i+1} = p_{i+1}^*$ для $1 \leq i \leq \eta(k)$, з частками q_i, q_i^* та з старшими коефіцієнтами залишків p_{i+1}, p_{i+1}^* , що обчислені з використанням алгоритму Евкліда на вході з (f, g) та (f^*, g^*) відповідно.

Дана лема дозволяє зробити рекурсивний алгоритм обчислення розширеного алгоритму пошуку НСД двох поліномів. Так, для обчислення результанта необхідно стежити за скалярами $p_i \in K$ для $i = 0, \dots, l$. Дана лема сформульована так: нехай $f, g \in K[x]$ та мають степені $n = n_0$ та $n_1 \leq n_0$ відповідно. Нехай $n_2, \dots, n_l$ будуть степенями залишків в алгоритмі Евкліда для (f, g) , а $p_0, \dots, p_l$ їх найбільш значущі коефіцієнти. Якщо $\gcd(f, g) = 1$, тоді

$$\text{Res}(f, g) = (-1)^\tau \prod_{1 \leq j \leq l} p_j^{n_{j-1}}, \quad (21)$$

з $\tau = \sum_{1 \leq j \leq l} n_{j-1} n_j$. Результат за такою формулою може

бути обчислений використовуючи $O(n^u \log n)$ бітових операцій.

Хоча алгоритм 4 має квадратичну часову складність свого виконання, він не є особливо привабливим для застосування у криптографічних додатках. Щоб відновити правильну норму по модулю p^N її треба обчислювати за модулю p^{Nc} з малою константою c , що залежить від мінімального значення коефіцієнтів β / a_d , тому на практиці краще використовувати нормування за алгоритмом 3. Мінімальна обчислювальна складність такого методу виходить $O((nN)^u \log n)$.

Інша пропозиція методу обчислення норми через результат. З формули (16) видно, що для обчислення норми можна використати результат і Харлі запропонував метод, що має квадратичну складність свого виконання, проте на практиці її використовувати немає сенсу і краще використати аналітичний алгоритм обчислення норми, показаний у [8].

Пропозиція 1. Для обчислення результанта можна використати одну з його властивостей, а саме те, що результат дорівнює значенню матриці Сильвестра [16].

Добре відомо, що алгоритм Евкліда для обчислення найбільшого спільного дільника (НСД) двох цілих чисел відомий понад дві тисячі років, і, як з'ясується, це найстаріший з відомих алгоритмів. Інтерес до обчислення НСД двох многочленів вперше з'явився тільки в шістнадцятому столітті, і проблема була вирішена Саймоном Стевіні [16]. Суть ідеї проста – просто застосувати алгоритм Евкліда (для цілих чисел) тільки до многочленів з цілими коефіцієнтами. Однак, з обчислювальної точки зору, застосування алгоритму Евкліда до многочленів з цілими коефіцієнтами є дуже неефективним через зростання самих значень коефіцієнтів, що врешті-решт уповільнює обчислення. Таке зростання коефіцієнтів пов'язане з тим, що кільце $Z[x]$ не є евклідовим, і, отже, ділення (як ми його знаємо) не завжди може бути виконане.

Таким чином, проблема такого підходу полягає в тому, що коефіцієнти многочленів зростають в геометричній прогресії, і, отже, уповільнюють обчислення. Для контролю росту коефіцієнтів і позбавлення необхідності кожен раз обчислювати НСД коефіцієнтів Сильвестр у своїй статті в 1853 році запропонував інший підхід (а у 1948 Хабіхт довів ідею до кінця).

Ідея полягає у вирішенні описаної вище проблеми за допомогою триангуляції матриці, така форма матриці в даному випадку називається матриця Сильвестра, що дозволяє уникнути явного ділення поліномів. Так Сильвестр запропонував один із методів уникнення росту коефіцієнтів [16].

Побудова матриці Сильвестра здійснюється наступним чином, припустимо маємо два поліноми в $Z[x]$, $p_1(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0$ та $p_2(x) = b_m x^m + b_{m-1} x^{m-1} + \dots + b_0$, причому коефіцієнти $a_n \neq 0$, $b_m \neq 0$ та $n > m$. Взагалі існує декілька форм представлення матриці (форма ді Бруно та форма Труді), зупинимось на формі ді Бруно. Отже результат двох поліномів $p_1(x)$ та $p_2(x)$ при обчисленні з використанням матриці Сильвестра виглядає наступним чином:

$$\text{res}(p_1(x), p_2(x)) = \begin{vmatrix} a_n & a_{n-1} & \dots & a_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_n & a_{n-1} & \dots & a_0 & \dots & 0 \\ & & & & \vdots & & \\ 0 & 0 & \dots & a_n & a_{n-1} & \dots & a_0 \\ b_m & b_{m-1} & \dots & b_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & b_m & b_{m-1} & \dots & b_0 & 0 & \dots & 0 \\ & & & & \vdots & & & \\ 0 & 0 & \dots & b_m & b_{m-1} & \dots & b_0 \end{vmatrix}. \quad (22)$$

Матриця Сильвестра має $n+m$ рядків та $n+m$ стовпчиків, для отримання значення результанта необхідно обчислити детермінант даної матриці. Обчислення детермінанта можна виконати будь-яким відомим способом для цілих чисел, проте є певні особливості, пов'язані з операціями в кільці p -адичних чисел а саме: обчислення виконуються в кільці, тому операцію ділення треба замінити на множення оберненого елемента, всі операції необхідно виконувати за модулем заданої точності N .

Для прикладу далі сформуємо наступну задачу, нехай маємо кільце p -адичних чисел Z_2 , що визначається як $Z_2[X] / M(x)$ з $M(x) = x^7 + x + 1$ (зауважимо, що в даному випадку використовуємо модуль у розрядженій формі, а не у формі Тейхмюллера), елемент з кільці $a(x) = 40x^6 + 32x^5 + 44x^4 + 4x^2 + 60x + 53$, а точність $N = 6$. Необхідно розрахувати норму даного елемента або відповідно до (16) результат поліномів $M(x)$ та $a(x)$. Для цього сформуємо матрицю Сильвестра, що виглядає наступним чином:

$$M_s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Детермінант даної матриці був обчислений з використанням метода Гауса і тоді маємо наступний вираз:

$$\begin{aligned} \det(M_s) &= 484537365 \pmod{2^6} = \\ &= 21 = \text{Res}(M(x), a(x) = N_{Q_p/Q_p}(a)). \end{aligned} \quad (24)$$

Далі розглянемо детально метод обчислення детермінанта та нашу модифікацію для його подальшого використання при обчисленні порядку еліптичних кривих.

Модифікація методу обчислення норми через результат. Аналізуючи матрицю з (23), а також модулі, що будуть використовуватись при обчисленні порядку еліптичних кривих, можна зробити висновок, що матриця Сильвестра завжди буде мати схожий на (23) вигляд. Мається на увазі, що коефіцієнт матриці $a_{0,0}$ буде завжди дорівнювати одиниці і він завжди буде зміщатися на один вниз та на один вправо і переходити в $a_{1,1}$ і далі в наступний елемент головної діагоналі аж до $a_{n-2,n-2}$, після цього за схожим принципом буде розміщено елемент щодо якого необхідно розрахувати норму.

Пропозиція 2. Для обчислення детермінанта матриці Сильвестра оптимальним є використання метода Гауса.

Аналіз матриці (22) та (23), як прикладу, показує, що в матриці дуже багато нульових елементів у верхній частині матриці, а елементи головної діагоналі від $a_{0,0}$ до $a_{n-2,n-2}$ дорівнюють одиниці. З використанням такої особливості метод Гауса є дуже привабливим з точки зору оптимізації обчислень при нормуванні.

Суть методу Гауса полягає у приведенні матриці до трикутного виду (виконання тріангуляції матриці) шляхом еквівалентних перетворень. До таких перетворень відносяться:

- перестановка рядків;
- додавання до елементів одного рядка відповідних елементів іншого рядка, множення на константу.

Виконання над матрицею еквівалентних перетворень не змінить значення детермінанта матриці заданої матрицею. Побудова трикутної матриці є частиною алгоритму Гаусса-Жордана рішення СЛАР, а також обчислення детермінанта методом Гауса.

Для «обнулення» елементів i -того стовпця матриці досить до всіх рядків з номерами $j = i+1, \dots, n$ (n – розмір матриці) додати i -ий рядок, помножений на $-a_{j,i} / a_{i,i}$ (варто зауважити, що всі операції повинні виконуватись в кільці p -адичних чисел, зокрема операція ділення повинна бути замінена на множення і пошук оберненого елемента). При виконанні такої операції може виникати потреба ділення на нуль, якщо елемент на головній діагоналі виявиться рівним нулю - в цьому випадку виконують перестановку рядків матриці. Найбільш ефективним підходом до перестановки рядків є перестановка i -того рядка з рядком, що має максимальний по модулю елемент в i -тому стовпці. Доведено, що при виконанні такої перестановки для кожного рядка (а не тільки коли $a_{i,i} \equiv 0$) для матриці з ненульовим детермінантом ми завжди знайдемо рядок для заміни.

В нашому випадку (23) ми можемо множити елемент головної діагоналі на елементи, що знаходяться під ним і поступово "обнулити" майже половину матриці, а враховуючи те, що на головній діагоналі завжди знаходяться одиниці в даному випадку не потрібно навіть знаходити обернений елемент до нього, після проходження елементів головної діагоналі до $a_{n-2,n-2}$ (n – розмір базового поля) з використанням елементарних перетворень матриця M_s прийме наступний вигляд:

$$M_s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & 56 & 52 & 20 & 60 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 60 & 13 & 56 & 52 & 20 & 60 & 60 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 60 & 13 & 56 & 52 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 60 & 13 & 56 & 52 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 44 & 0 & 4 & 60 & 13 & 56 & 32 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 13 & 24 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 \end{pmatrix}. \quad (25)$$

Для проведення такої модифікації на необхідно виконати

Пропозиція 3. Обчислення детермінанта матриці Сильвестра можна умовно розділити на 2 етапи: перший етап – "обнулення" половини матриці з використанням особливостей її побудови і метода тріангуляції матриці; другий етап – обчислення детермінанта зменшеної матриці, що починається з елемента головної діагоналі $a_{n-1,n-1}$.

Аналізуючи для прикладу матрицю M_s , що відображена у (25), можна зробити висновок, що при знаходженні добутку елементів головної діагоналі (заключний етап метода Гауса) для визначення детермінанта, значення завжди будуть мати лише елементи нижче $n-1$ рядка, бо інші будуть дорівнювати одиниці, що не змінить значення детермінанта. Враховуючи

таку отриману особливість, можна зробити висновок, що так як значення елементів, що знаходяться вище $n-1$ рядка і лівіше від $n-1$ стовпчика (так як вони вже дорівнюють нулю) не здійснюють впливу на обчислення детермінанта матриці, ми можемо перейти до зменшеної матриці, що формується з $n-1$ рядка та $n-1$ стовпчика, і провести її обчислення будь-яким іншим зручним способом (не обов'язково метод Гауса). Зменшена матриця M_{sn} (розмірність такої матриці буде $n \times n$) відображена нижче:

$$M_{sn} = \begin{vmatrix} 13 & 56 & 52 & 20 & 60 & 0 & 4 \\ 60 & 13 & 56 & 52 & 20 & 60 & 60 \\ 4 & 60 & 13 & 56 & 52 & 20 & 0 \\ 0 & 4 & 60 & 13 & 56 & 52 & 20 \\ 44 & 0 & 4 & 60 & 13 & 56 & 32 \\ 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 13 & 24 \\ 40 & 32 & 44 & 0 & 4 & 60 & 53 \end{vmatrix}. \quad (26)$$

Для обчислення детермінанта M_{sn} можна використати будь-який відомий метод. Так, метод обчислення за мінорами має складність $O(2^n n)$, метод Гауса має складність $O(n^3)$. Одним з найкращих є метод декомпозицій (існують методи декомпозицій LU, QR та інші), такі методи мають таку ж складність як і метод Гауса [17]. Але якщо дві матриці порядку n можуть бути помножені за час $M(n)$, де $M(n) \geq n^a$, для деякого $a > 2$, то детермінант може бути обчислений

зі складністю $O(M(n))$ [18]. Це означає, що, наприклад, при використанні для множення алгоритм Копперсміт-Винограда, складність обчислення детермінанта буде складати $O(n^{2.376})$.

Наприклад, продовження використання метода Гауса і приведення матриці до трикутного виду перетворить зменшену матрицю M_{sn} у наступну

$$M_{sn} = \begin{vmatrix} 13 & 56 & 52 & 20 & 60 & 0 & 4 \\ 0 & 45 & 8 & 4 & 4 & 60 & 12 \\ 0 & 0 & 29 & 56 & 20 & 4 & 32 \\ 0 & 0 & 0 & 13 & 56 & 20 & 36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & 56 & 48 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & 56 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 53 \end{vmatrix}. \quad (27)$$

Добуток елементів головної діагоналі в даному випадку і дасть нам такий самий результат як і в (24).

Результати дослідження обчислювальної складності і програмна реалізація методів нормування

Відразу зауважимо, що складність арифметичних операцій в $Z_p / p^N Z_p = Z / p^N Z$ наведена у табл. 1.

Складність арифметичних операцій в $Z_q / p^N Z_q = Z[x] / (p^N, f(x))$, де $f \in Z[x]$ і є незвідним многочленом за модулем p наведена у табл. 2.

Таблиця 1 – Складність операцій в кільці p -адичних чисел

№	Операція	Часова складність	Просторова складність
1	Додавання	$O(\log_2(p^N))$	$O(\log_2(p^N))$
2	Віднімання	$O(\log_2(p^N))$	$O(\log_2(p^N))$
3	Множення	$O((\log_2(p^N))^\mu)$	$O((\log_2(p^N))^2)$
4	Пошук експоненти	$O((\log_2(p^N))^{\mu+1})$	$O((\log_2(p^N))^2)$
5	Інверсія	$O((\log_2^2(p^N))^\mu)$	$O((\log_2^2(p^N))^\mu)$

Таблиця 2 – Складність операцій в розширені кільці p -адичних чисел

№	Операція	Часова складність	Просторова складність
1	Додавання	$O(\log_2(p^n))$	$O(\log_2(p^n))$
2	Віднімання	$O(\log_2(p^n))$	$O(\log_2(p^n))$
3	Множення	$O((N^\mu \log_2(p^n))^\mu)$	$O((N^2 \log_2(p^n))^2)$
4	Пошук експоненти	$O((N^{\mu+1} \log_2(p^n))^{\mu+1})$	$O((N^2 \log_2(p^n))^2)$
5	Інверсія	$O((N^\mu \log_2(p^n))^\mu)$	$O((N^2 \log_2(p^n))^2)$

Дані про складність виконання обчислень взяті з [19] та адаптовані з використанням інформації про p -адичні операції з [13]. Надалі будемо розраховувати теоретичну складність обчислень з урахуванням того, що $p = 2$, тобто проведемо адаптацію під національний стандарт ДСТУ 4145-2002.

Детальний опис і аналіз алгоритмів нормування проведено в попередніх розділах. Далі зупинимося на

нашій модифікації алгоритму обчислення норми через результат з використанням матриці Сильвестра. Складність обчислення детермінанта з використанням методу Гауса складає $O(n^3)$ операцій, враховуючи складність операцій в кільці $Z / p^N Z$, результуюча складність метода Гауса для проведення етапу нормування складає, за нашими грубими оцінками, прибли-

зно $O(n^3(N)^\mu)$. Порівнювати складність обчислювання результанта будемо з алгоритмом нормування, визначеному у тій же роботі, де і алгоритм SST, його складність - $O(n^\mu N^{\mu+0,5})$. Далі порівняно з цим виведемо теоретичну часову складність нашої модифікації алгоритму обчислення норми через матрицю Сильвестра (відповідно до пропозиції 3).

На першому етапі алгоритму треба виконати множення одиниць у верхній частині матриці на значення елементів матриці, що знаходиться у нижній частині. Для цього необхідно виконати $i = \sum_{i=1}^{d-1} i$ мно-

жень в кільці. Так як елементи верхньої частини матриці у більшості рядка дорівнюють одиниці або нулю, то там множення робити не треба, а лише поступово замінити на необхідні значення нижньої частини матриці (мається на увазі для рядків від $n-1$ до $2n-2$). Після цього необхідно поступово знайти різницю між рядками $i = 0, \dots, d-2$ та рядками $i = n-1, \dots, 2n-2$. Для цього необхідно здійснити операцію віднімання $2n-1$ разів, потім $2(2n-2)$ разів і так далі. Таким чином складність першого етапу можна оцінити у $O\left(\left(\sum_{i=1}^{d-1} i(2n-i)\right)N\right)$ бітових операцій. Якщо спростити даний вираз, то можна сказати, що необхідно приблизно $O\left(\frac{n^3}{2}N\right)$ бітових операцій.

На наступному етапі необхідно обчислити детермінант зменшеної матриці відповідно до пояснень у пропозиції 3. Далі буде наведена детальна оцінка обчислювальної складності для метода Гауса для другого етапу виконання нашої модифікації алгоритму нормування. Для виконання метода Гауса на кожній ітерації з можливих $n-1$ необхідно знайти один раз обернений елемент до елемента на головній діагоналі (виконати інверсію). Після цього необхідно буде виконати $(n-i)(n-i+1)$, де $i = 0, \dots, n-1$, операцій множення та віднімання. З кожною ітерацією (мається на увазі з переходом на інший елемент головної діагоналі, що буде "занулювати" стовпчик під ним) кількість операцій множення та віднімання різко зменшується, тому що для стовпчиків, що будуть знаходитися зліва дані

операції вже роботи не потрібні. Таким чином отримаємо наступну кількість операцій:

- інверсії: $n-1$;
- множення: $\sum_{i=1}^{d-1} (n-i)(n-i+1)$;
- віднімання: $\sum_{i=1}^{d-1} (n-i)(n-i+1)$.

Якщо спростити отримані вирази для операцій множення та віднімання, то їх кількість буде дорівнювати $\frac{n^3-n}{3}$.

Після цих перетворень також додатково необхідно провести $n-1$ операцій множення (елементів головної діагоналі) для визначення детермінанта зменшеної матриці. Враховуючи те, що кількість операцій інверсії та множення елементів головної діагоналі дуже незначна, порівняно з кількістю інших операцій, то ними можна знехтувати у загальній оцінці складності. Таким чином асимптотична складність метода обчислення детермінанта для зменшеної матриці складає

$$O\left(\frac{n^3-n}{3}N + \frac{n^3-n}{3}N^\mu\right) \text{ бітових операцій. Варто за-}$$

уважити, що таку оцінку метода Гауса можна використати і при обчисленні детермінанта матриці Сильвестра (немодифікованого методу), але за умови, що вона більша $n \rightarrow 2n-1$.

Якщо підсумувати складність модифікованого методу, то отримаємо наступний результат

$$O\left(\frac{n^3}{2}N + \frac{n^3-n}{3}N + \frac{n^3-n}{3}N^\mu\right), \text{ де } \mu - \text{це константа,}$$

яка визначає час виконання множення двох m бітових цілих чисел з часовою складністю $O(m^\mu)$. Так для класичних алгоритмів множення значення $\mu = 2$ для швидкого алгоритму Карацуби, слідуючи роботі [19], $\mu = \log_2 3$ (приблизно $\mu = 1,6$), значення $N \approx n/2$.

Результати порівняння теоретичної обчислювальної складності алгоритмів нормування для різних розмірів базового поля наведені у табл. 3 (всі наведені результати вимірюються в бітових операціях).

Таблиця 3 – Теоретична складність оцінюваних методів нормування

Степінь розширення поля, bit	Алгоритм нормування, обчислювальна складність (бітових операцій)			
	Результат через швидкий алгоритм Моєнка	Аналітичний метод	Результат через матрицю Сильвестра	Модифікований метод через зменшену матрицю
7	$4,7 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$	$9,9 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$
79	$2,5 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$5,2 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^7$
107	$7 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^9$
257	$1,4 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{10}$
383	$5,2 \cdot 10^8$	$8,5 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^{11}$	$9,3 \cdot 10^{10}$
503	$1,3 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{11}$
709	$4,1 \cdot 10^9$	$8,2 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{12}$
827	$7 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$3,1 \cdot 10^{12}$
1031	$1,4 \cdot 10^{10}$	$3,3 \cdot 10^{10}$	$6,5 \cdot 10^{13}$	$8,5 \cdot 10^{12}$

За результатами оцінки табл. 3 можна зробити висновки, що оптимальним є використання алгоритму обчислення норми відповідно до швидкого знаходження НСД з використанням алгоритму Моєнка, проте відповідно до зауважень [7], даний алгоритм на практиці важко реалізується і вимагає більшої кількості обчислень. Таким чином порівняно з нашими варіаціями методів обчислення норми через матрицю Сильвестра, оптимальним виходить використання аналітичного методу з [8] (запропонованого Сато, Ск'єрною та Тагучі).

Далі проведемо оцінку складності виконання даних методів з точки зору програмної реалізації. Для дослідження методів нормування, як одного кроків,

обчислення кількості точок на еліптичній кривій, нами було розроблено програмний засіб на мові C++ з використанням бібліотеки NTL та gmp. Дослідження, щодо часу виконання алгоритмів проводилися на програмі, що була скомпільована з використанням gcc 4.8.4 на операційній системі Ubuntu 14.04 та процесорі Intel Core i5-2300. Так як всі операції для алгоритмів виконуються послідовно, тобто розпаралелювання відсутнє, кількість ядер у складі центрального процесора неважливо.

У табл.4 наведено час обчислення норми для різних розмірів базового поля та різних методів нормування.

Таблиця 4 – Практична складність оцінюваних методів нормування

Степінь розширення поля d , bit	Алгоритм нормування		
	SST метод, c	Результант через матрицю Сильвестра, c	Модифікований метод через зменшену матрицю, c
7	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
79	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
107	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
257	0,05	0,9	0,7
383	0,13	3	2,7
503	0,2	7,2	6,2
709	0,5	26,1	20,1
827	0,7	53,1	41,5
1031	1,7	122,6	101

За результатами аналізу Таблиці 4 можна стверджувати, що практична обчислювальна складність модифікованого методу менша приблизно на 20 %, порівняно зі звичайним методом обчислення детермінанта матриці Сильвестра. Якщо порівнювати методи знаходження норми через результат, то вони гірші від аналітичного методу для 257 біт майже у 20 разів, для 503 у 30 разів і чим далі тим вони стають менш ефективними.

Якщо порівняти Таблицю 3 та Таблицю 4, то можна стверджувати, що практичні та теоретичні складності даних методів майже сходяться. Звичайно це зумовлено тим, що оцінка аналітичного методу є доволі грубою і теоретична оцінка не враховує інші складності, що містяться в програмних реалізаціях. Проте характер росту складності даних методів від розміру розширення базового поля спостерігається і сходиться.

Перевагою методів на основі результат є можливість розпаралелювання обчислень детермінанта, в той час як аналітичний метод розпаралелити неможливо. На даний момент ми не проводили модифікацію методів на основі обчислення детермінанта у напрямку розпаралелювання обчислень.

Обговорення результатів дослідження та проблематики використання аналітичного методу і методів на основі результанта. Автори національного стандарту електронного цифрового підпису ДСТУ 4145-2002 пропонують використовувати представлення, коли в якості модуля використовується $f(x) \in \mathbb{Z}_q[x]$. Мається на увазі, що такий поліном є розрядженим, незвідним у $F_p[x]$ степені n . Використання такого представлення дає можливість ефективно проводити алгебраїчні операції в кільці, особливо операцію взяття за модулем. Проте для операції, що необ-

хідна для канонічного підйому еліптичних кривих, а саме обчислення значення підстановки Фробеніуса, є дуже повільною. Для зменшення обчислювальної складності обчислення підстановки Фробеніуса автори методу SST в роботі [8] запропонували використовувати інше представлення кільця p -адичних чисел. Таке представлення дозволяє значно прискорити обчислення підстановки Фробеніуса, але вимагає певних передобчислень.

Суть використання альтернативного представлення полягає у використанні модуля Тейхмюллера. Таке представлення кільця дозволяє зменшити обчислення підстановки Фробеніуса. Так як $\Sigma(\theta) = \theta^p$ за модулем 2 та $\Sigma(\theta) \in (q-1)$ -ий корінь одиниці в $\mathbb{Z}_q$, автори роблять висновок, що $\Sigma(\theta) = \theta^p \bmod p$. Тому ефективне обчислення підстановки Фробеніуса зводиться до:

$$\sum \left(\sum_{i=0}^{n-1} a_i \theta^i \right) = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \theta^{ip}, \quad (28)$$

результат обчислень в такому випадку треба завжди приводити за модулем Тейхмюллера. Для двійкового поля характеристика p приймає значення 2.

Проте автори методів у своїх роботах пропонують використання оберненої підстановки Фробеніуса, а для двійкового поля, обчислення оберненої підстановки Фробеніуса не вимагає великої кількості обчислень при використанні модуля Тейхмюллера, а передобчислення полягають в знаходженні лише одного елемента:

$$C_1(\theta) = \theta^{2^{n-1}}, \quad (29)$$

що також є тривіальною задачею.

Проте таке використання простору не підходить для обчислення норми за аналітичним методом, а саме для обчислення логарифму (8), тобто трюки, які автори у запропонували у своїй роботі [8] для використання будуть дієві тільки при обчисленнях за модулем $f(x) \in Z_q[x]$, що є розрядженим тринмом чи пентамом за модулем p . Тому для цього після підняття еліптичної кривої і перед обчислення норми необхідно провести конвертацією елемента $\alpha \in Z_q$, щодо якого буде виконуватися операція нормування $N_{Q_p/Q_p}(\alpha)$, перехід з одного базису в інший.

Для переходу з одного базису в інший необхідно побудувати матрицю переходу, детально інформацію про побудову такої матриці можна знайти у [17]. Зауважимо, що в стовпцях матриці переходу записані координати нових базисних векторів щодо старого базису. В нашому випадку, при обчисленні порядку еліптичної кривої, для матриці переходу необхідно обчис-

лити підняття Тейхмюллера для елементів $0, x, \dots, x^n$. Алгоритм підняття Тейхмюллера описаний у [7, 9]. Складність такого підняття приблизно дорівнює $O(N^{\mu+1}n^{\mu})$, так як таких підйомів необхідно виконати n , то складність переходу між базисами складає $O(N^{\mu+1}n^{\mu+1})$. Після формування матриці переходу необхідно її помножити на вектор (елемент α), таке множення не вносить особливої складності при переході.

Теоретична та практична складність конвертації елементів з одного базису в інший, а також повна складність етапу нормування для проаналізованих методів наведена у Таблиці 5. Зауважимо, що нормування за результатом виконувалося без переходу до іншого базису, тобто всі операції виконувалися з модулем, що представлений у формі Тейхмюллера і в цьому разі складність обчислень більша, ніж наведена в оцінці у попередньому розділі.

Таблиця 5 – Практична складність оцінюваних методів нормування з урахуванням переходів між базисами

Степінь розширення поля d , біт	Алгоритм				
	Теоретична складність переходу, $O(N^{\mu+1}n^{\mu+1})$, бітових операцій	Практична складність переходу, c	SST метод з переходом, c	Результант через матрицю Сильвестра без переходу, c	Модифікований метод через зменшену матрицю без переходу, c
7	$4 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$
79	10^9	$7,1 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$
107	$5,9 \cdot 10^9$	1,1	1,2	0,7	0,06
257	$5,6 \cdot 10^{11}$	29,7	29,8	1,2	1
383	$4,5 \cdot 10^{12}$	134,9	135	4,25	4
503	$1,8 \cdot 10^{13}$	312,8	313	9,9	8,9
709	10^{14}	1707,5	1708	38,6	34,4
827	$2,4 \cdot 10^{14}$	2798,3	2799	75,9	65,7
1031	$7,7 \cdot 10^{14}$	5471,3	5473	189,7	165,5

За результатами аналізу табл. 5 можна стверджувати, що практична обчислювальна складність модифікованого методу менша приблизно на 15 %, порівняно зі звичайним методом обчислення детермінанту матриці Сильвестра, навіть для іншого базису (Тейхмюллера). Якщо взяти до увагу складність переходу між базисами, то ситуація кардинально відрізняється порівняно з попереднім розділом. Так складність обчислення методів знаходження норми через результат менша від аналітичного методу для 257 біт майже у 30 разів, для 503 у 35 разів і чим далі тим вони стають більш ефективними, порівняно з аналітичним методом.

Якщо порівняти табл. 3, табл. 4 та табл. 5, то можна стверджувати, що практичні та теоретичні складності даних методів майже сходяться. Звичайно це зумовлено тим, що оцінка аналітичного методу є доволі грубою, а теоретична оцінка методів на основі результанта не враховує інші складності, що містяться в програмних реалізаціях і особливостях використання іншого модуля. Проте характер росту складності даних методів від розміру розширення базового поля спостерігається і сходиться.

Перевагою методів на основі результанта при використанні іншого модуля є можливість розпаралелювання обчислень детермінанта, в той час як аналітичний метод розпаралелити неможливо, а також на

багато більша швидкість. Фактично наша модифікація методу обчислення норми є оптимальною з точки зору складності обчислень для випадку, коли необхідно переходити між базисами для обчислення норми.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Аналітичний метод є оптимальним для свого використання, коли обчислення проводяться в оптимальному поліноміальному базисі або є передобчислена матриця переходу між базисами. В той час запропонований в цій роботі методу на основі результанта та використання зменшеної матриці Сильвестра є оптимальним при використанні базису Тейхмюллера, порівняно з аналітичним методом у цьому ж базисі. Крім того, наша модифікація методу може бути розпаралелена при виконанні обчислень, в той же час аналітичний метод не може бути розпаралелений.

2. Модифікація одного з методів, що може бути використаний в певних системних рішеннях при генерації власних (нерекомендованих у стандарті) загальних параметрів для ЕК, що визначена над двійковим полем, може бути використана для обчислення норми.

3. В роботі запропоновано використання матриці Сильвестра для обчислення результанту і відповідно до [9] норми елемента в кільці p -адичних чисел, а основі

цього методу запропонована наша модифікація. Для всіх алгоритмів, в тому числі і запропонованих (модифікованих) нами, було наведено та обчислено часову складність виконання. Для аналітичного методу, методів на основі результанта прорахована теоретична та оцінена практична складність обчислення норми. Показано, що теоретичні та практичні оцінки сходяться.

Список літератури:

1. Ганзя, Р. С. Методологія генерування сильних криптографічних загальносистемних параметрів еліптичних кривих [Текст] / Р. С. Ганзя // Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем. – Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017. – С. 40–44.
2. Ганзя, Р. С. Оцінка обчислювальної складності методів підрахунку кількості точок на еліптичній кривій [Текст] / Р. С. Ганзя // Системи обробки інформації. – 2016. – Вип. 8 (145). – С. 92–99.
3. Gorbenko, I. Examination and implementation of the fast method for computing the order of elliptic curve [Text] / I. Gorbenko, R. Hanzia // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2, Issue 9 (86). – P. 11–20. doi: [10.15587/1729-4061.2017.95194](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.95194)
4. Горбенко, Ю. І. Аналіз можливостей квантових комп'ютерів та квантових обчислень для криптоаналізу сучасних криптосистем [Текст] / Ю. І. Горбенко, Р. С. Ганзя // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 9 (67). – С. 8–16. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19897/18759>
5. Горбенко, І. Д. Прикладна криптологія [Текст]: монографія / І. Д. Горбенко, Ю. І. Горбенко; ХНУРЕ. – Х.: Форт, 2012. – 868 с.
6. Schoof, R. Counting points on elliptic curves over finite fields [Text] / R. Schoof // Journal de Théorie des Nombres de Bordeaux. – 1995. – Vol. 7, Issue 1. – P. 219–254. doi: [10.5802/jtnb.142](https://doi.org/10.5802/jtnb.142)
7. Vercauteren, F. Computing zeta functions of curves over finite fields [Text]: dissertation for the degree of PhD / F. Vercauteren. – Katholieke Universiteit Leuven, 2003. – 195 p.
8. Satoh, T. Fast computation of canonical lifts of elliptic curves and its application to point counting [Text] / T. Satoh, B. Skjernaa, Y. Taguchi // Finite Fields and Their Applications. – 2003. – Vol. 9, Issue 1. – P. 89–101. doi: [10.1016/s1071-5797\(02\)00013-8](https://doi.org/10.1016/s1071-5797(02)00013-8)
9. Harley, R. Asymptotically optimal p-adic point-counting [Electronic resource] / R. Harley // Listserv. – 2002. – Available at: <https://listserv.nodak.edu/cgi-bin/wa.exe?A2=ind0212&L=NMBRTHRY&F=&S=&P=7824>
10. Skjernaa, B. Satoh's algorithm in characteristic 2 [Text] / B. Skjernaa // Mathematics of Computation. – 2002. – Vol. 72, Issue 241. – P. 477–488. doi: [10.1090/s0025-5718-02-01434-5](https://doi.org/10.1090/s0025-5718-02-01434-5)
11. Advances in Elliptic Curve Cryptography [Text] / I. F. Blake, G. Seroussi, N. P. Smart (Eds.). – NY, USA, 2005. – 281 p. doi: [10.1017/cbo9780511546570](https://doi.org/10.1017/cbo9780511546570)
12. Satoh, T. Asymptotically fast algorithm for computing the Frobenius substitution and norms over unramified extension of p-adic number fields [Text] / T. Satoh. – Department of Mathematics, Faculty of Science, Saitama University, 2001. – P. 1–21.
13. Cohen, H. Elliptic and Hyperelliptic Curve Cryptography [Text] / H. Cohen, G. Frey. – NW.: Chapman & Hall/CRC, 2006. – 843 p.
14. Kedlaya, K. S. Counting points on hyperelliptic curves using Monsky-Washnitzer cohomology [Text] / K. S. Kedlaya // J. Ramanujan Math. Soc. – 2001. – Vol. 16. – P. 323–328.
15. Moenck, R. T. Fast computation of GCDs [Text] / R. T. Moenck // Proceedings of the fifth annual ACM symposium on Theory of computing – STOC '73. – 1973. doi: [10.1145/800125.804045](https://doi.org/10.1145/800125.804045)
16. Akritas, A. G. Sylvester's Forgotten Form of the Resultant [Text] / A. G. Akritas // Fibonacci Quart. – 1993. – Vol. 31, Issue 4. – P. 325–332.
17. Магазников, Л. И. Линейная алгебра. Аналитическая геометрия [Текст]: уч. пос. / Л. И. Магазников, А. Л. Магазникова;

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск, 2010. – 176 с.

18. Bunch, J. R. Triangular Factorization and Inversion by Fast Matrix Multiplication [Text] / J. R. Bunch, J. E. Hopcroft // Mathematics of Computation. – 1974. – Vol. 28, Issue 125. – P. 231. doi: [10.2307/2005828](https://doi.org/10.2307/2005828)
19. Bach, E. Algorithmic Number Theory. Vol. 1: Efficient Algorithms [Text] / E. Bach, J. Shalit; Cambridge, Massachusetts. – Massachusetts Institute of Technology, 1996. – 512 p.

Bibliography (transliterated):

1. Hanzia, R. (2017). Metodolohiia heneruvannia syl'nykh kryptohrafichnykh zahalnosystemnykh parametriv eliptychnykh kryvykh. Problemy kiberbezpeky informatsiino-telekomunikatsiinykh system. Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi universytet imeni Tarasa Shevchenka, 40–44.
2. Hanzia, R. S. (2016). Otsinka obchyslyval'noyi skladnosti metodiv pidrakhunku kil'kosti tochk na eliptychniy kryviy. Systemy obrobky informatsiyi, 8 (145), 92–99.
3. Gorbenko, I., Hanzia, R. (2017). Examination and implementation of the fast method for computing the order of elliptic curve. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (86)), 11–21. doi: [10.15587/1729-4061.2017.95194](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.95194)
4. Gorbenko, I., Hanzia, R. (2014). Analysis of the possibility of quantum computers and quantum computations for cryptanalysis of modern cryptosystems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (67)), 8–16. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19897/18759>
5. Horbenko, I. D., Horbenko, Yu. I. (2012). Prykladna kryptolohiya. Kharkiv: Fort, 868.
6. Schoof, R. (1995). Counting points on elliptic curves over finite fields. Journal de Théorie Des Nombres de Bordeaux, 7 (1), 219–254. doi: [10.5802/jtnb.142](https://doi.org/10.5802/jtnb.142)
7. Vercauteren, F. (2013). Computing zeta functions of curves over finite fields. Katholieke Universiteit Leuven, 195.
8. Satoh, T., Skjernaa, B., Taguchi, Y. (2003). Fast computation of canonical lifts of elliptic curves and its application to point counting. Finite Fields and Their Applications, 9 (1), 89–101. doi: [10.1016/s1071-5797\(02\)00013-8](https://doi.org/10.1016/s1071-5797(02)00013-8)
9. Harley, R. (2002). Asymptotically optimal p-adic point-counting. Listserv. Available at: <https://listserv.nodak.edu/cgi-bin/wa.exe?A2=ind0212&L=NMBRTHRY&F=&S=&P=7824>
10. Skjernaa, B. (2002). Satoh's algorithm in characteristic 2. Mathematics of Computation, 72 (241), 477–488. doi: [10.1090/s0025-5718-02-01434-5](https://doi.org/10.1090/s0025-5718-02-01434-5)
11. Blake, I. F., Seroussi, G., Smart, N. P. (Eds.) (2005). Advances in Elliptic Curve Cryptography. NY, USA, 281. doi: [10.1017/cbo9780511546570](https://doi.org/10.1017/cbo9780511546570)
12. Satoh, T. (2001). Asymptotically fast algorithm for computing the Frobenius substitution and norms over unramified extension of p-adic number fields. Department of Mathematics, Faculty of Science, Saitama University, 1–21.
13. Cohen, H., Frey, G. (2006). Elliptic and Hyperelliptic Curve Cryptography. NW.: Chapman & Hall/CRC, 843.
14. Kedlaya, K. S. (2001). Counting points on hyperelliptic curves using Monsky-Washnitzer cohomology. J. Ramanujan Math. Soc., 16, 323–328.
15. Moenck, R. T. (1973). Fast computation of GCDs. Proceedings of the Fifth Annual ACM Symposium on Theory of Computing – STOC '73. doi: [10.1145/800125.804045](https://doi.org/10.1145/800125.804045)
16. Akritas, A. G. (1993). Sylvester's Forgotten Form of the Resultant. Fibonacci Quart, 31 (4), 325–332.
17. Mahaznykov, L. Mahaznykova, A. (2010). Lyneinaia alhebra. Analytycheskaia heometryia. Tomsk, 176.
18. Bunch, J. R., Hopcroft, J. E. (1974). Triangular Factorization and Inversion by Fast Matrix Multiplication. Mathematics of Computation, 28 (125), 231. doi: [10.2307/2005828](https://doi.org/10.2307/2005828)
19. Bach, E. (1996). Algorithmic Number Theory. Vol. 1: Efficient Algorithms. Massachusetts Institute of Technology, 512.

Надійшла (received) 16.06.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вдосконалення методу нормування в кільці р-адичних чисел/ Ганзя Р. С. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.53–64. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Совершенствование метода нормирования в кольце р-адичных чисел/ Ганзя Р. С. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.53–64. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Improving of methods of norm computation in the ring of p-adic numbers/ Hanzia R. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.53–64. – Bibliogr.:19. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ганзя Роман Сергійович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри "Безпеки інформаційних технологій"; пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: roman.ganzya@gmail.com

Ганзя Роман Сергеевич – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры "Безопасности информационных технологий "; пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166;

Hanzia Roman – Kharkiv National University of Radio Electronics; PhD student of the department "Information Security Technologies"; Nauky ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; e-mail: roman.ganzya@gmail.com

УДК 004.738.2

В. А. СВЯТНИЙ, О. М. МИРОШКІН, В. В. ГРИША

РЕАЛІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗКУ З СИСТЕМОЮ АСКОЕ ЧЕРЕЗ GSM МЕРЕЖУ

В даній статті розглядається склад сучасних автоматизованих систем комерційного обліку електричної енергії, їх головні складові, приведені до розгляду архітектури сучасної автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії з трьома рівнями та двома рівнями, розглянуті сучасні засоби зв'язку автоматизованих систем контролю і обліку електричної енергії, наведено приклад каналів передачі інформації даних з використанням GSM-мережі, також за допомогою PLC технології, через виту пару і перетворювач інтерфейсів та за наявності прокладеної локальної мережі, виконано порівняння волоконно-оптичних ліній зв'язку та комутованих і виділених каналів передачі даних, детально розглянуті інтерфейси каналів зв'язку з АСКОЕ, а також розглянуто питання про проблему передачі інформації в автоматизованих системах комерційного обліку електричної енергії та запропонований один із варіантів її вирішення шляхом реалізації зв'язку з автоматизованими системами комерційного обліку електричної енергії з використанням технології GSM.

Ключові слова: автоматизована система комерційного обліку електроенергії, АСКОЕ, контроль енергоресурсів, GSM-мережа.

В данной статье рассматривается состав современных автоматизированных систем коммерческого учета электрической энергии, их главные составляющие, приведены к рассмотрению архитектуры современной автоматизированной системы коммерческого учета электрической энергии с тремя уровнями и двумя уровнями, рассмотрены современные средства связи автоматизированных систем контроля и учета электрической энергии, приведен пример каналов передачи информации по GSM-сети, также с помощью PLC технологии, через витую пару и преобразователь интерфейсов и при наличии уже созданной ранее локальной сети, выполнено сравнение волоконно-оптических каналов связи и коммутированных и выделенных каналов передачи данных, детально рассмотрены интерфейсы каналов связи с автоматизированными системами коммерческого учета электрической энергии, а также рассмотрен вопрос о проблеме передачи информации в автоматизированных системах коммерческого учета электрической энергии и предложен один из вариантов ее решения путем реализации связи с автоматизированными системами коммерческого учета электрической энергии с использованием технологии GSM.

Ключевые слова: автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии, АСКУЭ, контроль энергоресурсов, GSM-сеть.

Composition of modern automated system of commercial electricity metering is examined in the article, the main constituents of it, three-level and two-level architectures of modern automated system of commercial electricity metering are shown, modern communication of automated system of commercial electricity metering means are considered, information transfer channels example is made for GSM-network, by means of PLC of technology, through the twisted pair and transformer of interfaces and at presence of already created earlier a local network, comparison of fibre channels of connection and switched and distinguished circuits of communication of data is executed, the interfaces of communication channels of automated system of commercial electricity metering are considered in detail and also the problem of information transfer in the automated system of commercial electricity metering is considered and the way to its decision by GSM-technology means is offered in the article.

Keywords: automated system of commercial electricity metering, control of power resources, GSM- network.

Вступ. Ключовим елементом в розвитку економіки будь-якої держави і життєво необхідним чинником існування людства у сучасному світі є електрична енергія [1]. Усі інфраструктури є споживачами електричної енергії, тому потрібне своєчасне і якісне постачання нею усіх галузей. Потреба в обліку великих потоків електроенергії при її експорті та при перетоках між енергосистемами, об'єднаними енергетичними системами та у масштабах єдиної енергетичної системи, обумовила необхідність створення систем достовірного

обліку електроенергії на всіх ділянках і рівнях її виробництва, передачі й споживання.

Автоматизована система контролю і обліку електричної енергії (АСКОЕ) - це сукупність програмних і технічних засобів, спеціалізованих для автоматичного обліку електроенергії і автоматичного управління процесом електроживлення. Впровадження цієї системи дозволяє отримати точнішу інформацію про витрати споживаної електричної енергії і потужності.

© В. А. Святний, О. М. Мірошкін, В. В. Гриша. 2017

Для більш ефективного функціонування оптового ринку необхідна організація точного й надійного диференційованого за часом обліку електроенергії й потужності з наявністю оперативних даних про виробництво, передачу й споживання електроенергії суб'єктами оптового ринку на базі сучасних інтегрованих автоматизованих систем обліку електроенергії різних суб'єктів енергоринку: компаній, що генерують, передають й постачають енергію.

На сьогоднішній день АСКОЕ є тим необхідним механізмом, без якого неможливо вирішувати проблеми цивілізованих розрахунків за енергоресурси з їхніми постачальниками, безперервної економії енергоносіїв і зниження частки енерговитрат у собівартості продукції підприємства.

Постановка проблеми автоматизації процесу збору інформації. В Україні розроблена та спільним рішенням ряду міністерств і відомств затверджена Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах оптового ринку [2].

Відповідно до Концепції, АСКОЕ повинна являти собою розподілену багаторівневу систему вимірів, обробки, збереження й передачі даних комерційного обліку й будуватися на принципах відкритості архітектури й розподіленого функціонування. Документи, які описують протоколи інформаційної взаємодії з лічильниками електроенергії, устаткуванням збору даних, повинні перебувати в розпорядженні операторів систем комерційного обліку електричної енергії, а також головного оператора.

Впровадження АСКОЕ дає можливість:

- оперативно контролювати й аналізувати режим споживання електроенергії й потужності основними споживачами;
- здійснювати оптимальне керування навантаженням споживачів;
- збирати й формувати дані на енергооб'єктах;
- збирати й передавати на верхній рівень керування інформацію й формувати на цій основі дані для проведення комерційних розрахунків між постачальниками й споживачами електричної енергії.

Сучасні АСКОЕ виконуються на найсучаснішій елементній базі і працюють в режимі реального часу. Основним недоліком цих систем є висока вартість. В той же час високі надійність і швидкодія, простота реалізації. В зв'язку з цим стає актуальною задача розробки відповідних програмних продуктів.

Однією з проблем в роботі сучасного покоління систем АСКОЕ є зношеність електромереж 0,6 кВ, які у великій кількості ряснують "скручуваннями", старими трансформаторами та ін. Це все призводить до неправильності показників датчиків системи. Нині компаніям-виробникам вже вдається справлятися з цією проблемою. Розроблений великий ряд серйозних програмних комплексів, що виконують наведені задачі з підтримкою радіо- і GSM- каналів і оптоволокна із

застосуванням звичайної мережі 0,6 кВ.

Способи зв'язку з об'єктом. Для обміну інформацією з пунктами диспетчеризації лічильники електроенергії, що використовуються для АСКОЕ, мають інтерфейсні лінії зв'язку. Розроблений ряд систем збору даних із застосуванням різних типів інтерфейсів і протоколів зв'язку:

- Дротяні RS485/RS422, RS232 CAN, ETHERNET;
- Безпроводні GSM, GPRS, CDMA радіо системи, працюючі на частотах 433 МГц і до 2,4 ГГц.

Важливим питанням при впровадженні систем АСКОЕ є вибір способу передачі даних і відповідного устаткування. Програмне забезпечення працює з повним спектром устаткування - електричними лічильниками і супутнім устаткуванням для їх функціонування у складі автоматизованої системи контролю і обліку енергоресурсів, до складу якої входять GSM-шлюз і концентратори PLC. Вибір конкретних схем зв'язку з лічильником визначається характером об'єкту, на якому планується впровадження АСКОЕ. На рис. 1. приведені можливі варіанти побудови систем АСКОЕ.

Для побутового сектора з високою кількістю точок обліку і відносно невеликими відстанями між ними, стандартним рішенням є використання технологій PLC. Для передачі даних з лічильників в цьому випадку використовуються силові лінії, по яких електрика поступає до кінцевого споживача, тому ціна АСКОЕ практично повністю зводиться до вартості установки лічильників з PLC модемами. Фактичний збір даних з лічильників при цьому здійснюється концентратором, з якого в подальшому йде передача даних в програмне забезпечення АСКОЕ верхнього рівня. При необхідності PLC концентратори можуть бути підключені або до GSM шлюзу (при використанні GSM-зв'язку), або до перетворювачів інтерфейсів Ethernet – RS485 (при використанні інтернет-з'єднання). Також може бути здійснене підключення PLC концентраторів через виту пару і перетворювач інтерфейсів або пряме з'єднання через USB безпосередньо до комп'ютера.

З'єднання через виту пару (RS-485, CAN) забезпечують високі якості зв'язку і завадостійкість. Ці інтерфейси традиційно застосовуються для з'єднань лічильників в системах АСКОЕ і можуть бути використані для підключення їх безпосередньо до персонального комп'ютера через перетворювач або ж до GSM-шлюзу для подальшої передачі даних на персональний комп'ютер.

За наявності вже прокладеної локальної мережі або підключення до Інтернету можна використати ці канали для організації автоматизованої системи контролю і обліку енергоресурсів. Для цього застосовуються перетворювачі інтерфейсів MOXA NPORT 5150 або аналогічні.

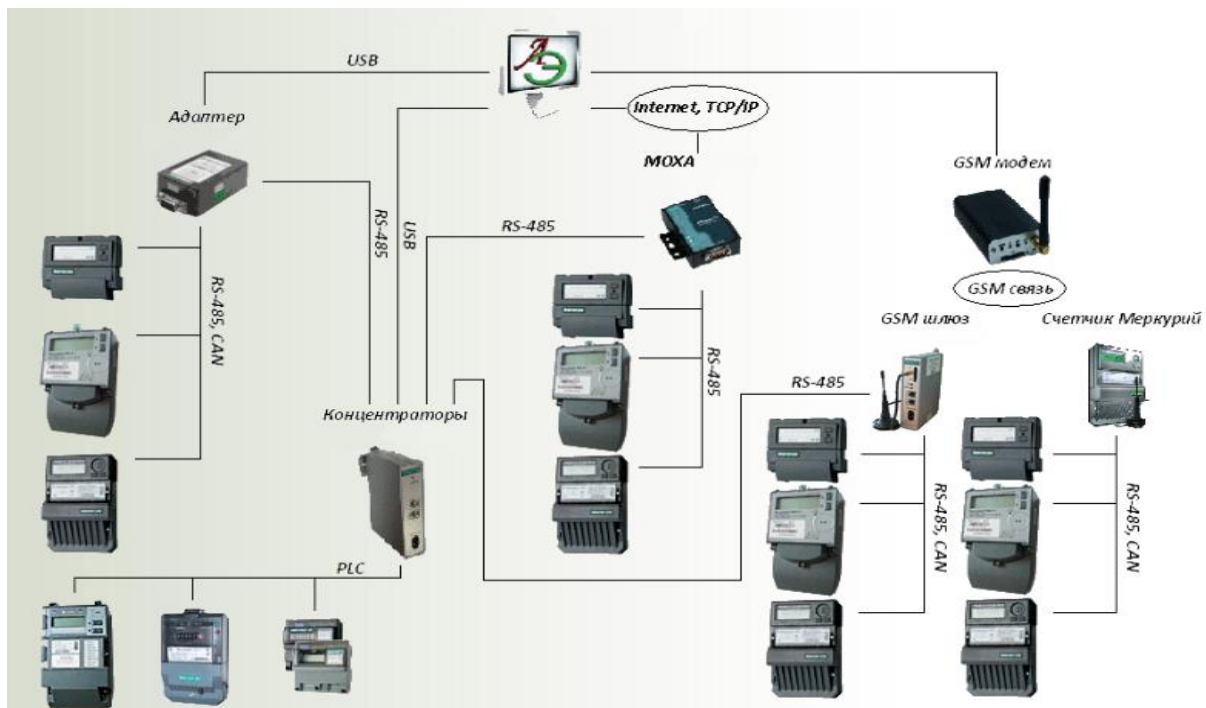


Рис. 1 – Варіанти побудови систем АСКОЕ

Нині існує думка, що волоконно-оптичні лінії зв'язку, що в силу своїх технічних характеристик, забезпечують високу швидкість передачі даних, замінюють комутовані і виділені канали передачі даних. Але не варто забувати про те, що окрім високої вартості прокладання і підключення волоконно-оптичного кабелю, цьому каналу зв'язку будуть властиві такі недоліки кабельних ліній зв'язку, як неможливість охоплення важкодоступних точок обліку і необхідність дотримання спеціалізованих вимог по прокладанню.

У зв'язку з популяризацією інтернет-технологій і здешевленням устаткування для побудови комп'ютерних мереж, з'являються нові рішення по організації каналів зв'язку на основі Ethernet. Ведуться роботи по використанню як розподілених мереж, так і домашньої проводки для передачі даних виміру електроспоживання.

При великих відстанях між точками обліку, що входять до складу АСКОЕ, і значній відстані до них застосовуються технології передачі даних через GSM зв'язок. Для цієї мети використовуються GSM шлюз або лічильники з GSM модемом. Через один лічильник, оснащений GSM модемом, можуть бути опитані і інші лічильники, сполучені з першим через RS-485 або CAN. З боку персонального комп'ютера використовується GSM модем.

Для віддалених об'єктів найраціональнішим буде метод зв'язку на основі цифрового GSM- стандарту, перевага якого полягає у високій захищеності від перешкод, можливості забезпечення каналом зв'язку важкодоступних або віддалених на значні відстані точок обліку, можливість прочитування на будь-якій віддаленості від місця установки лічильника.

Загальна структура системи АСКОЕ. Для реалізації зв'язку з АСКОЕ через GSM мережу є необхідними вдосконалення алгоритму роботи автоматизованої системи комерційного обліку

електроенергії. Та розробка відповідного програмного забезпечення для АСКОЕ.

Програмне забезпечення (ПЗ) – це комп'ютерна програма, яка встановлена на комп'ютері оператора. Вона дає можливість опитування електронних лічильників електроенергії, що знаходяться на відстані від ПК оператора.

Таке програмне забезпечення надає наступні переваги:

- можливість опитування лічильників на відстані, використовуючи GSM-зв'язок;
- можливість швидкого й оперативного розрахунку за електроенергію;
- можливість більш надійного контролю над споживанням електроенергії;
- економія часу й матеріальних засобів для зняття даних з лічильників.

Таке рішення може полегшити роботу зняття показань з електронних лічильників електроенергії, підключених до систем АСКОЕ, а також прискорити процес розрахунку за електроенергію між суб'єктами енергоринок.

При цьому обмін даними між лічильником і комп'ютером керується набором правил, які називаються протоколом.

Лічильник у складі системи ініційований і не може передавати дані на комп'ютер без запиту останнього. Оператор ПК, на якому встановлено ПЗ для опитування лічильника, надсилає запит у вигляді послідовності байт, на що лічильник посилає відповідь теж у вигляді послідовності байт. Число байт запиту є змінною величиною й залежить від характеру запиту. Байти в послідовності йдуть один за одним без розривів у часі. Критерієм закінчення будь-якої послідовності є символ у кінці послідовності.

Специфікація протоколу складається із двох елементів: синтаксису й семантики. Синтаксис

протоколу визначає всі повідомлення, якими можуть обмінюватися об'єкти, їхні формати й значення кожного поля повідомлення. Семантика протоколу вказує дії, які потрібно почати об'єкту у випадку виникненні специфічних подій, таких як прибуття повідомлення або закінчення часу очікування.

Рішення проблем енергообліку на підприємстві вимагає створення АСКОЕ, які в загальному випадку містять три рівні (рис. 2) [3]:

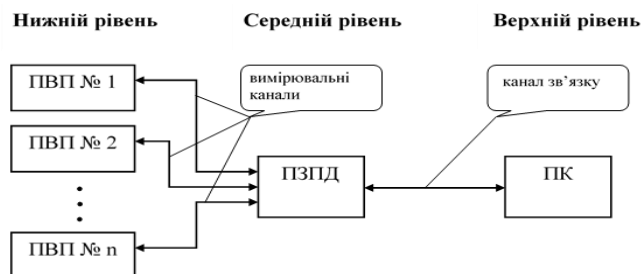


Рис. 1 – Узагальнена структурна схема тривірневої АСКОЕ

а) нижній рівень – являє собою первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП). На цьому рівні використовуються, як правило, ті технічні засоби (наприклад, лічильники), які вже встановлені на підприємстві. Єдина вимога до ПВП: вони повинні мати аналоговий, числоімпульсний, або інтерфейсний вихід;

б) середній рівень – це пристрої збору й передачі даних (ПЗПД). У ролі ПЗПД виступають контролери (спеціалізовані вимірювальні системи або багатофункціональні програмувальні перетворювачі) з убудованим програмним забезпеченням енергообліку. Контролери здійснюють у заданому циклі інтервалу усереднення цілодобового збору вимірювальних даних з територіально розподілених ПВП, накопичення, обробку й передачу цих даних на верхній рівень. На середньому рівні можуть використовуватися будь-які сучасні мікропроцесорні контролери. У підсистемах обліку електроенергії можуть використовуватися електронні суматори (концентратори), які виконують первинну обробку;

в) верхній рівень – персональний комп'ютер зі спеціалізованим програмним забезпеченням АСКОЕ, що здійснює збір інформації з контролера (або групи контролерів) середнього рівня, підсумкову обробку цієї інформації як по точках обліку, так і по їхніх групах – по підрозділах й об'єктах підприємства, відображення й документування даних обліку у вигляді, зручному для аналізу й прийняття рішень (керування) оперативним персоналом служби головного енергетика й керівництвом підприємства.

Подальший прогрес в області інтегральної технології дозволив функції контролерів по обліку енергоресурсів вбудовувати безпосередньо в первинні перетворювачі, одержуючи в такий спосіб "інтелектуальні ПВП". Для цих перетворювачів тривірнева схема АСКОЕ може бути трансформована в двірневу структуру "ПВП-ПК" (рис. 3), у якій збір даних із точок обліку ведеться через певне

середовище зв'язку безпосередньо на ПК (наприклад, всі "інтелектуальні" електролічильники підключаються до комп'ютера через комутаційне телефонне середовище).

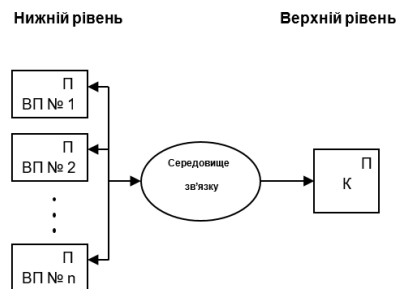


Рис. 2 – Узагальнена структурна схема двірневої АСКОЕ

Зазначений принцип побудови АСКОЕ пов'язаний з більшими фінансовими витратами на досить дорогі "інтелектуальні" ПВП. Але якщо непотрібне цілодобове зчитування лічильників, то така система набагато надійніша й зручніша.

Аналіз ПВП на прикладі лічильника електроенергії ЄвроАЛЬФА. Багатофункціональний мікропроцесорний лічильник електричної енергії типу ЄвроАЛЬФА призначений для обліку активної, реактивної енергії й потужності в ланцюгах змінного струму, а також для використання в складі АСКОЕ для передачі обмірюваних або обчислених параметрів на диспетчерський контрольний пункт обліку й розподілу електричної енергії. Для побудови систем АСКОЕ на базі лічильників ЄвроАЛЬФА можуть використовуватися такі інтерфейси, як імпульсний вихід, струмова петля, RS232, RS422/485 [4].

Установка додаткових плат залежно від модифікації дозволяє розширити можливості лічильника. Обмірювані дані й інша інформація відображаються на восьмирозрядному рідкокристалічному індикаторі. Застосування програмного забезпечення ALPHAPLUSR-E дозволяє робити створення й модифікацію програм для потрібної конфігурації лічильника, програмування, діагностичне й комерційне читання даних, вести журнал зв'язків і виконувати інші завдання.

Опис GSM-модема Siemens TC65 Terminal. Siemens TC65 Terminal – це промисловий чотирьохдіапазонний GSM-модем з підтримкою пакетної передачі GPRS Multislot Class 12. Термінал розроблений на базі стільникового модуля Siemens TC65 і легко інтегрується в будь-які додатки завдяки підтримці відкритої платформи Java й убудованому TCP/IP-стеку, завдяки якому дані, наприклад показання датчиків, можуть бути передані на сервер через Інтернет. Безпека середовища передачі даних забезпечується використанням HTTPS й PKI-шифрування. Високошвидкісну обробку даних забезпечує процесор ARM7, обсяг убудованої пам'яті становить 1,7 Мб.

Загальні характеристики модема:

- Діапазони радіочастот: GSM 850 / 900 / 1800 /

1900;

- GSM Release 99;
- Сумісність із GSM Phase 2/2+;
- Керування AT-командами Hayes GSM 07.05 й GSM 07.07;

- Підтримка SI Application Toolkit release 99;
- Напруга живлення: 8...30 В;
- GPRS Class B Multislot Class 12;
- Передача через GSM й GPRS;
- Широкомовна передача;
- Текстовий режим, режим PDU;
- CSD (до 14.4 кбіт/с);
- USSD;
- Непрозорий режим;
- Схема кодування CS 1, 2, 3, 4.

Вихідна потужність:

- Class 4 (2 Вт) для EGSM850/900;
- Class 1 (1 Вт) для GSM1800/1900.

Інтерфейси каналів зв'язку АСКОВЕ. У системах обліку електроенергії для з'єднання рівнів в основному використовуються такі інтерфейси як RS232C, RS485 й CL (струмова петля) [5].

Швидкість передачі даних інтерфейсом RS232C становить від 50 до 19200 біт/с, а максимальна довжина ліній зв'язку при максимальній швидкості не перевищує 16 м. На практиці ця відстань може бути істотно збільшена при зниженні швидкості передачі й використанні екранованого кабелю з малою власною ємністю (при швидкості 1200 біт/с максимальна довжина неекранованого кабелю досягає 900 м). Всі сигнали в інтерфейсі потенційні, з номінальними рівнями +12 В й -12 В щодо загального проводу (Signal Ground). Логічній одиниці відповідає рівень -12 В, логічному нулю відповідає +12 В.

RS-485 – напівдуплексний багатоточковий послідовний інтерфейс передачі даних. Передача даних здійснюється по одній парі провідників за допомогою диференціальних сигналів. Різниця потенціалів між провідниками однієї полярності означає логічну одиницю, різниця іншої полярності – нуль. У стандарті RS-485 для передачі й прийому даних часто використовується єдина кручена пара проводів. Процедури спільного використання лінії передачі вимагають застосування певного методу керування напрямком потоку даних. Найбільш широко розповсюдженим методом є використання сигналів RTS (Request To Send) і CTS (Clear To Send). Кількість пристроїв, що підключаються до однієї лінії інтерфейсу, залежить від типу застосованих у пристрої приймачів-передавачів. Один передавач розрахований на керування 32 стандартними приймачами. Максимальна швидкість зв'язку по специфікації RS-485 може досягати 10 Мбод/сек. Максимальна відстань – 1200 м. Якщо необхідно організувати зв'язок на відстані понад 1200 м або підключити більше пристроїв, ніж допускає навантажувальна здатність передавача – застосовують спеціальні повторювачі (репітери).

CL (струмова петля) – інтерфейс відноситься до класу універсальних двоточкових радіальних

інтерфейсів віддаленого послідовного доступу до систем. Цей інтерфейс широко застосовується в промисловому встаткуванні, тому що дозволяє здійснити зв'язок по фізичних лініях на далекі відстані (до 3 км) без використання апаратури передачі даних (модемів).

Інтерфейс CL являє собою двопровідну лінію, що утворює струмову петлю із дискретним джерелом струму й приймачем.

Максимальна швидкість передачі сигналів по струмовій петлі – 9600 біт/с при довжині лінії зв'язку до 300 метрів.

Знижуючи швидкість передачі, можна майже пропорційно збільшувати довжину лінії: на швидкості 1200 біт/с довжина лінії збільшується до 2000 метрів. Струмова петля використовується зазвичай для сполучення одного передавача й одного приймача, але, у принципі, вона може охоплювати й декількох послідовно з'єднаних пасивних приймачів.

Струмова петля дозволяє передавати дані по двопровідній лінії в одному напрямку (симплексний зв'язок): від передавача до приймача. Для дуплексного зв'язку (одночасної передачі в двох протилежних напрямках) використовується чотирьохпровідна лінія.

Опис модулів програмної системи. АСКОВЕ, реалізована із застосуванням технології зв'язку GSM, дозволяє вирішувати завдання:

- віддалене отримання в автоматичному або ручному режимах від кожного вузла обліку інформацію про відпущену або спожиту електроенергію;
- контроль характеристик електричної мережі з виявленням і реєстрацією відхилень мережевої напруги і характеристик електричної мережі від заданих норм;
- тест технічного стану або відмов обладнання системи;
- підготовка інформації про споживання електричної енергії.

Розробка програми модуля взаємодії із зовнішнім пристроєм. Програма модуля взаємодії із зовнішнім пристроєм – це програма, що імітує механізм взаємодії з програмою опитування лічильника. Вона приймає запити й відповідає на них. Програма називається CounterCOM.exe і є консольним додатком. Програма встановлюється на комп'ютер, до якого підключений GSM-модем.

Після відкриття порту відбувається його налагодження за допомогою структури DCB. Здаються наступні основні параметри:

- BaudRate – швидкість передачі даних. У даній програмі вона дорівнює 115200 Б/с;
- ByteSize – число інформаційних біт у переданих і прийнятих байтах. У даній програмі воно дорівнює 8;
- Parity – визначає вибір схеми контролю парності. У даній програмі це поле має значення NOPARITY – біт парності відсутній;
- StopBits – задає кількість стопових біт. У даній програмі це поле має значення ONESTOPBIT – використовується один стоповий біт.

Після виконання процесу читання даних з COM-

порту за допомогою функції `ReadFile()`. `ReadFile()` – вбудована в Visual C++ функція, яка дозволяє зчитування даних з COM-порту [6,7,8,9,10]. Читання даних потрібно для того, щоб одержати запит від програми опитування, що перебуває на ПК оператора. Читання інформації з порту буде виконуватися доти, поки не буде виконана функція `FindEnd()`. Також використовується булева змінна `state`, яка необхідна для аналізу використаних команд. Початкове значення її дорівнює `false`. Після одержання команди, що записується в змінну `buf0`, починає роботу процедура пошуку введеної команди в масиві команд `Commands[]`. Якщо команда знайдена, то змінній `state` привласнюється значення `true`, на екран видається повідомлення "OK" і змінній `commandNumber` привласнюється порядковий номер команди. Якщо команда не знайдена то на екран видається повідомлення "no such command!", що означає відсутність отриманої команди. Змінній `commandNumber` привласнюється значення 10.

Далі, відповідно до значення змінної `commandNumber`, лічильник посилає відповідь у порт COM1, що потім доставляється операторові ПК. Формати результатів для відправлення відповідно до змінної `commandNumber` показані нижче:

- за умови `commandNumber = 0`, то відправляється заводський номер лічильника. Читається файл `flash.dat` за допомогою функції `ReadingFile()`. Значення елемента `value[1]`, що містить заводський номер лічильника, перетворюється із числового типу в строковий;
- за умови `commandNumber = 1`. Відправляються поточні показання лічильника. Читається файл `flash.dat` за допомогою функції `ReadingFile()`. Потім функція `stroka()` перетворює дані в потрібний формат;
- за умови `commandNumber = 2`. Відправляються показання лічильника на час 00:00:00 початку поточного, минулого й позаминулого місяців, а також дата й час фіксування цих показань. Читається файл `flash.dat`. Потім функція `PokazaniyaMonth()` перетворює дані в потрібний формат;
- за умови `commandNumber = 3`. Відправляються витрати електроенергії за поточний, минулий і позаминулий місяці. Читається файл `flash.dat`. Потім функція `RashodMonth()` перетворює дані в потрібний формат;
- за умови `commandNumber = 4`. Відправляються витрати електроенергії за 15 останніх діб. Читається файл `flash.dat`. Потім функція `RashodDay()` перетворює дані в потрібний формат;
- за умови `commandNumber = 5`. Відправляються витрати електроенергії за 24 останніх години. Читається файл `flash.dat`. Потім функція `RashodHour()` перетворює дані в потрібний формат;
- за умови `commandNumber = 6`. Відправляються поточна дата й час лічильника. Читається файл `flash.dat`. Потім функція `stroka()` перетворює дані в потрібний формат.

За будь-якої умови результат заноситься в змінну `buf`. До значення `buf` додається рядок `"!r"`, що є

ознакою кінця пакета даних для відповіді. Після відбувається запис `buf` у порт COM1.

Опис програмного забезпечення АСКОВЕ. За допомогою ПЗ оператор може зчитувати інформацію з лічильника електроенергії, що перебуває на відстані від ПК оператора. Програма написана мовою C++ за допомогою компілятора Microsoft Visual C++ 6.0. Вона є консольним додатком, тому команди вводяться оператором вручну.

Номер телефону записується в змінну `NumModem`. Формат AT-команди для здійснення дзвінка модемом має вигляд `atd(номер телефону)r`. Тому, після йде з'єднання рядків `"atd"`, `"номера телефону"` й `"r"`. Результат запам'ятовується в змінну `buf`.

Після, з'являється запит на введення номера лічильника, з якого потрібно зчитувати дані. Номер запам'ятовується в змінну `NumCounter`.

Далі з'являється запит на введення команди для дозвона `call`. Після, за допомогою функції `WriteFile()` у модем через порт заноситься команда дозвону, що перебуває в змінній `buf`. `WriteFile()` – убудована в Visual C++ функція для запису даних в COM-порт. Після запису в порт команди дозвону виконується процес читання даних з COM-порту за допомогою функції `ReadFile()`. `ReadFile()` – убудована в Visual C++ функція для читання даних з COM-порту. Читання даних потрібно для того, щоб одержати відповідь від модему, підключеного до ПК оператора. Читання інформації з порту буде виконуватися доти, поки не будуть виконана функція `FindEnd()`.

Далі виконується функція аналізу відповіді модему `ModemAnswer()`.

Далі з'являється запит на введення команди для читання даних з лічильника. Також вводиться булева змінна `state`, що необхідна для аналізу команд, що вводять. Початкове значення її дорівнює `false`. Після введення команди, що записується в змінну `buf1`, починає роботу процедура пошуку введеної команди в масиві команд `Commands[]`. Якщо команда знайдена, то змінній `state` привласнюється значення `true`, на екран видається повідомлення "OK" і змінній `commandNumber` привласнюється порядковий номер команди. Якщо значення `commandNumber` дорівнює 7, що відповідає введенню команди `exit`, то виконується вихід із програми.

Потім уведена оператором команда перетворюється у формат відповідно протоколу обміну даними між лічильником і програмою. Для цього з'єднуються два рядки `NumCounter` й `buf1`. Результат конкатенації заноситься в змінну `buf`. Потім значення `buf` за допомогою функції `WriteFile()` посилається в лічильник. Після запису команди виконується процес читання даних, отриманих від лічильника, з COM-порту за допомогою функції `ReadFile()`. Читання інформації з порту буде виконуватися доти, поки не будуть виконана функція `FindEnd()`. Кінцевий результат читання інформації з лічильника заноситься в змінну `buf0`.

Далі, відповідно до значення змінної `commandNumber`, відповідь лічильника перетворює в зручний для читання формат і виводиться на екран. Формати результатів читання відповідно до змінної `commandNumber` показані нижче:

- за умови `commandNumber = 0` до змінної `buf0` заноситься заводський номер лічильника. Значення `buf0` корегується за допомогою функції `buf0EndClear()`. Номер лічильника виводиться на екран;

- за умови `commandNumber = 1` до змінної `buf0` заносяться поточні показання лічильника, а також дата й час фіксування цих показань. Значення `buf0` корегується за допомогою функцій `buf0EndClear()`, `stringBreak()` і `DateTimeCorrection()`. Результат записується у файл `regist.dat` за допомогою функції `WritingFilePokazaniya()`;

- за умови `commandNumber = 2` до змінної `buf0` заносяться показання лічильника на час 00:00:00 початку поточного, минулого й позаминулого місяців, а також дата й час фіксування цих показань. Значення `buf0` корегується за допомогою функцій `buf0EndClear()` і `BreakPokazaniyaMonth()`. Результат записується за допомогою функції `WritingFilePokazaniyaMonth()`;

- за умови `commandNumber = 3` до змінної `buf0` заносяться витрати електроенергії за поточний, минулий і позаминулий місяці. Значення `buf0` корегується за допомогою функцій `buf0EndClear()` і `BreakPokazaniyaMonth()`. Результат записується за допомогою функції `WritingFileRashodMonth()`;

- за умови `commandNumber = 4` до змінної `buf0` заносяться витрати електроенергії за 15 останніх діб. Значення `buf0` корегується за допомогою функцій `buf0EndClear()` і `BreakRashodDay()`. Результат записується за допомогою функції `WritingFileRashodday()`;

- за умови `commandNumber = 5` до змінної `buf0` заносяться витрати електроенергії за 24 останніх години. Значення `buf0` корегується за допомогою функцій `buf0EndClear()` і `BreakRashodHour()`. Результат записується за допомогою функції `WritingFileRashodhour()`;

- за умови `commandNumber = 6` до змінної `buf0` заносяться поточна дата й час лічильника. Значення `buf0` корегується за допомогою функцій `buf0EndClear()`, `stringBreak()` і `DateTimeCorrection()`.

Технічні характеристики роботи системи.

Вимоги до системи згідно з ТЗ:

- гранична частота замірів 1 раз на 48 годин;
- рекомендована частота замірів 1 раз на 24 години.

Середня швидкість передачі даних 20 кБ/сек, при цьому, довжина кадру запитів не перевищує 8 байт, а довжина кадру відповіді може бути від 11 до 150 байт, в залежності від періоду, який був вказаний в запиті.

Час передачі одного кадру запиту приблизно займає 0,5 секунд, а час передачі одного кадру відповіді - приблизно 8 секунд.

Проте вищеперелічені параметри прийняті в ідеалізованому середовищі, в реальності ж ми використовуємо мережі загального використання у зв'язку з чим навантаження на них і, відповідно, їх чуйність може бути зменшена тому час очікування відповіді дорівнюватиме приблизно 1 хвилині:

- за одну годину ми можемо опитати 60 об'єктів;

- за добу, не більше 1200 об'єктів.

Висновок. Надана АСКОЕ, безпосередньо не змінюючи технологічної особливості, комунікацій, не знижуючи розміру енергоспоживання, практично відразу збирає інформацію про енергоспоживання, забезпечуючи керівництво потужним інструментом контролю енергоспоживання і управління енергопостачанням.

На даний момент є гостра потреба в недорогій, функціональній, простій в обслуговуванні і надійній системі АСКОЕ. Завдання в розробці цих систем АСКОЕ ускладнюється 2-ма причинами - великим числом вузлів обліку усіх підключених споживачів і розосередженням їх на значній території, що ускладнює доступ до них через класичні канали передачі інформації такі як вита пара і інтерфейс RS485.

Список літератури:

1. Волошко, А. В. Практичні аспекти впровадження автоматизованих систем контролю енерговитрат [Текст] / А. В. Волошко, О. В. Коцар // Енергосберігаючі Технології та автоматизація. – 2001. – № 4-5. – С. 16–27.
2. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку [Текст]. – Міністерство енергетики України, Київ, 1997.
3. Волков, В. М. Система коммерческого учета электроэнергии [Текст] / В. М. Волков, Ю. Н. Смолко, Е. Д. Чертов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – № 9. – С. 159–161.
4. Староверов, Б. А. Повышение эффективности системы автоматизированного коммерческого учета электроэнергии за счет введения функций прогнозирования [Текст] / Б. А. Староверов, Б. А. Гнатюк // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – № 6. – С. 26–29.
5. Саркисов, С. А. Анализ основных особенностей сбора периодических типов данных в современных АСКУЭ [Текст] / С. А. Саркисов // Наука, техника и образование. – 2015. – № 11 (17).
6. Березин, Б. И. Начальный курс С и С++ [Текст] / Б. И. Березин, С. Б. Березин. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 288 с.
7. Шилдт, Г. Справочник программиста по С/С++ [Текст] / Г. Шилдт. – Киев: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 432 с.
8. Литвиненко, Н. А. Технологии программирования на С++ [Текст] / Н. А. Литвиненко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 280 с.
9. Дэвис, С. С++ Для чайников [Текст] / С. Р. Дэвис. – Киев: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 336 с.
10. Коплієн, Д. Мультипарадигмове проектування для С++ [Текст] / Д. Коплієн. – СПб.: Видавництво «Пітер», 2005. – 237 с.

Bibliography (transliterated):

1. Voloshko, A. V., Kotsar, O. V. (2001). Practical aspects of introduction automated system of commercial electricity metering. *Energysafe Technologies and automation*, 4-5, 16–27.
2. Conception of construction of automated system of commercial electricity metering is in terms to the power market (1997). Ministry of energy of Ukraine, Kyiv.
3. Volkov, V. M., Smolko, Yu. N., Chertov, E. D. (2010). System of commercial electricity metering. *Announcer of the Voronezh state technical university*, 9, 159–161.
4. Staroverov, B. A., Hnatiuk, B. A. (2013). Increase of efficiency of the system of the automated commercial account of electric power due to introduction of functions of prognostication. *Announcer of the Ivanovo state power university*, 6, 26–29.
5. Sarkysov, S. A. (2015). An analysis of basic features of collection of periodic types of data in modern automated system of commercial electricity metering. *Science, technique and education*, 11 (17).

6. Berezyn, B. Y., Berezyn, S. B. (2003). Initial course C and C++. Moscow: Dialogue-MIFI, 288.
7. Shyldt, H. (2003). Reference book of programmer on C/C++. Kyiv: A publishing house "Williams", 432.
8. Lytvynenko, N. A. (2003). Technology of programming on C++. Sankt-Peterburg: BHB-Petersburg, 280.
9. Davis, S. R. (2003). C++ For beginners. Kyiv: A publishing house "Williams", 336.
10. Kopliten, J. (2005). Multiparadigm planning for C++. Sankt-Peterburg: Petersburg, 237.

Надійшла (received) 11.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Реалізація зв'язку з системою АСКОВЕ через GSM-мережу/ Святний В. А., Мірошкін О. М., Гриша В. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.64–71. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Реализация связи с системой АСКОВЕ через GSM-сеть/ Святный В. А., Мирошкин А. Н., Гриша В. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.64–71. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Realization of connection with automated system of commercial electricity metering through the GSM-network/ Svjatniy V., Miroshkin A., Hrysha V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241).– P.64–71. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Святний Володимир Андрійович – професор, доктор технічних наук. Донецький національний технічний університет, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії, пл. Шибанкова 1а, м. Покровськ, Україна. e-mail: vsvjatnyj@gmail.com.

Мірошкін Олександр Миколайович – доцент, кандидат технічних наук, Донецький національний технічний університет, докторант кафедри комп'ютерної інженерії, пл. Шибанкова 1а, м.Покровськ, Україна. e-mail: miroshkinan@gmail.com.

Гриша Вікторія Вікторівна – магістрант, кафедра комп'ютерної інженерії, Донецький національний технічний університет, пл. Шибанкова 1а, м. Покровськ, Україна. e-mail: viktoriagrisha@yandex.ru.

Святний Владимир Андреевич – професор, доктор технических наук. Донецкий национальный технический университет, заведующий кафедры компьютерной инженерии, пл. Шибанкова 1а, г. Покровск, Украина. e-mail: vsvjatnyj@gmail.com.

Мірошкин Александр Николаевич – доцент, кандидат технических наук, Донецкий национальный технический университет, докторант кафедры компьютерной инженерии, пл. Шибанкова 1а, г. Покровск, Украина. e-mail: miroshkinan@gmail.com.

Гриша Виктория Викторовна – магистрант, кафедра компьютерной инженерии, Донецкий национальный технический университет, пл. Шибанкова 1а, г. Покровск, Украина. e-mail: viktoriagrisha@yandex.ru.

Svjatniy Vladimir – professor, doctor of engineering sciences. Donetsk national technical university, manager of department of the computer engineering; Shibankova square 1a, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: vsvjatnyj@gmail.com.

Miroshkin Aleksandr – associate professor, candidate of technical sciences, Donetsk national technical university, doctor's degree of department of the computer engineering; Shibankova square 1a, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: miroshkinan@gmail.com.

Hrysha Viktoriia – master's degree, department of the computer engineering, Donetsk national technical university; Shibankova square 1a, Pokrovsk, Ukraine; e-mail: viktoriagrisha@yandex.ru.

Д. Н. КОЗАЧЕНКО, С. В. ГРЕВЦОВ, Т. В. БОЛВАНОВСКАЯ

УПРАВЛЕНИЕ РОСПУСКОМ СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ С НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫМИ ПАРКОВЫМИ ТОРМОЗНЫМИ ПОЗИЦИЯМИ

Наведена методика вибору параметрів розпуску составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмівними позиціями, яка дозволяє на етапі планування розпуску оцінити ймовірності несприятливих ситуацій, в тому числі пов'язаних з роботою регулювальників швидкості вагонів, і звести їх до допустимих значень за рахунок вибору швидкості розпуску і його переривання. Результати дослідження можуть використовуватися для вирішення оперативних і технологічних задач пов'язаних з гірковими операціями.

Ключові слова: сортувальна гірка; немеханізована гальмова позиція; регулювальник швидкості вагонів; сортувальний процес; розформування составів.

Приведена методика выбора параметров роспуска составов на сортировочных горках с немеханизированными тормозными позициями, которая позволяет на этапе планирования роспуска оценить вероятности неблагоприятных ситуаций, в том числе связанных с работой регулировщиков скорости вагонов, и свести их к допустимым значениям за счет выбора скорости роспуска и его прерывания. Результаты исследования могут использоваться для решения оперативных и технологических задач, связанных с горочными операциями.

Ключевые слова: сортировочная горка; немеханизированная тормозная позиция; регулировщик скорости вагонов; сортировочный процесс; расформирование составов.

The method of parameters' choosing for humping process on gravity humps with non-mechanized braking positions is given. The purpose of the study is to improve the working conditions of skatemans and determination of cuts permissible braking modes on sorting humps with non-mechanized braking positions. The main research methods, that were used to solve the problem, are mathematical simulation of the cuts' rolling and statistical analysis. The proposed methodology allows, at the planning stage of the breaking-up process, to assess the probability of adverse situations, including those related to the operation of skatemans, and reduce them to allowable values by choosing the humping speed and interrupting of humping process. The results of the research can be used both for solving operational problems related to the humping process control, and for solving technological problems which interrelated with humping operations.

Keywords: sorting hump; non-mechanized braking positions; skateman; marshaling process; train breaking-up.

Введение. Основным средством расформирования-формирования составов на железных дорогах являются сортировочные горки. Качество их работы во многом определяет как себестоимость перевозочного процесса, так и его безопасность, сохранность подвижного состава и перевозимых грузов. В этой связи исследования, направленные на совершенствование методов управления роспуском составов, являются актуальными для железнодорожного транспорта Украины. Необходимо отметить, что современные методы исследования сортировочного процесса ориентированы на сортировочные горки с механизированными и автоматизированными тормозными позициями. В то же время на железнодорожных станциях Украины эксплуатируется 117 сортировочных горок, из которых только 31 имеет механизированные тормозные позиции. На 15 механизированных сортировочных горках замедлители установлены как на спускной части, так и на сортировочных путях. На 16 сортировочных горках парковые тормозные позиции не механизированы. Таким образом, для 87% сортировочных горок актуальной является задача организации их работы в условиях башмачного торможения. Более того, в условиях износа и частичной неисправности тормозных замедлителей дополнительное башмачное торможение интенсивно применяется и на сортировочных горках, у которых механизированы все тормозные позиции. Основным преимуществом использования тормозных башмаков для регулирования скорости скатывания отцепов являются относительно низкие капитальные затраты и эксплуатационные расходы, а также возможность гибко регулировать последние в зависимости от объемов работы без ущерба для безопасности сортировочного процесса. Недостатки башмачного торможения связаны с

нахождением людей в опасной зоне и возможностью повреждения вагонов при движении «юзом». Поэтому методы выбора параметров процесса расформирования составов на сортировочных горках с немеханизированными тормозными позициями должны учитывать особенности их работы.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Сортировочная горка представляет собой сложный инфраструктурный и технологический комплекс, при эксплуатации которого взаимодействуют железнодорожный путь, системы автоматики, телемеханики и связи, маневровые локомотивы, вагоны, грузы, производственный персонал, что повышает сложность проблемы обеспечения безопасности движения. Безопасность и качество сортировочного процесса определяются как конструкцией и техническим оснащением сортировочных горок, так и качеством управленческих решений относительно режимов роспуска. Основным методом исследования горочных процессов является имитационное моделирование скатывания отцепов [1, 2]. Выбор режимов торможения отдельных отцепов представляет собой сложную многофакторную задачу, в результате решения которой должны быть обеспечены требования как прицельного, так и интервального регулирования скорости скатывания вагонов. Особенностью горочных процессов является влияние значительного числа случайных факторов [3, 4], таких как масса и основное сопротивление движению отцепов, параметры внешней среды и величина тормозного воздействия замедлителей. С целью учета ограничений, которые накладываются на режимы торможения отцепов, в [5] предложена методика построения области допустимых режимов торможения (ОДР). Режимы торможения отцепов взаимосвязаны из-за необходимости выполнения требова-

ний интервального регулирования скорости их скатывания. Методы выбора режимов торможения отцепов представлены в [6, 7]. Однако, необходимо отметить, что все указанные методы ориентированы на их использование в основном на автоматизированных горках. Характерными условиями работы сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями являются, во-первых, ручное управление процессом торможения на основе данных перевозочных документов, а также визуальной оценки ходовых характеристик отцепов и условий их скатывания, что вызывает погрешности как на этапе определения оптимальных режимов торможения, так и их реализации; во-вторых, функционирование сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями связано с нахождением людей в опасной зоне, что резко повышает требования к безопасности сортировочного процесса [8]. В этой связи, для сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями значительную роль играет этап планирования роспуска, на котором должны быть установлены неблагоприятные сочетания отцепов и приняты меры по обеспечению безопасного протекания сортировочного процесса.

Цели и задачи исследования. Цель исследования состоит в повышении эффективности процесса расформирования составов за счет совершенствования методов управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями. Поставленная цель достигается путем исследования факторов, влияющих на качественные показатели роспуска, и разработки методов поиска оптимальных управляющих параметров для каждого расформируемого состава.

Формализация задачи выбора параметров роспуска состава на сортировочной горке. В данной работе рассматриваются сортировочные горки с механизированными тормозными позициями на спускной части и немеханизированными тормозными позициями на сортировочных путях. Также принято, что распределение регулировщиков скорости вагонов между сортировочными путями является фиксированным. В соответствии с [9] расформирование состава рассматривается как многошаговый процесс, где отдельным шагом является скатывание очередного отцепа. В качестве управляемых параметров при расформировании состава приняты:

– число отцепов в группе, которая расформируется без перерыва в роспуске $g_s, s=1..S$ (здесь S – число групп отцепов в составе);

– скорость роспуска группы отцепов $v_{p,s}$;

– скорости выхода отцепов из тормозных позиций $v_j \in V, j=1..n$.

В качестве критерия оптимизации принято время расформирования состава

$$T_p = \sum_{s=1}^S T_{p,s}(v_{p,s}, V) + (S-1)t_{\text{пер}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $T_{p,s}(v_{p,s}, V)$ – продолжительность роспуска вагонов s -й группы отцепов в зависимости от скорости ее роспуска $v_{p,s}$ и режимов торможения

отцепов V ; $t_{\text{пер}}$ – продолжительность перерыва в роспуске после расформирования s -й группы отцепов.

Указанная задача имеет следующие ограничения:

$$\begin{cases} v_{\min} \leq v_{p,s} \leq v_{\max} \\ \delta t_{kjh}(v_{p,s}, V) \geq t_{\text{pe},h} \\ v_j \in \Omega_{nj}(v_{p,s}) \end{cases} \quad (2)$$

где $v_{\min}, v_{\max}$ – допустимые минимальная и максимальная скорости роспуска; δt_{kjh} – разделительный интервал между k -м и j -м отцепами на h -м разделительном элементе; Ω_{nj} – область допустимых режимов торможения j -го отцепа.

Решение задачи (1) при ограничениях (2) может быть сведено к итерационной процедуре решения задач следующих типов:

– разбиение состава на группы при фиксированной скорости роспуска и установленном распределении регулировщиков скорости вагонов по сортировочным путям;

– определение максимально допустимой скорости роспуска группы отцепов;

– оптимизация деления состава на группы отцепов.

Необходимость обеспечения разделения отцепов на разделительных элементах формируют условия интервального регулирования скорости скатывания отцепов. Разделительными элементами при этом выступают:

– стрелочные переводы, на которых должны быть обеспечены интервалы времени, достаточные для их перевода и формирования установленных маршрутов следования отцепов;

– замедлители механизированных тормозных позиций, на которых должны быть обеспечены интервалы времени, достаточные для их затормаживания или растормаживания;

– регулировщики скорости движения вагонов, для которых должно быть обеспечено время, достаточное для безопасного перехода между сортировочными путями.

В случае если никакие режимы торможения отцепа не обеспечивают разделение отцепа по маршруту скатывания с предшествующими, в роспуске должен быть предусмотрен перерыв с целью увеличения начального интервала на вершине горки.

Для иллюстрации разработанных методов рассмотрим расформирование состава из 25 отцепов на сортировочной горке большой мощности с 32 путями в подгорочном парке. Параметры указанного состава представлены в табл. 1.

Все множество случаев разделений отцепов на разделительных элементах может быть представлено в виде матрицы разделений, предлагаемая форма которой представлена в табл. 2. Таблица включает как первичные, так и вторичные разделения отцепов [10]. При построении табл. 2 принято, что регулировщики скорости вагонов обслуживают по четыре пути. В таблице выделены разделительные элементы, которые занимает отцеп в процессе скатывания. При этом знаки «+» и «-» указывают направление следования отцепа по стрелочному

переводу, а цифры указывают на предшествующий отцеп, с которым имеет место разделение.

Таблица 1 – Параметры расформируемого состава

№ отц	№ ваг	Тип	Весовая категория	$l_{\text{приц}}, \text{ м}$	Путь назначения	№ отц	№ ваг	Тип	Весовая категория	$l_{\text{приц}}, \text{ м}$	Путь назначения
1	1	ПЛ	42	412	4	12	18	ЦС	77	422	9
2	2	ПВ	71	467	9	13	19	ПВ	85	437	12
	3	ПВ	71			14	20	ПЛ	79	504	11
	4	ПВ	71				21	ПЛ	79		
3	5	ЦС	22	486	7	15	22	ПВ	30	474	7
4	6	КР	54	504	1	16	23	ПВ	38	397	4
	7	КР	54			17	24	ПВ	58	1085	2
5	8	ЦС	80	787	16	18	25	ПЛ	80	669	13
6	9	КР	65	492	5	19	26	ПВ	70	462	5
	10	КР	65			20	27	ПВ	78	1070	2
7	11	ПВ	90	764	15	21	28	КР	80	474	11
	12	ПВ	90			22	29	ПВ	46	595	3
	13	ПВ	90			23	30	ПВ	54	474	1
8	14	ПВ	22	682	6	24	31	ПВ	38	719	15
9	15	ЦС	87	681	13		32	ПВ	38		
10	16	ПВ	62	1100	2	25	33	ПВ	84	422	12
11	17	ЦС	73	607	3						

Таблица 2 – Матрица разделений отцепов состава

Отцеп	Стрелочные переводы																Тормозные позиции						
																	ВТП	СТП		БТП			
	21	31	32	41	42	43	44	51	52	53	54	55	56	57	58	1		2	1	2	3	4	
1	+		+				-							-		0	0		0				
2	-1	+			+						+					1		0			0		
3	+2		-1			-						+				2	1			0			
4	+		+3				+1								+	3	3		1				
5	-4	-2		-				-								4		2				0	
6	+5		-4			+3							+			5	4			3			
7	-6	-		-				+5								6		5				5	
8	+7		-			+							-6			7	6			6			
9	-8	-		+7					+							8		7				7	
10	+9		+8				+								-4	9	8		4				
11	+		+				-10								+1	10	10		10				
12	-11	+9			+						+					11		9				2	
13	-	+			-12					-						12		12				12	
14	-	+			-					+13						13		13				13	
15	+14		-11			-8						+				14	11			8			
16	+		+15				-							-11		15	15		11				
17	+		+				+16								-	16	16		16				
18	-17	-14		+					+							17		14				9	
19	+18		-17			+15							+8			18	17			15			
20	+		+19				+								-	19	19		17				
21	-20	+18			-					+						20		18				14	
22	+21		+				-20							+16		21	20		20				
23	+						+22								+20	22	22		22				
24	-23	-21		-18				+			-21					23		21				18	
25	-	+24			-											24		24				21	

Учитывая, что параметры отцепов, условия их скатывания, а также фактические скорости выхода отцепов из тормозных позиций являются случайными величинами, то время скатывания от момента отрыва до момента занятия разделительного элемента s_{kj} j -го отцепа $t_j(s_{kj})$, а также время скатывания от момента отрыва до момента освобождения разделительного элемента s_{kj} k -го отцепа $\tau_k(s_{kj})$ также являются случайными величинами. В результате разделение

отцепов по маршрутам скатывания будет иметь случайный характер, а его вероятность может быть оценена с помощью выражения [11]

$$p_{kj} = \Phi \left(\frac{\theta_{kj} - t_{\text{пе}} - M[\tau_k(s_{kj})] + M[t_j(s_{kj})]}{\sqrt{\sigma[\tau_k(s_{kj})]^2 + \sigma[t_j(s_{kj})]^2}} \right),$$

где θ_{kj} – начальный интервал между k -м и j -м отцепами на вершине горки;

$M[\tau_k(s_{kj})], M[t_j(s_{kj})]$ – соответственно, математические ожидания величин $\tau_k(s_{kj})$ и $t_j(s_{kj})$;

$\sigma[\tau_k(s_{kj})], \sigma[t_j(s_{kj})]$ – соответственно, средние квадратические отклонения величин $\tau_k(s_{kj})$ и $t_{i+1}(s_{ij})$.

Необходимо отметить, что для первого отцепя расформируемой группы безусловно оптимальным управлением является реализация быстрого режима [9] при котором продолжительность занятия отцепом маршрута скатывания является минимальной. Реализация такого режима обеспечивает наибольший резерв времени для всех следующих за ним отцепов. Режимы торможения отцепов со 2-го по n-й зависят от режимов торможения предшествующих отцепов. На этапе планирования роспуска допустимыми по условиям интервального регулирования скорости скатывания отцепов будем считать режимы, которые обеспечивают разделение отцепя со всеми предшествующими отцепями с заданной вероятностью. Принято, что допустимая вероятность неразделения отцепов на стрелках и замедлителях составляет не более 0,005, а допустимая вероятность неразделения отцепов на башмачных тормозных позициях составляет не более 0,0005. Если для некоторого отцепя применение медленного режима торможения не обеспечивает его разделение с предыдущими отцепями, то в процессе роспуска состава должен быть сделан перерыв. При такой формулировке задачи оценка возможности расформирования состава может выполняться на основании последовательного скатывания отцепов, начиная со 2-го по n-й в максимально возможном быстром режиме.

Анализ областей допустимых режимов торможения отцепов [5] показывает, что поиск допустимого решения осуществляется вдоль их правой границы.

В качестве иллюстрации на рис. 1 а, б представлен поиск максимально быстрого режима торможения, обеспечивающего разделение отцепов 14 и 13 на парковой тормозной позиции при скорости роспуска 0,8 м/с.

Анализ режимов торможения отцепя 14 показывает, что для обеспечения допустимой вероятности его неразделения с отцепом 13 на ПТП при скорости роспуска 0,8 м/с скорость выхода отцепя из ВТП должна быть установлена $v_1 = 4,49$ м/с, а со второй $v_1 = 2,50$ м/с (точка G на ОДР).

С использованием данного метода выполнено моделирование расформирования состава на скорости $v_{\min} = 0,8$ м/с. По результатам имитационных экспериментов установлено, что имеют место два возможных варианта. Первый вариант предусматривает перерывы в роспуске после 10, 12, 17 и 22-го отцепов; второй – с перерывами в роспуске после 10, 12, 16 и 22-го отцепов.

Повышение скорости роспуска группы отцепов является возможным до того момента, пока вероятность неразделения ее отцепов сохраняет допустимые значения. При этом, повышение скорости роспуска приводит к сокращению начального интервала между отцепями на вершине горки и к

уменьшению времени скатывания отцепя от момента отрыва до входа на первую тормозную позицию. Максимально допустимой скоростью роспуска группы отцепов будем называть наибольшую скорость роспуска $v_{\text{рд}}$ ($v_{\min} \leq v_{\text{рд}} \leq v_{\max}$), превышение которой приводит к нарушению условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов.

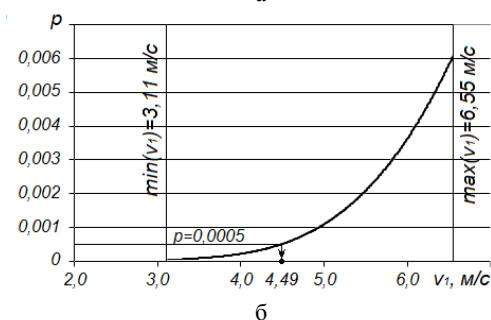
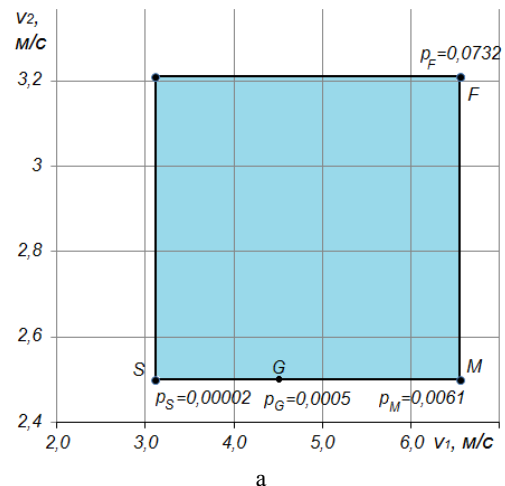


Рис. 2 – Поиск режима торможения отцепя 14, обеспечивающего разделение с отцепом 13 на ПТП: а – ОДР отцепя 14; б – поиск режима торможения на участке MS границы ОДР

Вероятность неразделения отцепов на разделительных элементах имеет сложную нелинейную зависимость от скорости роспуска. На нее оказывают влияние параметры маршрута скатывания, условия внешней среды характеристики отцепов, а также режимы торможения отцепов на тормозных позициях. Получить данную зависимость в аналитическом виде не представляется возможным и основным методом для ее оценки в настоящее время является имитационное моделирование процесса расформирования состава. С целью сокращения объемов вычислительных экспериментов по определению максимально допустимой скорости роспуска целесообразно оценивать ее на основании статистических зависимостей, получаемых по данным ограниченного числа экспериментов с имитационной моделью скатывания отцепов.

В результате анализа данных имитационных экспериментов установлено, что зависимость начального интервала между отцепями от скорости роспуска может быть представлена с помощью выражения

$$\theta_{kj}(v_p) = \frac{A_{kj}}{v_p}, \quad (3)$$

где A_{kj} – эмпирический коэффициент.

Время скатывания отцепов от вершины горки до точек их входа и выхода на(с) разделительные элементы зависит от многих факторов, в том числе и от выбранных режимов торможения отцепов на замедлителях. В результате анализа данных имитационных экспериментов установлено, что зависимости математического ожидания времени скатывания отцепа при быстром и медленном режимах скатывания могут быть аппроксимированы выражениями

$$t_{6,i}(v_p) = \frac{l_m}{\bar{v}_6(v_p)} = \frac{1}{a_{t0} + a_{t1}v_p + a_{t2}v_p^2}, \quad (4)$$

$$t_{m,i}(v_p) = \frac{l_m}{\bar{v}_m(v_p)} = \frac{1}{b_{t0} + b_{t1}v_p + b_{t2}v_p^2}, \quad (5)$$

где l_m – длина участка скатывания между точкой отрыва отцепа от состава и точкой занятия или освобождения разделительного элемента; $\bar{v}_6(v_p)$, $\bar{v}_m(v_p)$ – средняя скорость движения отцепа на участке скатывания; a_{t0} , a_{t1} , a_{t2} , b_{t0} , b_{t1} , b_{t2} – эмпирические коэффициенты.

Зависимости среднего квадратического отклонения времени скатывания отцепов в быстром и медленном режимах, соответственно могут быть представлены выражениями

$$\delta_{ш,i}(v_p) = \frac{1}{a_{d0} + a_{d1}v_p + a_{d2}v_p^2}, \quad (6)$$

$$\delta_{п,i}(v_p) = \frac{1}{b_{d0} + b_{d1}v_p + b_{d2}v_p^2}, \quad (7)$$

где a_{d0} , a_{d1} , a_{d2} , b_{d0} , b_{d1} , b_{d2} – эмпирические коэффициенты.

При определении режима торможения очередного отцепа выполняется расчет математического ожидания и среднего квадратического отклонения времени занятия им разделительных элементов в быстром режиме по формулам (4) и (6). Если при этом, вероятности его разделения с предыдущими отцепами имеют допустимые значения, то принимается быстрый режим скатывания. Если в какой-то из пар отцепов вероятности разделения принимают недопустимые значения, то выполняется расчет математического ожидания и среднего квадратического отклонения времени занятия им разделительных элементов в медленном режиме по формулам (5) и (7). Если в какой-то из пар отцепов вероятности разделения принимают недопустимые значения, то обеспечить разделение данного отцепа с предыдущими при установленной скорости роспуска невозможно; иначе найти на границе ОДР режим торможения, который обеспечивает разделение со всеми предшествующими отцепами.

Определение допустимой скорости роспуска осуществляется методами прямого поиска в

диапазоне $[v_{\min}, v_{\max}]$. В качестве метода поиска может быть использован модифицированный метод «золотого сечения», алгоритм которого формулируется следующим образом.

Шаг 1. Принять $v_{рд} = v_{\max}$.

Шаг 2. Если $v_{\min} = v_{\max}$, то перейти на шаг 5.

Шаг 3. Определить вероятности разделения отцепов $p_{kjh}(v_{рд})$ во всех разделительных парах при скорости $v_{рд}$.

Шаг 4. Если $\max(p_{kjh}(v_{рд})) < P_{дн}$, то принять $v_{\min} = v_{рд}$, $v_{рд} = 0,618(v_{\min} + v_{\max})$ и перейти к шагу 2.

Шаг 5. Если $\max(p_{kjh}(v_{рд})) > P_{дн}$, то принять $v_{\max} = v_{рд}$, $v_{рд} = 0,618(v_{\min} + v_{\max})$ и перейти к шагу 2.

Шаг 6. Конец решения.

Пример поиска максимально допустимой скорости роспуска в группе с 13-го по 16-й отцеп представлено в табл. 3.

Рассмотрим состав, состоящий из G -отцепов. В процессе роспуска после отрыва g_i отцепов может быть предусмотрен перерыв и образована s_i группа. Продолжительность роспуска состава определяется продолжительностью роспуска каждой из групп и продолжительностью перерывов между их роспусками.

$$\sum_{i=1}^G \frac{l_i}{v_{рд,i}} + (G-1)t_{пер} \rightarrow \min,$$

где l_i – длина i -й группы вагонов.

Уменьшение скорости роспуска групп вагонов состава приводит к росту времени, затрачиваемого на роспуск. В то же время, уменьшение скорости роспуска может приводить к объединению групп и сокращению количества перерывов между роспусками. Необходимо отметить, что минимально возможное количество перерывов в роспуске соответствует минимальной скорости роспуска. Максимально целесообразное количество перерывов в роспуске соответствует максимальной скорости роспуска. В связи с этим оптимизация деления состава на группы отцепов может осуществляться путем анализа целесообразности сокращения количества перерывов за счет уменьшения скорости роспуска.

Рассмотрим состав, состоящий из двух групп, между роспуском которых имеет место перерыв. Исключение перерыва в роспуске целесообразно в случае, если

$$\frac{l_1 + l_2}{v_{рд12}} < \frac{l_1}{v_{рд1}} + \frac{l_2}{v_{рд2}} + t_{пер}; \quad (8)$$

$$v_{рд12} \leq \min(v_{рд1}, v_{рд2}),$$

где $v_{рд1}$, $v_{рд2}$, $v_{рд12}$ – соответственно допустимые скорости роспуска первой, второй и объединенной первой и второй групп.

Таблица 3 – Пример поиска максимально допустимой скорости роспуска в группе с 13-го по 16-й отцеп

Отцепы $k-j$	Раздели- тельный элемент H	$v_{\max}$								
		1,700	1,700	1,700	1,569	1,569	1,569	1,557	1,550	1,545
		$v_{\text{рд}}$								
		1,700	1,356	1,569	1,488	1,538	1,557	1,550	1,545	1,542
		$v_{\min}$								
		0,800	0,800	1,356	1,356	1,488	1,538	1,538	1,538	1,538
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	СТР. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	ВТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	СТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	БТП	0,01542	0,00013	0,00059	0,00035	0,00049	0,00054	0,00052	0,00051	0,00050
14-15	СТР. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	ВТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	СТР. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	ВТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	СТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0

На основании анализа выражения (8) может быть сформулировано Правило 1, в соответствии с которым минимальная скорость роспуска, при которой исключение перерыва в роспуске является целесообразным, может быть установлена из выражения

$$v_{\text{кр}12} = \max \left(v_{\min}, \frac{(l_1 + l_2) v_{\text{рд}1} v_{\text{рд}2}}{l_1 v_{\text{рд}2} + l_2 v_{\text{рд}1} + t_{\text{пер}} v_{\text{рд}1} v_{\text{рд}2}} \right).$$

Поэтому, для определения целесообразности объединения групп вагонов в одну необходимо выполнить моделирование роспуска состава на скорости $v_{\text{кр}}$. Если на данной скорости могут быть обеспечены требования интервального регулирования, то объединение групп целесообразно и необходимо установить допустимую скорость роспуска объединенной группы, иначе объединение групп не целесообразно.

Пусть имеет место состав из двух групп, которые нецелесообразно объединять так, что

$$\frac{l_1}{v_{\text{рд}1}} + \frac{l_2}{v_{\text{рд}2}} + t_{\text{пер}} < \frac{l_1 + l_2}{v_{\text{рд}12}}. \quad (9)$$

Представим выражение (9) как

$$t_{\text{пер}} < \frac{l_1}{v_{\text{рд}1}} \left(\frac{v_{\text{рд}1}}{v_{\text{рд}12}} - 1 \right) + \frac{l_2}{v_{\text{рд}2}} \left(\frac{v_{\text{рд}2}}{v_{\text{рд}12}} - 1 \right). \quad (10)$$

$$\begin{cases} v_{\text{кр}1n} = \max \left(v_{\min}, \frac{(l_{1,n-1} + l_n) v_{\text{рд}1,n-1} v_{\text{рд}n}}{l_1 v_{\text{рд}n} + l_2 v_{\text{рд}1,n-1} + t_{\text{пер}} v_{\text{рд}1,n-1} v_{\text{рд}n}} \right), & \text{если } T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n} < T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n}; \\ v_{\text{кр}1n} = \max \left(v_{\min}, \frac{(l_1 + l_{2,n}) v_{\text{рд}1,n-1} v_{\text{рд}n}}{l_1 v_{\text{рд}2,n} + l_2 v_{\text{рд}1} + t_{\text{пер}} v_{\text{рд}2,n} v_{\text{рд}1}} \right), & \text{если } T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n} \geq T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n}, \end{cases}$$

Поиск оптимального разбиения состава на группы предлагается осуществлять в соответствии со следующим алгоритмом.

Шаг 1. Выполнить моделирование роспуска состава со скоростью $v_{\max}$ и установить множество отцепов, после которых должны быть сделаны перерывы

Анализ выражения (10) показывает, что увеличение значений l_1 и l_2 , а также уменьшение величины $v_{\text{рд}12}$ приводит к увеличению правой части неравенства и не может вызвать его нарушения. Таким образом, может быть сформулировано Правило 2, заключающееся в том, что если на некотором этапе установлено, что на текущей скорости роспуска исключение перерыва между группами является не целесообразным, то при присоединении к этим группам вагонов из групп, следующих перед или после рассматриваемых, исключение данного перерыва будет также не целесообразным.

Рассмотрим возможность расформирования состава без перерывов в роспуске из n групп. Если в процессе анализа возможности объединения различных вариантов объединения от 2 до $n-1$ последовательных групп установлено, что хотя-бы для одной такой группы объединение не целесообразно, то и объединение n групп также не целесообразно. В противном случае будет нарушено Правило 2. Таким образом, для расформирования состава из n групп вагонов должно быть целесообразно расформирования без перерыва в роспуске групп с 1 по $n-1$ и со 2 по n . В соответствии с Правилем 1 целесообразность роспуска без перерыва n групп отцепов может быть установлена из выражения

вы в роспуске Q_6 . Определить продолжительность роспуска каждой из образованных групп.

Шаг 2. Выполнить моделирование роспуска состава со скоростью $v_{\min}$ и установить множество отцепов, после которых должны быть сделаны перерывы в роспуске Q_m .

Шаг 3. Если множества Q_b и Q_m совпадают, то оптимальная скорость роспуска всех групп состава $v_{\max}$. Конец решения.

Шаг 4. Добавить во множество возможных вариантов объединения групп R вариант организации роспуска состава с необъединенными группами.

Шаг 5. Принять $i=1$.

Шаг 6. Принять $i=i+1$.

Шаг 7. Если $i > n$, то для вариантов множества R определить общую продолжительность расформирования и выбрать наименьшую. Конец решения.

Шаг 8. Рассмотреть возможности объединения для каждой их i последовательных групп. Если объединение целесообразно добавить возможные варианты роспуска составов с объединением групп от 1 до i во множество R .

Шаг 9. Перейти на шаг 6.

Обсуждение результатов оптимизации параметров роспуска состава. Оптимальный режим роспуска состава, параметры которого представлены в табл. 1 приведен на рис. 2.

Отцеп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v_p , м/с	1,7									
Режим	БР	БР	БР	БР	БР	БР	БТП 5	БР	БР	БР

Отцеп	перерыв	11	12	перерыв	13	14	15	16	перерыв	17
v_p , м/с		1,7			1,545					
Режим		БР	БР		БР	БТП 13	БР	БР		БР

Отцеп	18	19	20	21	22	перерыв	23	24	25	
v_p , м/с	1,7						1,7			
Режим	БР	БР	БР	БР	БТП 20		БР	БР	БР	

Рис. 2 – Оптимальный режим роспуска состава

В случае, если продолжительность перерыва между роспусками составляет 0,33 мин, то рассмотренный состав может быть расформирован за 5,9 мин со средней скоростью роспуска 1,3 м/с. Скатывание отцепов состава может осуществляться в быстром режиме с исключением отцепов 7, 14 и 20, режимы торможения которых выбираются из условий обеспечения их разделения соответственно с отцепами 5, 13 и 20 на башмачной тормозной позиции.

Выводы. В результате выполненного исследования разработана методика выбора параметров управления роспуском составов, учитывающая особенности работы сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями. В основу предлагаемой методики положены методы математического моделирования скатывания отцепов с сортировочных горок и математической статистики. Результаты исследования могут использоваться как для решения оперативных задач, связанных с управлением роспуском, так и для решения технологических задач, таких как оценка перерабатывающей способности горок и нормирование штата регулировщиков скорости вагонов.

Список літератури:

1. Zhang, C. Analysis of Hump Automation in China [Text] / C. Zhang, Y. Wei, G. Xiao, Z. Wang, J. Fu // Traffic and Transportation Studies (2000). – 2000. doi: [10.1061/40503\(277\)45](https://doi.org/10.1061/40503(277)45)

2. Бобровский, В. И. Імітаційна модель процесу розпуску составів на сортувальних гірках [Текст] / В. І. Бобровский, А. С. Дорош, Є. Б. Демченко // Вісник Нац. техніч. ун-у «Харків. політех. ін-ту». Серія: Механіко-технолог. системи та комплекси. – 2015. – № 49 (1158). – С. 94–98.
3. Козаченко, Д. Н. Исследование прицельного регулирования скорости скатывания отцепов в условиях неопределенной информации об их ходовых свойствах [Текст] / Д. Н. Козаченко, Р. Г. Коробьева, О. И. Таранец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Т. 6, № 3 (42). – С. 42–47.
4. Бессоненко, С. А. Расчет скорости отцепов и мощности тормозных позиций с использованием вероятностных показателей [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. – № 5. – С. 11–16.
5. Bobrovskiy, V. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps [Text] / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, Issue 1. – P. 147–155. doi: [10.20858/tp.2016.11.1.14](https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14)
6. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава [Текст] / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1 (43). – С. 103–112. doi: [10.15802/stp.2013/9582](https://doi.org/10.15802/stp.2013/9582)
7. 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.
8. Гревцов, С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках [Текст] / С. В. Гревцов // Транспортні системи і технології перевезень. – 2016. – № 12. – С. 10–15. doi: [10.15802/tst.2016/85879](https://doi.org/10.15802/tst.2016/85879)
9. 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 імені академіка В. Лазаряна. – 2004. – № 4. – С. 174–182.
10. Бобровский, В. И. Анализ числа разделений отцепов в составах, расформируемых на действующих сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 2. – С. 17–21.
 11. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках [Текст] / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – № 34. – С. 46–50.
- Bibliography (transliterated):**
1. Zhang, C., Wei, Y., Xiao, G., Wang, Z., Fu, J. (2000). Analysis of Hump Automation in China. Traffic and Transportation Studies (2000). doi: [10.1061/40503\(277\)45](https://doi.org/10.1061/40503(277)45)
 2. Bobrovskiy, V. I., Dorosh, A. S., Demchenko, E. B. (2010). Imitatsiynaya model' protsesu rozpiska sostaviv na sortoval'nykh hirkakh [Simulation model of the trains breaking-up process at the humps]. Vestn. Khar'k. politekhn. un-ty. Ser.: Mekhaniko-tekhnoh. systemy ta komplekсы [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mechanic-technological systems and complexes], 9 (1158), 94–98.
 3. Kozachenko, D. M., Korobiova, R. H., Taranets, O. I. (2009). Issledovanie pricel'nogo regulirovaniya skorosti skatyvaniya otcepov v usloviyakh neopredelennoy informacii ob ih hodovykh svoystvakh [Investigation of sighting regulation of the rolling-off speed in the conditions of uncertainty of information about their running properties]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (3 (42)), 42–47.
 4. Bessonenko, S. A. (2006). Raschet skorosti otcepov i moshhnosti tormoznykh pozicij s ispol'zovaniem veroyatnostnykh pokazatelej [Calculation of the speed of traction and power braking positions using the probabilistic indicators]. Transport: nauka, tehnika, upravlenie [Transport: science, technology, management], 5, 11–16.
 5. Bobrovskiy, 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](https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14)
 6. Bobrovskiy, V. I., Dorosh, A. S. (2013). The optimization of retarding regimes within the particular group of cuts. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 1 (43), 103–112. doi: [10.15802/stp2013/9582](https://doi.org/10.15802/stp2013/9582)
 7. Bessonenko, S. A., Ivanchenko, V. N., Ljashchenko, A. M. (2013). Matematicheskaya model' rascheta parametrov interval'nogo tormozheniya otcepov i peremennykh skorostej rozpiska sostavov [Mathematical model for calculating the parameters of interval braking of traps and variable rates of composition dissolution]. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Bulletin of Rostov State Transport University], 1 (49), 55–65.
 8. Grevtsov, S. V. (2016). The analysis of risks related to break-up of rolling stock on hump yards. Transport systems and transportation technologies, 12, 10–15. doi: [10.15802/tst2016/85879](https://doi.org/10.15802/tst2016/85879)
 9. Bobrovskiy, V. I., Rogov, N. V. (2004). Optimizaciya rezhimov regulirovaniya skorosti otcepov pri rozpiske 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.
 10. Bobrovskiy, V. I., Kudryashov, A. V. (2011). Analiz chysla razdeleniy otsepov v sostavakh, rasformyruemykh na deystviushchykh sortirovochnykh horkakh [The analysis of the number of the cuts' separations in the train for existing hump]. Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen [Transport systems and transportation technologies], 2, 17–21.
 11. Kozachenko, D. N. (2010). Issledovanie uslovij interval'nogo regulirovaniya skorosti skatyvaniya otcepov na avtomatizirovannykh gorkah [Studies of the conditions of the interval speed control rolling unhook on automated slides]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 34, 46–50.

Поступила (received) 05.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Управління розпуском составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмівними позиціями/ Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.72–80. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Управление роспуском составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями/ Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.72–80. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Handling of the trains' breaking-up process on the sorting humps with non-mechanized target braking positions/ Kozachenko D., Grevtsov S., Bolvanovska T. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.72–80. – Bibliogr.:11. – 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»; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Козаченко Дмитрій Николаевич – доктор технических наук, профессор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой»; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Kozachenko Dmytro Mykolaiovych – 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»; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Гревцов Сергій Веніамінович – Львівський коледж транспортної інфраструктури Дніпропетровського

національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, директор; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Грецов Сергей Вениаминович – Львовский колледж транспортной инфраструктуры Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, директор; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Grevtsov Sergij Veniaminovich – Lviv College of Transport Infrastructure at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Head; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Болвановська Тетяна Валентинівна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри «Станції та вузли»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Болвановская Татьяна Валентиновна – кандидат технических наук, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры «Станции и узлы»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Bolvanovska Tetiana Valentynivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Associate Professor at the Department «Stations and Junction»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

УДК 621.311

М. М. МОШНОРІЗ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ДВОХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

В науковій роботі шляхом комп'ютерного моделювання досліджено роботу насосного агрегату з мережею водоспоживання та двох насосних агрегатів на водопровідну мережу. Для цього розроблено модель відцентрового насоса, модель мережі, електропривода, одного насосного агрегату з водопровідною мережею та двох насосних агрегатів з мережею. В результаті дослідження дано рекомендації до побудови систем водопостачання з кількома насосами. Також у роботі досліджено питання енергоспоживання насосною станцією в різних режимах роботи. Розроблено алгоритм роботи системи керування двома насосними агрегатами та перевірено його працездатність шляхом комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: насос, насосний агрегат, перетворювач частоти, зворотній зв'язок за швидкістю, лінійна модель двигуна, мережа водоспоживання, узгоджена робота насосів, енергоспоживання, алгоритм роботи системи керування.

В научной работе путем компьютерного моделирования исследована работа насосного агрегата с сетью водопотребления и двух насосных агрегатов на водопроводную сеть. Для этого разработана модель центробежного насоса, модель сети, электропривода, одного насосного агрегата с водопроводной сетью и двух насосных агрегатов с сетью. В результате исследования даны рекомендации к построению систем водоснабжения с несколькими насосами. Также в работе исследован вопрос энергопотребления насосной станцией в различных режимах работы. Разработан алгоритм работы системы управления двумя насосными агрегатами и проверено его работоспособность путем компьютерного моделирования.

Ключевые слова: насос, насосный агрегат, преобразователь частоты, обратная связь по скорости, линейная модель двигателя, сеть водопотребления, согласованная работа насосов, энергопотребление, алгоритм работы системы управления.

In the scientific work by computer modeling the work of the pump unit with a network of water consumption and two pump units on the water supply network was investigated. For this purpose a model of a centrifugal pump, a network model, an electric drive, one pump unit with a water supply network and two pump units with a network have been developed. As a result of the study, recommendations were given for building water supply systems with several pumps. Also, the issue of power consumption of the pump station in different operating modes is investigated. The algorithm of operation of the control system of two pump units was developed and its efficiency was checked by computer modeling.

Keywords: pump, pump unit, frequency converter, speed feedback, linear model of the engine, water consumption network, coordinated operation of pumps, power consumption, algorithm of control system operation.

Вступ. При роботі насоса на мережу водоспоживання виникають труднощі, які пов'язані з узгодженням роботи електропривода насоса і споживача. Ці труднощі пов'язані з наявністю протитиску в мережі. В будь який момент насос повинен генерувати тиск, який буде більший за протитиск в мережі. В іншому випадку він буде вимикатися з роботи зворотнім клапаном. Ще складнішим стає завдання узгодження роботи насоса з мережею, коли паралельно з цим насосом працює інший. Задача стає складнішою через те, що тепер узгоджувати треба не лише тиск насоса та мережі, а і тиски паралельно працюючих насосів.

При роботі двох насосів на мережу можна керувати ними однаково. Для цього зручно використовувати частотний перетворювач, який живитиме одночасно обидва насоси. В такому разі перетворювач частоти повинен бути розрахований на подвійну потуж-

ність, що суттєво збільшує вартість електропривода. Існують рішення, коли регулюється швидкість одного насоса, а інший вмикається чи вимикається. Саме такі рішення є економічно вигідними. Ускладнює питання використання даних рішень лише спосіб керування електроприводами насосів.

Отже, питання узгодження керування паралельно працюючими електроприводами насосів є актуальним.

Робота виконувалася відповідно до одного з напрямів роботи кафедри Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету. Цей напрям стосується діагностування електротехнічного обладнання, а саме систем водопостачання та насосних станцій.

© М. М. Мошноріз. 2017

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У сучасних вітчизняних і зарубіжних системах регулювання режимів роботи насосних установок здійснюється за допомогою автоматизованого регульованого електроприводу. У таких системах регулюванням параметром є тиск рідини. Сучасний розвиток техніки дозволяє підтримувати заданий натиск з великою точністю. Однак висока точність тягне за собою безперервну зміну частоти обертання електродвигуна насосного агрегату і внаслідок цього сприяє виникненню знакозмінних навантажень на окремі елементи насосного агрегату (еластичні муфти, що з'єднують насос з двигуном та ін.), Що ведуть до передчасного їх зносу. Тому в ряді випадків доводиться встановлювати підвищену зону нечутливості системи регулювання, що знижує точність стабілізації напору.

У роботах [1 - 10] розглядаються найбільш характерні проблеми управління насосними агрегатами системою водопостачання. Серед цих проблем слід назвати такі: регулювання продуктивності насосного агрегату та станції, узгодження роботи насосних агрегатів, економія енергоресурсів, підвищення надійності роботи станції, продовження терміну експлуатації трубопроводних мереж, діагностування несправностей системи водопостачання тощо.

У роботах [1, 2] розглядаються питання управління насосними агрегатами станції, при якому споживання електроенергії буде мінімальним.

У роботі [3] описується математична модель та виконується комп'ютерне моделювання системи водопостачання.

У роботах [4, 5] розглядається питання узгодженого управління насосними агрегатами станції, при якому забезпечуються потреби споживача у воді і зменшуються гідравлічні удари в трубопроводній мережі.

Роботи [6 - 10] описують способи покращення роботи насосної станції засобами електроприводу.

В цих роботах, як і у роботах інших авторів, повністю не висвітлено питання узгодженого управління двома регульованими насосними агрегатами станції водопостачання.

Ціль та задачі дослідження. Метою роботи є підвищення надійності системи водопостачання за рахунок автоматизації роботи системи керування насосами станції водопостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз існуючих методів і засобів керування насосною станцією;
- розробити модель роботи станції на водопровідну мережу;
- розробити алгоритм роботи системи керування насосною станцією;
- перевірити працездатність алгоритму шляхом комп'ютерного моделювання.

Матеріали та методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: теорія чисел та чисельних методів; теорія алгоритмів; теорія інтерполювання функцій; методи аналітичної геометрії для розробки методів контролю функцій лінійного інтерполювання; комп'ютерне моделювання для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень.

Виходячи з міркувань, висвітлених в [1 - 10], доцільно використовувати в якості приводного двигуна насосної установки асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, а живлення двигуна здійснювати від перетворювача частоти.

Побудуємо математичну модель системи водопостачання. Для цього розробимо моделі її елементів, а саме, електропривода, насосів та мережі водопостачання.

Аналітичний вираз статичної спадаючої напірно-витратної характеристики насоса має вигляд:

$$H = H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 - C Q^2, \quad (1)$$

де H - тиск води на виході насоса; H_0 - тиск води при нульовій продуктивності насоса; ω - кутова швидкість обертання насоса; $\omega_{\text{ном}}$ - номінальне значення швидкості обертання; C - коефіцієнт апроксимації напірно-витратної характеристики насоса; Q - продуктивність насоса.

Виразимо продуктивність насоса через швидкість та тиск:

$$Q = \sqrt{\frac{1}{C} \left(H_0 \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 - H \right)}. \quad (2)$$

У останній залежності беремо лише додатню частину розв'язку, оскільки продуктивність насоса при його роботі буде додатною.

Представимо статичну напірно-витратну характеристику мережі:

$$H = H_{\text{ст}} + R Q^2, \quad (3)$$

де $H_{\text{ст}}$ - геодезична висота підйому води; R - коефіцієнт, який враховує втрати в трубопроводі.

Для відцентрового насоса потужністю 7,5 кВт і швидкістю обертання 3000 об/хв, а також для мережі з протитиском 10 м. на основі лінеаризованої моделі асинхронного двигуна [3], рівнянь (1) та (3) побудуємо комп'ютерну модель системи водопостачання. Розглянемо випадок, коли вона складається з одного частотокерованого насосного агрегату та мережі водопостачання. Комп'ютерна модель системи, зібрана в програмному середовищі Matlab Simulink, зображена на рис. 1.

Графіки перехідних процесів продуктивності і тиску під час регулювання швидкості обертання насоса зобразимо на рис. 2.

В результаті моделювання встановлено, що спільна робота електропривода та мережі водопостачання можлива при швидкостях двигуна, більших за 66% від номінальної. Якщо швидкість двигуна буде меншою за 0,66 від номінальної, то двигун не зможе забезпечити геодезичну висоту підйому. Остання сходінка продуктивності відбувається на швидкості 0,66 від номінальної. При зменшенні швидкості більше за 0,66 від номінальної у момент 8 с відбувається спрацювання зворотнього клапану насоса і двигун виводиться з роботи. Попередні сходінки реалізують зменшення швидкості кожної 2 с на 20 % від номінальної.

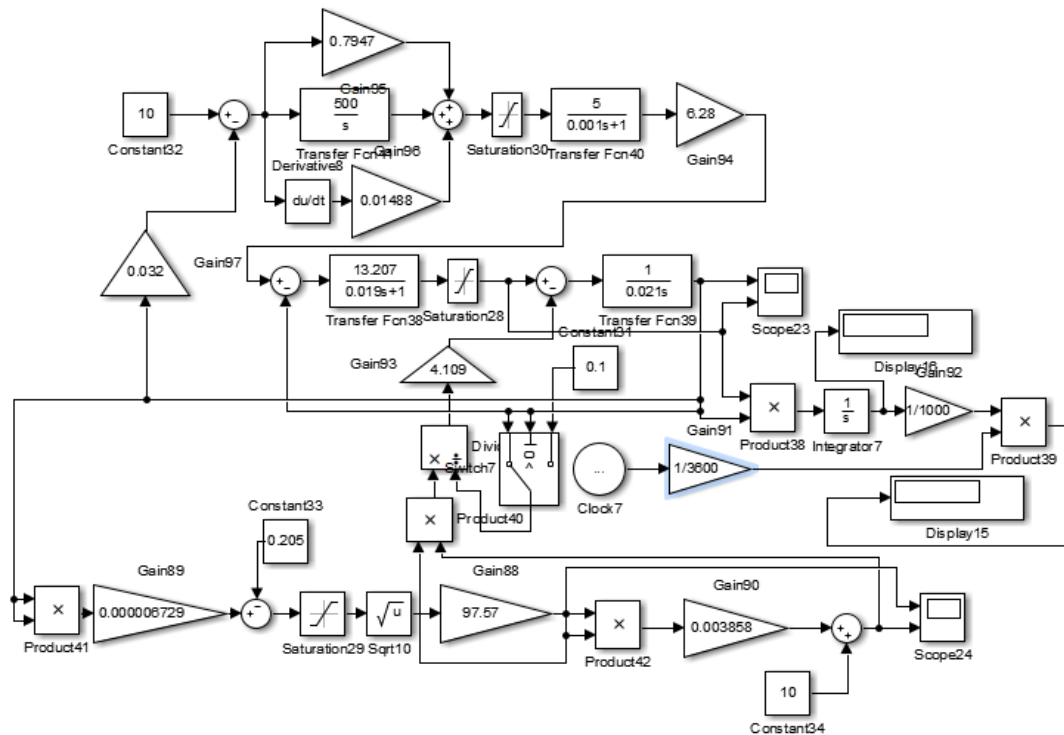


Рис. 1 - Комп'ютерна модель роботи електропривода насосного агрегату на мережу водопостачання

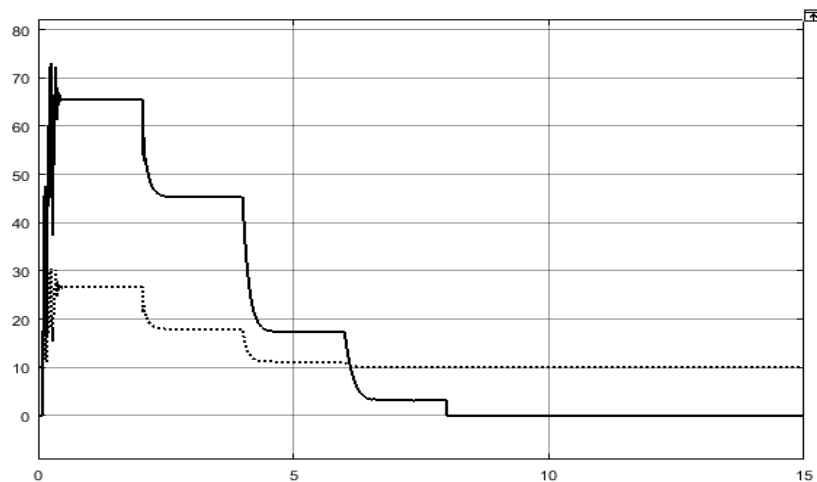


Рис. 2 - Графіки перехідних процесів продуктивності (суцільна лінія) та тиску (штрихова лінія) при ступеневому регулюванні швидкості обертання двигуна

Для моделювання спільної роботи двох насосних агрегатів необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$\begin{cases} H = H_{\text{ст}} + RQ^2, \\ H = H_0 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 - CQ_1^2, \\ H = H_0 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 - CQ_2^2, \\ Q = Q_1 + Q_2. \end{cases} \quad (4)$$

У цій системі враховано рівняння (1) окремо для першого та другого насосів (номер насоса в індексі),

рівняння мережі (3) та рівняння спільної роботи насосів. Продуктивності кожного з насосів визначаються за виразом (2).

Таким чином, розроблено математичну модель системи водопостачання, яка складається з двох частотокерованих насосних агрегатів та мережі водопостачання. В програмному середовищі Matlab Simulink побудовано її комп'ютерну модель.

Автоматизована система водопостачання повинна забезпечувати або автоматизоване увімкнення всіх насосних агрегатів станції, або вимкнення насосів, робота яких необґрунтована, або чергування роботи насосів.

На рис. 3 побудуємо алгоритм роботи системи.

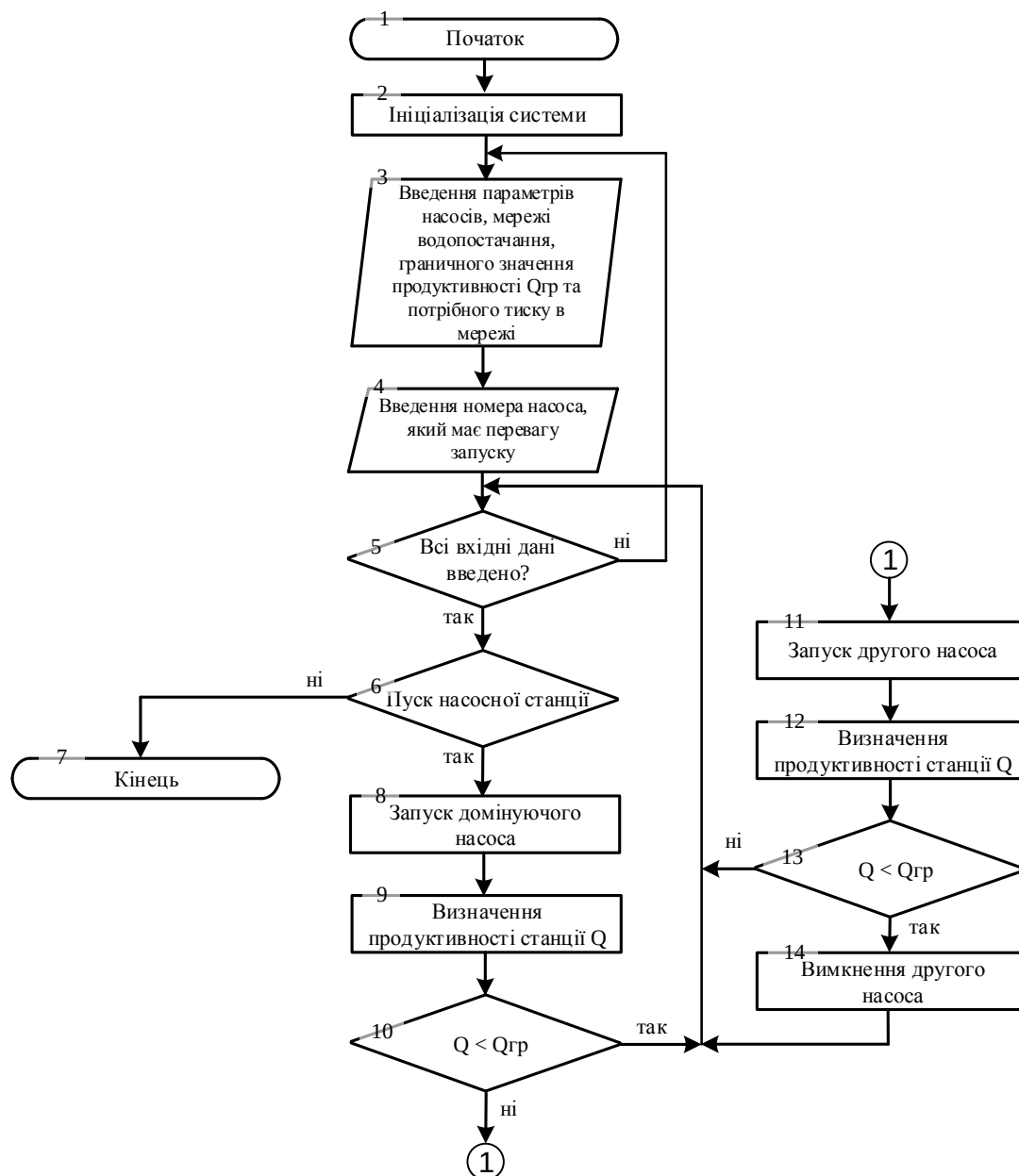


Рис. 3 - Алгоритм роботи системи керування двома частотнокерованими насосними агрегатами станції водопостачання

На алгоритмі роботи системи водопостачання позначено: елементи 1, 2 та 3 забезпечують перший запуск системи і її вимкнення; елементи 3 та 4 виконують запис інформації про параметри насосів, мережі водопостачання, граничного значення продуктивності, потрібного тиску та номера домінуючого насоса. Серед цієї інформації особливу увагу слід приділити номеру домінуючого насоса. Таким насосом має бути насос з меншим терміном безперервної роботи та більшим ресурсом. Визначення домінуючого насоса виконується персоналом станції, виходячи з досвіду експлуатації. Елементи 5 та 6 виконують перевірку чи введено всі необхідні дані і подана команда пуску насосної станції. У випадку, якщо введено не всі дані алгоритм повертає роботу системи до моменту введення інформації. Якщо не подано команду «Пуск», то алгоритм завершує роботу. Елементи 8 та 11 виконують запуск домінуючого та іншого насосів відпові-

дно. Елементи 9 та 13 забезпечують визначення продуктивності насосної станції. У блоках 10 та 13 виконується порівняння продуктивності насосної станції з граничним значенням продуктивності. Для випадку, коли працює два насоси з однаковими параметрами, граничним значенням продуктивності буде усталене значення продуктивності при роботі одного насоса на номінальних обертах приводного двигуна.

Перевіримо працездатність даного алгоритму шляхом комп'ютерного моделювання. Побудуємо комп'ютерну модель системи електропривода двох насосів зі зворотнім зв'язком по тиску води на виході станції. Для цього перерахуємо регулятор тиску.

Слід зауважити, що обидва електроприводи працюють від одного перетворювача частоти. Пуск чи зупинка кожного з насосів відбувається контактором.

Отримаємо графіки перехідних процесів, які зображено на рис. 4.

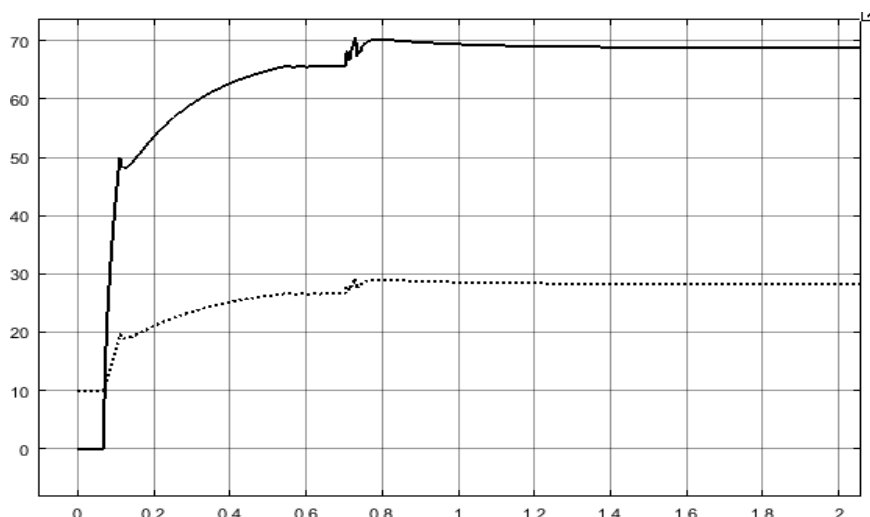


Рис. 4 - Результати роботи всієї системи, яка працює відповідно до розробленого алгоритму

На рисунку перехідний процес продуктивності показано суцільною лінією, а тиску - штриховою. З графіків видно, що у момент часу 0,7 с. в роботу включається другий насос і продуктивність станції зростає. При цьому виникає і певне перерегулювання тиску, який далі стабілізується. Отже система працює адекватно, відслідковуючи продуктивність системи водопостачання і забезпечуючи підтримання тиску на постійному рівні.

Перерегулювання продуктивності при пуску другого насоса становить 2,4 %, а перерегулювання тиску - 3,2 %. Отже система працює якісно і стійко.

Для порівняння слід зауважити, що графіки моделювання цієї системи при ручному керуванні мають імпульсну форму, коли другий насос зменшує свою швидкість обертання до граничного значення. Це пояснюється тим, що другий насос зі зменшенням швидкості зменшує тиск на своєму виході. І якщо цей тиск стає меншим ніж тиск працюючого насоса, то другий вмикається шляхом спрацювання зворотного клапану. Далі система керування намагається збільшити швидкість другого насоса. Це призводить до відкриття зворотного клапану і процедура повторюється.

Під час комп'ютерного моделювання всіх режимів роботи системи водопостачання виконувався розрахунок кількості корисної електроенергії, яка передавалася від двигуна до насоса. З порівняльної характеристики цих даних можна зробити такі висновки:

1. Врахування характеру навантаження впливає на перебіг перехідних процесів в двигуні. Для випадку, який розглядається у роботі, коли навантаження має вентиляторний характер і статичну складову, врахування цього призвело до зменшення споживання електроенергії на 6,6%.

2. Електропривода насосних агрегатів систем водопостачання обов'язково потрібно забезпечувати зворотним зв'язком по тиску. Для випадку, який розглядався у науковій роботі, це зумовлює зменшення споживання електроенергії на 58,2% порівняно з системами стабілізації швидкості обертання.

3. Регулювання продуктивності системи водопостачання шляхом зміни швидкості одного з насосів дозволяє зменшити споживання електроенергії на 25 %.

4. Використання частотнорегульованого електропривода в системах водопостачання дозволить досягти зменшення споживання електричної енергії до 60 %.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. При використанні лінеаризованої моделі асинхронного двигуна похибка отриманих результатів не перевищує 1% порівняно з моделлю у фазних координатах. Це науково обґрунтовує можливість використання лінеаризованої моделі асинхронного двигуна для моделювання сучасних електроприводів.

2. Шляхом комп'ютерного моделювання роботи одного насоса на водопровідну мережу встановлено, що граничне значення швидкості обертання дорівнює 0,66 в. од. від номінальної швидкості насоса. Для забезпечення більшого значення продуктивності потрібно вмикати другий насос.

3. Встановлено, що зі зменшенням швидкості насоса зменшується його вплив на продуктивність станції. Тобто регулювання швидкості обертання насоса слід виконувати в області його номінальних значень.

4. При роботі двох насосів на одну мережу виникають труднощі узгодження їхніх продуктивностей. Встановлено, що коли один з насосів працює на номінальній швидкості, то інший запускається з тривалими автоколиваннями тиску. Для уникнення цього в коло другого насоса необхідно вводити корегуючу ланку у вигляді аперіодичного фільтра.

Якщо один з насосів працює з постійними обертами, а швидкість іншого регулюється, що діапазон такого регулювання дуже вузький. Для випадку, який розглядається у статті діапазон регулювання продуктивності при роботі одного насоса становив 1/0,66, а при роботі двох - 1/0,92. Діапазон регулювання тиску при роботі одного насоса становив 1/0,4, а при роботі двох - 1/0,85.

5. Отримано, що при зменшенні швидкості насоса на 8% від номінальної, його продуктивність також зменшується на 8-10% від номінальної, а тиск - на 15 % від номінального.

6. Розроблений алгоритм роботи системи керування двома насосними агрегатами перевірено шляхом комп'ютерного моделювання на розглянутих моделях системи водопостачання. Перерегулювання продуктивності при пуску другого насоса становить 2,4 %, а перерегулювання тиску - 3,2%. Отже, система працює якісно і стійко.

Список літератури:

1. Лезнов, Б. С. Экономика электроэнергетики в насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Лезнов, Б. С. Энергосбережение в насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов, В. Б. Чебанов, Я. Н. Гинзбург, Н. П. Воробьева, Ю. Б. Исхаков, Н. Б. Лезнов // Промышленная энергетика. – 1999. – № 7. – С. 13–16.
3. Ібайді Ібрахім, М. А. Автоматизована система водопостачання, яка складається з кількох насосних агрегатів [Текст] / М. А. Ібайді Ібрахім. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 113 с.
4. Мошнориз, М. М. Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою керування групою паралельнопрацюючих насосів станцій водопостачання [Текст]: II Всеукр. наук.-техн. конф. / М. М. Мошнориз, М. М. Коцюрба. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – С. 70–72.
5. Коренькова, Т. В. Рациональный электропривод насосных станций городского водоснабжения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Т. В. Коренькова. – К., 2001. – 155 с.
6. Мошнориз, Н. Н. Усовершенствование системы управления водоснабжением отдельного населенного пункта на основании применения нечеткого регулятора [Текст] / Н. Н. Мошнориз, О. Н. Довганич. – Томск: ООО "СКАН", 2014. – С. 89–93.
7. Гриценко, К. Г. Способ решения задачи реконструкции электроприводов насосов насосной станции с использованием имитационной модели [Текст] / К. Г. Гриценко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2000. – Вип. 2 (9). – С. 10–16.
8. Сотник, М. І. Аналіз способів регулювання роботи насосних станцій комунального водопостачання [Текст] / М. І. Сотник,

С. О. Хованський, О. І. Дужак // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. – 2008. – № 2. – С. 152–157.

9. Коренькова, Т. В. Описание характеристик насосных агрегатов при переменной скорости вращения [Текст] / Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – Вип. 1 (12). – С. 184–189.
10. Сердюк, А. Особенности моделей водопроводных насосных комплексов [Текст] / А. Сердюк, Т. Коренькова // Вісник КДПУ. – 2007. – Вип. 4 (44). – С. 143–147.

Bibliography (transliterated):

1. Leznov, B. S. (1991). *Ehkonomiya ehlektroenergii v nasosnykh ustanovkakh*. Moscow: Ehnergoatomizdat, 144.
2. Leznov, B. S., Chebanov, V. B., Ginzburg, Ya. N., Vorob'eva, N. P., Iskhakov, Yu. B., Leznov, N. B. (1999). *Ehnergoberezhenie v nasosnykh ustanovkakh*. *Promyshlennaya energetika*, 7, 13–16.
3. Ibaidi Ibrakhim, M. A. (2017). *Avtomatyzovana systema vodopostachannia, yaka skladaetsia z kilkokh nasosnykh ahrehtiv*. Vinnytsia: VNTU, 113.
4. Moshnoriz, M. M., Kotsiuruba, M. M. (2016). *Alhorytm roboty mikroprotsesorного prystroiu keruvannia hrupoiu paralelnopratsuiuchykh nasosiv stantsii vodopostachannia*. Pskovsk: DVNZ «DonNTU», 70–72.
5. Koren'kova, T. V. (2001). *Ratsional'nyi ehlektroprivod nasosnykh stantsiy gorodskogo vodosnabzheniya*. Kyiv, 155.
6. Moshnoriz, N. N., Dovganich, O. N. (2014). *Usovershenstvovanie sistemy upravleniya vodosnabzheniem ot del'nogo naselyonного пункта na osnovanii primeneniya nechyotkogo regulatora*. Tomsk: ООО "SKAN", 89–93.
7. Gricenko, K. G. (2000). *Sposob resheniya zadachi rekonstrukcii ehlektroprivodov nasosov nasosnoy stantsii s ispol'zovaniem imitatsionnoy modeli*. *Visnyk Kremenchut'skoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu*, 2 (9), 10–16.
8. Sotnyk, M. I., Khovanskyi, S. O., Duzhak, O. I. (2008). *Analiz sposobiv rehuliuвання roboty nasosnykh stantsii komunalnoho vodopostachannia*. *Visnyk SumDU. Seriya: Tekhnichni nauky*, 2, 152–157.
9. Koren'kova, T. V. (2001). *Opisanie harakteristik nasosnykh agregatov pri peremennoy skorosti vrashcheniya*. *Visnyk Kremenchut'skoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu*, 1 (12), 184–189.
10. Serdyuk, A., Koren'kova, T. (2007). *Osobennosti modeley vodoprovodnykh nasosnykh kompleksov*. *Visnyk KDPU*, 4 (44), 143–147.

Надійшла (received) 26.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів / Мошнориз М. М. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.80–85. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Автоматизированная система водоснабжения, которая состоит из двух насосных агрегатов / Мошнориз Н. Н. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.80–85. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Automated water supply system consisting of two pump units / Moshnoriz M. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241). – P.80–85. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мошнориз Микола Миколайович - кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри "Електромеханічні системи автоматизації в промисловості і на транспорті"; Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, інд. 21021; e-mail: moshnoriz@gmail.com.

Мошнориз Николай Николаевич - кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры "Электромеханические системы автоматизации в промышленности и на транспорте"; Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, инд. 21021; e-mail: moshnoriz@gmail.com.

Moshnoriz Mykola - candidate of technical sciences, associate professor, Vinnitsa National Technical University, associate professor of the department "Electromechanical systems of automation in industry and transport"; Khmelnytsky highway, 95, Vinnytsya, Ind. 21021; E-mail: moshnoriz@gmail.com.

УДК 004.618.39-036-071: 519-7

*А. П. ПОРВАН, Е. В. ВЫСОЦКАЯ, И. В. НОВИКОВА, С. В. МАКАЙДА***МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ РАННИХ ПРИЗНАКОВ НАРУШЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ГОМЕОСТАЗА БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

В статье предложено моделирование структуры данных информационной системы выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы в экстремальных условиях на примере организма беременной, нарушение механизмов гомеостаза которой может привести как к гибели плода, так и к смерти самой женщины. Полученные результаты могут быть использованы для исследования процессов нарушения гомеостаза как биологических, так и экологических систем. Речь может идти о нарушениях, которые увеличивают риски возникновения различных угроз биобезопасности.

Ключевые слова: информационная система, база данных, беременность, преждевременные роды.

У статті запропоновано моделювання структури даних інформаційної системи виявлення ранніх ознак порушення механізмів гомеостазу біологічної системи в екстремальних умовах на прикладі організму вагітної, порушення механізмів гомеостазу якої може привести як до загибелі плоду, так і до смерті самої жінки. Отримані результати можуть бути використані для дослідження процесів порушення гомеостазу як біологічних, так і екологічних систем. Мова може йти про порушення, які збільшують ризики виникнення різних загроз біобезпеки.

Ключові слова: інформаційна система, база даних, вагітність, передчасні пологи.

The article suggests modeling the structure of the data of the information system for detecting early signs of the disturbance of the homeostasis mechanisms of the biological system in extreme conditions by the example of automating the registration of pregnant women during the determination of premature births. These may include violations that increase the risks of various threats to biosafety. The developed data structure is openness, modification and modularity of both the database. At the same time, aspects of the results, related to informatics, can be used to develop methods for formalized description of the processes of disturbance of the homeostasis of ecological systems. These may include violations that increase the risks of various threats to biosafety. These results can be used in the development of test Biosystems allowing diagnosing such disorders homeostasis ecological systems.

Keywords: information system, database, pregnancy, premature birth.

Введение. Нарушение механизмов гомеостаза на разных уровнях организации живой материи от экосистем и биосферы в целом до отдельных организмов является актуальной научной проблемой, качество решения которой обратно пропорционально времени, затраченному на выявление данного нарушения. Особую актуальность данная проблема приобретает при работе биологической системы в экстремальных условиях. Примером биологической системы, работающей в таких условиях, является организм беременной женщины, нарушение механизмов гомеостаза которой может привести как к гибели плода, так и к смерти самой женщины.

Проблема анализа и сохранения данных, характеризующих состояние организма женщины на ранних и поздних сроках беременности, довольно сложная и связана с тем, что большинство параметров отличаются по структуре и информативности. Это накладывает определенные ограничения на технологию сохранения зарегистрированных данных и структуру информационной системы. Для решения этой проблемы на уровне консолидации информации, поступающей из разных источников при выявлении ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы, необходимо создать модель данных, автоматизация обработки которых позволит сократить время анализа.

Анализ литературных источников и постановка проблемы. Основной задачей моделирования структуры данных является получение модели организации их хранения в терминах объектов и связей между ними, которая не будет зависеть от конкретной системы управления базами данных (СУБД) и будет суммировать информационные требования потенциальных пользователей.

Известна скрининговая автоматизированная система прогнозирования невынашивания беременности [1], которая позволяет на основании результатов ультразвукового исследования (УЗИ) органов малого таза и результатов оценки гормонального и биохимического анализа крови определять вероятность прерывания беременности на поздних сроках гестации. Модуль хранения данных рассматриваемой системы позволяет хранить информацию о данных УЗИ в соответствии со стандартным протоколом, результаты определения прогестерона, хорионического гонадотропина и уровня альфа-2-микроглобулина в сыворотке крови. Недостатком такой модели организации хранения данных является отсутствие учета клинико-лабораторных показателей, которые могут являться маркерами ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы, а также файловая организация определения сущностей базы данных (БД).

Берестневой О. Г. и др. была разработана информационная система (ИС) по выявлению групп риска среди беременных женщин [2], которая позволяет делать вывод об исходе беременности на основе компьютерного анализа экспериментального материала. Модель организации хранения данных описывает информацию о психофизиологическом состоянии женщины в период беременности и данные об исходе родов. Заложенный в систему алгоритм на основе обрабатываемых данных, хранящихся в файл-серверной БД, имеет недостаточную точность прогнозирования исхода беременности, вызванную высоким процентом ошибки из-за субъективности и разрозненности оцениваемых и вносимых в БД показателей.

В системе, предложенной Лазаревой Н.В. и др. [3], была использована разработанная нейронная сеть дифференциальной диагностики «острого живота»,

© А. П. Порван, Е. В. Высоцкая, И. В. Новикова, С. В. Макайда. 2017

исходными данными для обучения которой служит информация, хранящаяся в локальной БД и обеспечивающая процесс сохранения результатов исследования спинномозговой жидкости пациента, дифференциальной диагностики в развитии неотложных состояний хирургических и гинекологических больных с последующим выбором адекватной тактики лечения и профилактики осложнений. Данная нейронная сеть не стабильно работает при выявлении ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза, а хранящаяся в БД информация достаточна только для описания редких, мало изученных патологий, которые могут приводить к прерыванию беременности.

В ряде зарубежных автоматизированных систем принятия решений в перинатальной диагностике для выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза, таких как «Prisca» и «Cobas», используется клиент-серверная сетевая архитектура организации хранения данных [4 – 6]. Используемая модель данных позволяет хранить информацию о клинико-лабораторных исследованиях, проводимых с использованием различных биохимических и иммунохемилюминесцентных анализаторов.

Показанная авторами в работе [7] система позволяет на основе результатов лабораторных и клинических исследований делать заключения о группе риска, в которую попадает беременная, а все результаты работы системы могут передаваться в облачное хранилище информации.

Недостатком этих систем является нестабильность работы БД в высокоскоростных сетях и при высоком потоке одновременных обращений. Также информация, которая хранится в БД, слабо структурированная и может привести к потере важной информации.

Автоматизированная система «Мониторинг беременных» [8] предназначена для мониторинга беременных в регионе, начиная от этапа постановки на учет, назначения и выполнения плана мероприятий до родоразрешения (или другого исхода беременности). Недостатком данной системы является дублирование данных, как на стороне клиента, так и на стороне сервера. Отдельные части системы не всегда корректно работают вместе. Также недостатком является наличие результатов большого количества анализов для постановки корректного диагноза.

Важной особенностью развивающихся ИС и автоматизированных медицинских комплексов, используемых в акушерстве и гинекологии, является гибкость, под которой понимается способность к структурной адаптации системы в ответ на внешние и внутренние воздействия, способность к регулированию, к изменению своих характеристик и условий.

Представленная в работе [9] система оценки состояния здоровья беременных женщин, основана на информационном критерии и позволяет выявить общие для различных стрессовых факторов закономерности формирования адаптивного состояния. Количественные характеристики информационного критерия, хранимые в файл-серверной БД, позволяют оценить функциональный резерв и степень напряжения как организма в целом, так и его отдельных подси-

стем, в том числе и у беременных на поздних сроках гестации.

В работе [10] авторами была представлена автоматизированная система, в которой использовалась клиент-серверная технология Firebird и методика визуального программирования в среде разработки Borland Delphi. Для хранения информации используется БД, состоящая из 221 сущности, в которых содержатся данные об основных объектах, участвующих в деятельности поликлиники. Исходные данные о беременной могут быть представлены в числовом виде и в виде фактов. Недостатком является снижение производительности ИС при увеличении числа компьютеров или росте размерности БД в ходе роста количества записей.

Существующее мобильное приложение [11] позволяет контролировать беременность путем периодического опроса женщины и отправки ее ответов на сервер поликлиники. Система может взаимодействовать с Mobile Internet Platform для отправки и получения расширенных и мультимедийных сообщений. Существенным недостатком системы является ее жесткая привязанность к сети Интернет, что снижает ее мобильность в местах с ограниченным Интернет-трафиком.

Рассмотрев все описанные системы и способы организации хранения данных можно сказать, что основной проблемой автоматизации анализа и хранения полученных данных о состоянии беременной заключается в большом количестве диагностических параметров, получаемых от разных источников информации. Такие данные отличаются как по виду, так и по структуре. Это накладывает свои ограничения на интеграцию такой информации при организации хранения регистрируемых данных и структуру самой ИС.

Для решения этой проблемы на уровне консолидации информации существует потребность в моделировании структуры данных и разработке соответствующей БД для ИС выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы. На сегодняшний день ведущее место занимают реляционные модели БД и их использование в самых разнообразных приложениях показывает, что реляционная модель достаточна для моделирования предметных областей. В основе концепции такого моделирования лежит понятие отношения, представляющиеся в виде двумерной таблицы при соблюдении определенных ограничивающих условий. Такой набор таблиц используется для хранения сведений об объектах моделирования и связей между ними. Это может облегчить создание новой или изучение структуры уже имеющейся БД.

Физическое размещение данных в реляционных БД на внешних носителях осуществляется с помощью обычных файлов операционной системы. Достоинство реляционной модели данных заключается в простоте, понятности и удобстве ее применения при разработке структуры БД, подразумевающей использование различных типов данных.

Цель работы. Разработка модели структуры данных для информационной системы выявления

ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза беременных.

Объект исследования – физическая модель данных в информационной системе выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза у беременных.

Моделирование структуры данных для информационной системы выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза у беременных. Моделирование структуры данных информационной системы выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы в экстремальных условиях рассмотрим на примере автоматизации контроля беременных при определении преждевременных родов на ранних сроках гестации.

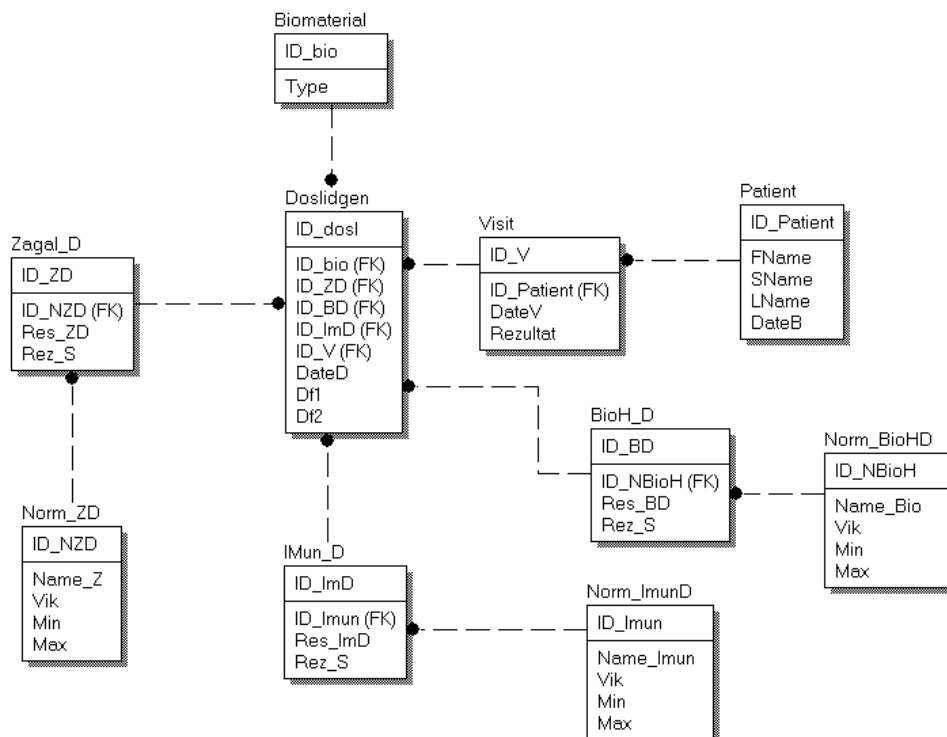


Рис. 1. – Концептуальная модель организации хранения данных в информационной системе выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы в экстремальных условиях

Между всеми сущностями в соответствии с требованиями к моделированию структуры данных [13] были установлены отношения типа «один-ко-многим», для которых была определена мощность [1, (P)].

Также были определены правила целостности данных для операций манипулирования на уровне ограничения удаления или обновления экземпляров родительских сущностей и полного удаления или обновления экземпляров дочерних сущностей, которые ссылаются на удаленный экземпляр родительской сущности: «Delete» – D, «Insert» – I, «Update» – U, (табл. 1).

При концептуальном проектировании сущности модели получили изменения путем определения их атрибутов и назначения первичных и внешних ключей.

Так как в реляционной модели поддерживаются связи типа [1, (P)], можно использовать специальный механизм преобразования, который позволит отразить

На первом этапе моделирования, на основе реляционной структуры данных, нами была разработана концептуальная модель организации хранения для которой были определены родительские сущности «Patient» и «Biomaterial».

Для своевременного выявления угрозы прерывания беременности на ранних сроках, в соответствии с разработанным методом [12], в процессе моделирования необходимо учитывать результаты клинико-лабораторных исследований. С этой целью были выделены дополнительные сущности «Zagal_D», «BioH_D», «IMun_D», «Doslidgen», «Visit», являющиеся дочерними. Также дополнительно были определены вспомогательные сущности «Norm_ZD», «Norm_BioHD», «Norm_ImunD» (рис. 1).

множественность связей с помощью допустимых категорий моделирования данных с использованием атрибутов отношений и первичных ключей.

Таблица 1 – Идентификация характеристик связей между сущностями

Сущность	Операция		
	D	I	U
«Patient»	R	N	R
«Biomaterial»	R	N	R
«Zagal_D»	C	R	C
«BioH_D»	C	R	C
«Imunologichne doslidgenia»	C	R	C
«Doslidgen»	R	R	R
«Visit»	C	R	C
«Norm_ZD»	R	N	R
«Norm BioHD»	R	N	R
«Norm ImunD»	R	N	R

На основе построенных отношений концептуальной модели была разработана логическая модель, включающая десять таблиц. Рассмотрим некоторые из них.

Так, таблица «Patient» предназначена для хранения информации о пациентах, поступивших в гинекологическое отделение. Атрибутивная форма данной таблицы представлена в табл. 2.

Таблица «Biomaterial» предназначена для хранения информации о типе биологического материала (плазма/сыворотка крови, моча, спинномозговая жидкость и т.д.), который был взят у беременной для проведения необходимого скринингового исследования. Атрибуты данной таблицы и их характеристики представлены в табл. 3.

Сущность «Zagal_D» предназначена для сохранения результатов общего клинического исследования биологического материала пациента.

Сущность «BioH_D» предназначена для хранения результатов общего биохимического исследования биологического материала пациента.

Сущность «IMun_D» предназначена для хранения результатов общего иммуноферментного исследования биологического материала пациента.

Сущность «Doslidgen» позволяет сохранять информацию о дате проведения клинико-лабораторного исследования и является связующей между сущностями «Patient», «Biomaterial», «Zagal_D», «BioH_D», «IMun_D».

Сущность «Visit» предназначена для хранения информации о посещении пациентом врача, вероятности наступления преждевременных родов и связана с сущностью «Doslidgen».

Три сущности «Norm_ZD», «Norm_BioHD», «Norm_ImunD» предназначены для сохранения информации о нормах показателей клинического, биохимического и иммуноферментного анализов биологического материала. Данные сущности связаны отношениями с сущностями «Zagal_D», «BioH_D», «IMun_D».

Атрибутивные формы описанных дочерних и вспомогательных таблиц приведены в табл. 4–11.

Таблица 2 – Атрибуты таблицы «Patient»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
Номер карточки	Numeric	Первичный ключ, идентификатор записи о пациенте
Имя	Text	Имя пациента
Отчество	Text	Отчество пациента
Фамилия	Text	Фамилия пациента
Дата рождения	Date	Дата рождения пациента в кратком формате

Таблица 3 – Атрибуты таблицы «Biomaterial»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
Код материала	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи о материале
Тип биоматериала	Varchar(30)	Тип биоматериала

Таблица 4 – Атрибуты таблицы «Norm_ZD»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_NZD	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об общем клиническом исследовании
Name_Z	Varchar(20)	Наименование исследования
Vik	Varchar(10)	Возраст пациента
Min	Float	Минимальное значение нормы показателя
Max	Float	Максимальное значение нормы показателя

Таблица 5 – Атрибуты таблицы «Norm_ImunD»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_Imun	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об общем иммуноферментном исследовании
Name_Imun	Varchar(20)	Названия исследование
Vik	Varchar(10)	Возраст пациента
Min	Float	Минимальное значение нормы показателя
Max	Float	Максимальное значение нормы показателя

Таблица 6 – Атрибуты таблицы «Norm_BioHD»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_NBioH	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об общем биохимического исследовании
Name_Bio	Varchar(20)	Названия исследование
Vik	Varchar(10)	Возраст пациента
Min	Float	Минимальное значение нормы показателя
Max	Float	Максимальное значение нормы показателя

Таблица 7 – Атрибуты таблицы «Visit»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_V	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об визите пациента
DateV	Date	Дата визита пациента
Rezultat	Varchar(150)	Результат визита пациента
Номер_картки	Numeric	Номер амбулаторной карточки пациента

Таблица 8 – Атрибуты таблицы «Doslidgen»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_dosl	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об исследовании пациента
DateD	Date	Дата исследования
Df1	Float	Значение первой дискриминантной функции
Df2	Float	Значение второй дискриминантной функции
ID_V	Integer	Идентификатор записи о визите пациента
Код_материала	Integer	Код биоматериала пациента
ID_ZD	Integer	Идентификатор записи об общем клиническом исследовании
ID_BD	Integer	Идентификатор записи общего биохимического исследования
ID_ImD	Integer	Идентификатор записи об общем иммуноферментном исследовании

Таблица 9 – Атрибуты таблицы «BioH_D»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_BD	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об общем биохимическом исследовании
Результат	Varchar(100)	Результат проведенного исследования показателя
Результат порівняння	Varchar(20)	Сравнение результата с нормой
ID_NBioH	Integer	Идентификатор нормы

Таблица 10 – Атрибуты таблицы «Zagal_D»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_ZD	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об общем клиническом исследовании
Результат	Varchar(10)	Результат проведенного исследования показателя
Результат порівняння	Varchar(20)	Сравнение результата с нормой
ID_NBioH	Integer	Идентификатор нормы

Таблица 11 – Атрибуты таблицы «IMun_D»

Имя атрибута	Тип данных	Комментарии к атрибуту
ID_ImD	Integer	Первичный ключ, идентификатор записи об общем иммуноферментном исследовании
Результат	Varchar(10)	Результат проведенного исследования показателя
Результат порівняння	Varchar(20)	Сравнение результата с нормой
ID_NBioH	Integer	Идентификатор нормы

Такой набор таблиц и их атрибутов мотивирован необходимостью избыточного хранения данных, пригодных для последующего анализа и принятия врачебного решения о лечебно-профилактических мероприятиях при угрозе срыва беременности.

Документирование и масштабирование логической модели проводилось в соответствии с нотациями IDEFX1 представления данных на ER-диаграмме.

Физическое моделирование организации процесса хранения данных проводилось путем преобразования инфологической модели в датоцентричную, при котором каждой сущности ставится в соответствие двумерная таблица, а каждому атрибуту сущности со-

ответствует аналогичное поле полученной таблицы (рис. 2).

Выполнение всех преобразований осуществлялось с помощью CASE-средства ErWin. Это позволило безошибочно провести преобразования типов данных атрибутов сущностей к типам данных выбранной СУБД MySQL.

Графическое представление физической модели в ErWin полностью отражает реальную БД, которая будет реализоваться в ИС. Фрагмент программного кода реализации процесса моделирования организации хранения данных с использованием языка SQL можно представить в следующем виде:

```

ALTER TABLE IMun_D ADD PRIMARY KEY (ID_ImD);
ALTER TABLE Visit ADD FOREIGN KEY R_1 (Номер_картки) REFERENCES Patient(Номер_картки) ON
DELETE CASCADE;
ALTER TABLE Doslidgen ADD FOREIGN KEY R_2 (ID_V) REFERENCES Visit(ID_V) ON DELETE CAS-
CADE;
ALTER TABLE Doslidgen ADD FOREIGN KEY R_3 (Код_материала) REFERENCES
Biomaterial(Код_материала) ON DELETE CASCADE;
ALTER TABLE Doslidgen ADD FOREIGN KEY R_7 (ID_ZD) REFERENCES Zagal_D(ID_ZD) ON DELETE
CASCADE;
ALTER TABLE Doslidgen ADD FOREIGN KEY R_8 (ID_BD) REFERENCES BioH_D(ID_BD) ON DELETE
CASCADE;
ALTER TABLE Doslidgen ADD FOREIGN KEY R_9 (ID_ImD) REFERENCES IMun_D(ID_ImD) ON DELETE
CASCADE;
ALTER TABLE BioH_D ADD FOREIGN KEY R_5 (ID_NBioH) REFERENCES Norm_BioHD(ID_NBioH) ON
DELETE CASCADE;
ALTER TABLE Zagal_D ADD FOREIGN KEY R_6 (ID_NZD) REFERENCES Norm_ZD(ID_NZD) ON DELETE
CASCADE;
ALTER TABLE IMun_D ADD FOREIGN KEY R_10 (ID_Imun) REFERENCES Norm_ImunD(ID_Imun) ON DE-
LETE CASCADE;

```

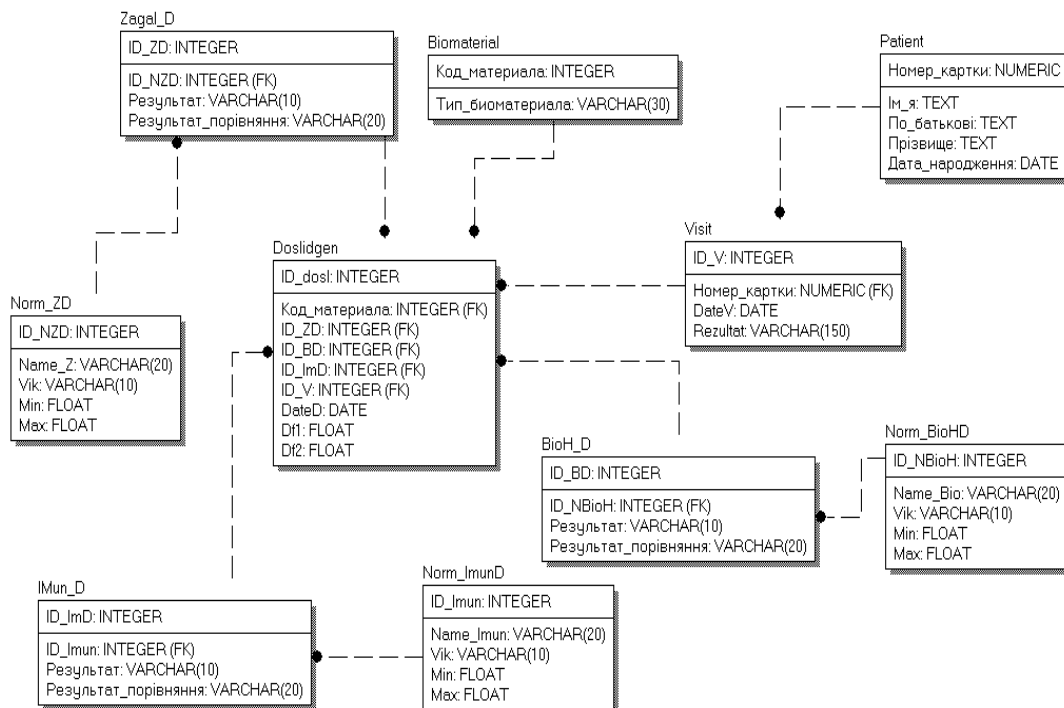


Рис. 2. – Физическая модель базы данных

Выводы. Разработанная структура данных позволяет организовать хранение необходимого количества диагностической информации в информационной системе выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза беременных, а ее структура обеспечивает открытость, модифицированность и модульность (наращивание) как самой базы данных, так и системы в целом.

Список литературы:

1. Пат. № 2444734 RU. Способ прогнозирования невынашивания беременности ранних сроков инфекционного генеза. МПК G01N 33/53 (2006.01) [Текст] / Дубровина С. О. Мяслюк А. М.; заявитель и патенто обладатель ФГУ Ростовский НИИ акушерства и педиатрии Министерства по здравоохранению и социальному развитию РФ. – № 2010145072/15, заявл. 03.11.2010; опубл. 10.03.2012.
2. Берестнева, О. Г. Информационная технология выявления групп психологического риска среди беременных женщин [Текст] / О. Г.

Берестнева // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2008. – Т. 2, № 2. – С. 183–188.

3. Лазарева, Н. В. Экспертная система для дифференциальной диагностики «острого живота» в акушерстве и гинекологии [Текст] / Н. В. Лазарева // Казанский медицинский журнал. – 2008. – Т. 89, № 5. – С. 591–595. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=11911647>
4. Graves, J. Maternal serum triple analite screening in pregnancy [Text] / J. Graves, K. Miller, A. Sellers // Am. Fan. Phisican. – 2002. – Issue 65. – P. 15–20.
5. Wald, N. J. Maternal serum screening for Down's syndrome: the effect of routine ultrasound scan determination of gestational age and adjustment for maternal weight [Text] / N. J. Wald, H. S. Cuckle, J. W. Densem, A. Kennard, D. Smith // BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology. – 1992. – Vol. 99, Issue 2. – P. 144–149. doi: 10.1111/j.1471-0528.1992.tb14474.x
6. Vranken, G. Medians for second-trimester maternal serum markers: geographical differences and variation caused by median multiples-of-median equations [Text] / G. Vranken // Journal of Clinical Pathology. – 2006. – Vol. 59, Issue 6. – P. 639–644. doi: 10.1136/jcp.2005.034272

7. *Бойко, К. Г.* Разработка экспертной системы прогнозирования исхода беременности и родов [Текст]: VIII Всерос. науч.-практ. конф. / К. Г. Бойко, М. П. Никифоров // Молодежь и современные информационные технологии. – Томск: Изд-во СПб Графика, 2010. – С. 50.
8. *Анкудинов, Н. О.* Информационная система «Акушерский Мониторинг» [Текст] / Н. О. Анкудинов, Н. А. Зильбер, А. В. Жилин. – Екатеринбург, 2017. – Режим доступа: <http://www.miacso.ru/Documents/images/6.pdf>
9. *Гергет, О. М.* Автоматизированная информационная система оценки адаптации развивающихся систем [Текст] / О. М. Гергет, О. Г. Берестнева, Я. С. Пеккер // Проблемы информатики. – 2011. – № 2. – С. 76–82.
10. *Бойко, К. Г.* Экспертная система для выявления групп риска и прогнозирования исхода беременности [Текст] / К. Г. Бойко, М. П. Никифоров, А. Г. Пимонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 147–151.
11. Mobile phone based pregnancy support system [Electronic resource]. – Available at: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/unpan/unpan037359.pdf>
12. Спосіб визначення кінця вагітності у пацієнтів з ранніми передчасними пологами. МПК (2015.01) А 61В 10/00, G01N 33/49 (2006.01) [Текст] / Жуков В. І., Висоцька О. В., Порван А. П., Корвай С. В., Макайда С. В. – № а201507734; заявл. 03.08.2015.
13. Структурное проектирование: ERWin. Отображение модели данных в ERWin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alice.stup.ac.ru/case/caseinfo/erwin/part1.php#1>
1. Dubrovina, S. O. Maklyuk, A. M. (2010). Pat. No. 2444734 RU. Spособ prognozirovaniya nevnashivaniya beremennosti rannih strokov infekcionnogo geneza. MPK G01N 33/53 (2006.01). No. 2010145072/15, declared: 03.11.2010; published: 10.03.2012.
2. Berestneva, O. G. (2008). Informacionnaya tekhnologiya vyyavleniya grupp psihologicheskogo riska sredi beremennyh zhenshchin. Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii, 2 (2), 183–188.
3. Lazareva, N. V. (2008). Ekspertnaya sistema dlya differentsial'noy diagnostiki «ostrogo zhivota» v akusherstve i ginekologii. Kazanskiy medicinskiy zhurnal, 89 (5), 591–595. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=11911647>
4. Graves, J., Miller, K., Sellers, A. (2002). Maternal serum triple analite screening in pregnancy. Am. Fam. Phisican, 65, 15–20.
5. Wald, N. J., Cuckle, H. S., Densem, J. W., Kennard, A., Smith, D. (1992). Maternal serum screening for Down's syndrome: the effect of routine ultrasound scan determination of gestational age and adjustment for maternal weight. BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology, 99 (2), 144–149. doi: [10.1111/j.1471-0528.1992.tb14474.x](https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1992.tb14474.x)
6. Vranken, G. (2006). Medians for second-trimester maternal serum markers: geographical differences and variation caused by median multiples-of-median equations. Journal of Clinical Pathology, 59 (6), 639–644. doi: [10.1136/jcp.2005.034272](https://doi.org/10.1136/jcp.2005.034272)
7. Boyko, K. G., Nikiforov, M. P. (2010). Razrabotka ehkspertnoy sistemy prognozirovaniya iskhoda beremennosti i rodov. Molodezh' i sovremennyye informacionnye tekhnologii. Tomsk: Izd-vo SPB Grafiks, 50.
8. Ankudinov, N. O., Zil'ber, N. A., Zhilin, A. V. (2017). Informacionnaya sistema «Akusherskiy Monitoring». Ekaterinburg. Available at: <http://www.miacso.ru/Documents/images/6.pdf>
9. Gerget, O. M., Berestneva, O. G., Pekker, Ya. S. (2011). Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema ocenki adaptatsii razvivayushchisya system. Problemy informatiki, 2, 76–82.
10. Boyko, K. G., Nikiforov, M. P., Pimonov, A. G. (2010). Ekspertnaya sistema dlya vyyavleniya grupp riska i prognozirovaniya iskhoda beremennosti. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 4, 147–151.
11. Mobile phone based pregnancy support system. Available at: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/unpan/unpan037359.pdf>
12. Zhukov, V. I., Vysots'ka, O. V., Porvan, A. P., Korovay, S. V., Makayda, S. V. (2015). Spособ vyznachenniya kintsya vahitnosti u patsiyentiv z rannimyy peredchasnymy polohamy. MPK (2015.01) A 61B 10/00, G01N 33/49 (2006.01). No. a201507734; declared: 03.08.2015.
13. Struktumoe proektirovanie: ERWin. Otobrazhenie modeli dannyh v ERWin. Available at: <http://alice.stup.ac.ru/case/caseinfo/erwin/part1.php#1>

Bibliography (transliterated):

Поступила (received) 12.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделирование структуры данных информационной системы выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы в экстремальных условиях/ Порван, А. П. Висоцкая, Е. В. Новикова, И. В. Макайда С. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.86–93. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Модельовання структури даних інформаційної системи виявлення ранніх ознак порушення механізмів гомеостазу біологічної системи в екстремальних умовах/ Порван, А. П. Висоцька, О. В. Новикова, І. В. Макайда С. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.86–93. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Modeling of data structure of the information system for detecting early appearance of a violation biological systems' homeostasis mechanisms under extreme conditions/ Porvan, A. Vysotska, O. Novikova, I. Makayda S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241). – P.86–93. – Bibliogr.:13 – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Порван Андрій Павлович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки; старший науковий співробітник кафедри біомедичної інженерії, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: andrii.porvan@nure.ua.

Висоцька Олена Володимирівна – доктор технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки; професор кафедри біомедичної інженерії, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61666.

Новикова Ірина Володимирівна – кандидат медичних наук, КЗОЗ «Обласна клінічна лікарня – Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф», завідувач багатoproфільної клініко-діагностичної лабораторії, пр. Незалежності, 13, м. Харків, Україна, 61058; e-mail: nucd12@ukr.net.

Макайда Сергій Володимирович – студент, факультет електронної і біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м Харків, Україна, 61166; e-mail: makayda1@rambler.ru.

Порван Андрій Павлович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки; старший науковий співробітник кафедри біомедицинської інженерії, пр. Науки, 14, г. Харків, Україна, 61166; e-mail: andrii.porvan@nure.ua.

Высоцкая Елена Владимировна – доктор технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки; професор кафедри біомедицинської інженерії, пр. Науки, 14, г. Харків, Україна, 61666.

Новикова Ірина Владимировна – кандидат медичних наук, КУОЗ «Областна клінічна лікарня – Центр екстреної медичної допомоги і медицини катастроф», завідувача багатопрофільної клініко-діагностичної лабораторії; пр. Незалежності, 13, г. Харків, Україна, 61058; e-mail: mkdl12@ukr.net.

Макайда Сергій Володимирович – студент, факультет електронної і біомедицинської інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, г. Харків, Україна, 61166; e-mail: makayda1@rambler.ru.

Porvan Andrii – PhD, Kharkov National University of Radioelectronics; Senior Research Department of Biomedical Engineering, Nauki Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; e-mail: andrii.porvan@nure.ua.

Vysotska Olena – Doctor of technical science, Kharkov National University of Radioelectronics; Professor of Department of Biomedical Engineering, Nauki Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166.

Novikova Irina – PhD, Kharkiv Regional clinical hospital - the Center of emergency medical aid and medicine of accidents», the Head of the multidisciplinary clinical diagnostic Laboratory; Nezalezhnosti Ave., 13, Kharkiv, Ukraine, 61058; e-mail: mkdl12@ukr.net.

Makayda Sergey – student, Faculty of Electronic and Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radioelectronics, Nauki ave., 14, Kharkov, Ukraine, 61166; e-mail: makayda1@rambler.ru.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 681.513

О. О. БРОВАРЕЦЬ

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ КОНТАКТІВ РОБОЧИХ ЕЛЕКТРОДІВ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ АГРОБІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

Побудовані математичні моделі для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь. Дані моделі дають отримати достовірні дані про площу контакту робочих електродів, а відповідно і отримати достовірні дані та можливість враховуючи агробіологічний стан ґрунтового середовища прийняти оперативне рішення для керування агробіологічним станом за допомогою керування технологічним процесом машинно-тракторного агрегату, сільськогосподарської машини, технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь.

Ключові слова: робочі електроди, якість технологічної операції, варіабельність ґрунтового середовища, технічна система оперативного моніторингу, агробіологічний стан, моніторинг.

Построенные математические модели для определения площади контактов рабочих электродов технической системы оперативного мониторинга вариабельность агробиологического состояния грунтовой среды сельскохозяйственных угодий. Данные модели дают получить достоверные данные о площади контакта рабочих электродов, а соответственно и получить достоверные данные и возможность учитывая агробиологическое состояние грунтовой среды принять оперативное решение для управления агробиологическим состоянием с помощью управления технологическим процессом машинно-тракторного агрегата, сельскохозяйственной машины, технической системы оперативного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: рабочие электроды, качества технологической операции, вариабельность грунтовой среды, техническая система оперативного мониторинга, агробиологическое состояние, мониторинг.

The mathematical model to determine the area of contact of the electrodes of the technical system operational monitoring state variability agrobiological soil environment farmland. These models provide reliable data about the area of contact of the electrodes, and hence reliable data and the opportunity given agrobiological condition of the soil environment to take prompt management solution agrobiological as using process control tractor unit, agricultural machinery, technical system operational state monitoring farmland. In opinion of authors of this research, it is necessary to consider the specific class of the guided systems, which depend on the start and finish and which adequately design the computer-integrated automatic control systems by implementation of technological processes in agricultural production including plant-grower. Management tasks such the systems some different from traditional management (including optimum) task and tied-up foremost, with planning of work of each of such systems.

The integrated systems of management to executions of technological processes in agricultural production are grounded, which rely on the initial and eventual moments of time of their functioning. For optimization of processes of management indicated the systems are conducted generalization of results of research of influencing of different factors on efficiency of plant-grower. The most ponderable technological, technical and organizational criteria of high-quality work of agricultural machines are set, their level of influence on an eventual result, size of the collected harvest, and also possible level of efficiency of application of the proper hardwares of mechanization with the management by influence on quality of execution actually of same technologically operations.

The use of the developed method is the computer-integrated control systems by implementation of technological processes in agricultural production, the dependency upon the initial and eventual moments of time of their functioning enable the subsequent changes of the systems. This method allows to optimize the use of present resources will provide the increase of efficiency on 20–30 %.

Keywords: working electrode, the quality of technological operations, variability of soil protection, technical system operational monitoring agrobiological condition monitoring.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційно-технічні системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь дають можливість забезпечити належну якість керування виконанням технологічних операцій з використанням сучасних інформаційно-технічних мехатронних та робототехнічних систем керування, пов'язаних з датчиками контролю якості виконання технологічних операцій, які у сучасному контексті їх розвитку отримали назву «розумних» або «смайт» машин (Smart machinery) [1-3].

Такі «розумні» машини з датчиками оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь можуть широко використовуватися на всіх стадіях виробництва сільськогосподарської продукції рослинництва: основного обробітку, сівби (садіння), на етапі догляду за посівами у період вегетації та при збиранні врожаю. Це дає можливість забезпечити належну якість виконання технологічних операцій при

оптимізації витрат на їх виробництво. «Розумні» машини «адаптуються» до агробіологічного стану ґрунтового середовища на основі інформації з датчиків про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

Огляд сучасних літературних джерел та наукових розробок [1] показує, що останніми роками відбувається процес інтеграції натурального (органічного, або біологічного), біодинамічного, екстенсивного, інтенсивного (промислового) та no-till землеробства з новітніми технологіями, зокрема з інформаційно-технічними системами оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь. При цьому останній напрям є найбільш актуальним та перспективним для умов України.

Важливою задачею оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь є так званий «management units» - територіальних одиниць з подібними параметрами просторової неоднорідності, де по-

© О. О. Броварець. 2017

винні використовуватися однотипні технології обробітку сільськогосподарських культур. Ці технології є основою роботи системи прийняття рішень «decision-making systems», яка дозволяє прийняти ефективні оперативні рішення на основі оперативних даних про агробіологічний стан ґрунтового середовища.

Неоднорідність ґрунту можна представити як ієрархічну підпорядкованість явищ. Питання про шкалу вимірювання неоднорідності. Звичайно, неоднорідність порівняно просто вираховується, коли порівнюються об'єкти вимірюються кількісно і при цьому використовуються кількісні критерії. Неоднорідність вважають фактором, відповідальним за біорізноманіття, тому що завдяки їй формується екологічна складова і забезпечується багатогранність організмів ґрунту [2]. У цьому аспекті важливу роль відіграє визначення ґрунтової електричної провідності для визначення величини прибутку на основі даних просторової мінливості та вмісту поживних речовин у ґрунті. Знання певної структура варіабельності ґрунтового покриву дозволяє прийняти ефективні рішення для управління агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь [1].

Втілення сучасних технологій землеробства дозволяє планувати витрати насіннєвого матеріалу, добрив, пестицидів та інших технологічних матеріалів, у тому числі палива, визначати загальну стратегію управління агробіологічним потенціалом поля тощо. Проте, на сьогодні при реалізації даних технологій бракує ефективних систем збору та реєстрації (моніторингу) місцевизначеної інформації (агробіологічної та фітосанітарної) про стан сільськогосподарських угідь у технологіях точного землеробства. Існуючі способи і засоби реалізації цього процесу недосконалі [2–4].

У цьому сенсі набуває актуальності розробка та використання принципово нового класу сільськогосподарських машин – технічних систем оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Слід відмітити, що важливість та доцільність використання технічних системи залежить від виду технологічної операції, площі обробітку. Так доцільність використання зазначених машинно-тракторних агрегатів особливо висока на етапі сівби (садіння), оскільки дана технологічна операція фактично є «фундаментом» майбутнього врожаю [12].

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз досліджень і публікацій показує, що традиційні фактори підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва за рахунок оптимізації механіко-конструктивних матеріалів, використання новітніх машинобудівних матеріалів (надміцного пластику, сплавів металу тощо) на сучасному етапі розвитку техніки, не дають суттєвого підвищення ефективності.

Крупні агрохолдинги зробили ставку на використання стандартних рішень задач планування на основі використання так званих «коробочних продуктів» (1С, Парус, Oracle EBS та ін.) [5]. Але, на жаль, типові рішення не забезпечують реалізації принципу взаємозв'язку перспективного, поточного і оперативного планування та ефективного керування агробіологічним потенціалом сільськогосподарських угідь.

За межами типової системи інформаційного за-

безпечення процесів планування залишаються задачі, пов'язані з вибором оптимальних рішень, оцінки альтернативних варіантів розвитку і т. д.

У більшості сільськогосподарських підприємств, що використовують для автоматизації функцій планування системи операційного управління (розроблених на основі як типових, так і індивідуальних проектів) не можуть уникнути головного недоліку даного типу інформаційних систем: зміщення акцентів у бік поточного планування [4].

Така ситуація виникає через об'єктивні причини, пов'язані з використанням обчислювальних процесів у контексті опису поточного розвитку системи в рамках одного виробничого циклу [1]. При такому підході практично відсутнє середовище автоматизації процесів довгострокового і середньострокового планування, а методика планування, що реалізовується, не дозволяє інтегрувати в інформаційну систему методи ефективного коректування відхилень з метою виходу на плановий рівень, що базуються на використанні оптимізаційних математичних моделей.

Одним з перспективних напрямів є забезпечення необхідної якості виконання технологічних процесів за рахунок одержання більш високого (у порівнянні з фізіологічними можливостями людини) рівня інформації та оперативного керування робочими процесами машин і на основі цього перехід до нових прогресивних технологій з використанням «розумних» сільськогосподарських машин. Тому виникає необхідність у їх розробці та використанні.

Очевидно, що за таких умов виникає необхідність у принципово нових підходах до ведення агропромислового виробництва, що полягає у забезпеченні належної якості виконання технологічних операцій. Якість виконання технологічних операцій є інтегральним показником ефективності виробництва сільськогосподарської продукції в межах агробіологічного поля. Необхідна якість виконання основних технологічних процесів у рослинництві забезпечується за рахунок інтегрованих інформаційно-технічних систем оперативного моніторингу агробіологічного стану сільськогосподарських угідь [13–15].

Структура ґрунту змінюється в значних межах на багатьох сільськогосподарських полях. Фізичні властивості ґрунту, як наприклад ґрунтова структура, мають прямий ефект на водомісткість, ємність катіонного обміну, урожайність тощо. Поживні речовини, що містяться у ґрунтах, використовуються рослиною і їх вміст у ґрунті зменшуються. Загальноприйнятою характеристикою вмісту поживних речовин у ґрунті є вміст азоту, наявність якого у ґрунті значною мірою визначає урожайність. Картографія ґрунтової електричної провідності, широко використовується як ефективний засіб відображення ґрунтової структури і інших ґрунтових властивостей [5].

Швидкий опис мінливості сільськогосподарських угідь – важливий компонент для зональних методів управління [6].

Сучасні методики та засоби реєстрації властивостей ґрунту. Існує проблема організації спеціальних систем спостережень, контролю і оцінки стану природного середовища (моніторингу) як в місцях ін-

тенсивної антропогенної дії, так і в глобальному масштабі [3]. Важливе місце на сучасному етапі займає реєстрації електромагнітних характеристик ґрунту. Електромагнітні характеристики ґрунту об'єднують багато властивостей ґрунту, що впливають на врожайності сільськогосподарських культур. До них відносяться вміст ґрунтової вологи, гранулометричний склад ґрунту, СКО, засоленість, вміст обмінних катіонів кальцію (Ca) і магнію (Mg) та ін. Електромагнітні характеристики ґрунту не дозволяють безпосередньо виміряти вміст поживних речовин, але показують варіативність важливих характеристик, таких як структура ґрунту і вміст обмінних катіонів. Ця варіативність занадто важлива, щоб її ігнорувати, і повинна враховуватися при відборі проб (рис. 1).

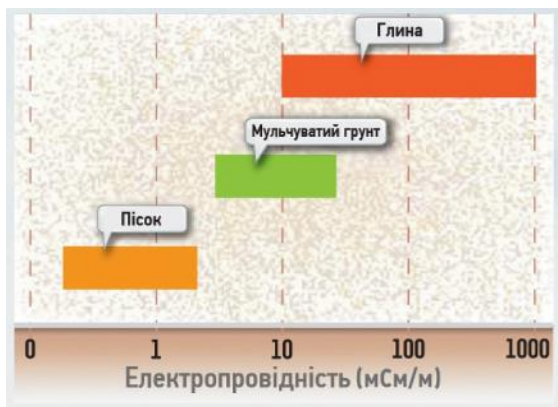


Рис. 1 – Електропровідність ґрунту

Очевидно, що для правильної організації управління якістю навколишнього природного середовища абсолютно необхідною умовою є організація системи ефективного моніторингу. Для оцінки стану навколишнього середовища важлива об'єктивна оперативна інформація про критичні чинники антропогенної дії, про фактичний стан біосфери і прогнози її майбутнього стану.

Мета роботи. Метою статті є побудова математичної моделі для визначення площі контактів робо-

чих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь.

Виклад основного змісту дослідження. Відомий аналог (<http://www.veristech.com>), основним робочим органом якого є система електродів, в якості яких використано плоскі диски з горизонтальною віссю обертання на стояку, який жорстко закріплений до рами вимірювального пристрою таким чином, що опорні колеса пристрою визначають глибину ходу дисків-електродів у ґрунті.

Недоліком аналога є значна похибка при визначенні, яка обумовлена тим, що під час виконання робочого процесу порушується стабільність контакту диска-електрода з ґрунтом, що викликано поперечними відхиленнями вимірювального пристрою відносно прямолінійного напрямку руху обумовлено конструкцією диска. При цьому змінюється площа контакту диска-електрода з ґрунтом, оскільки при поперечних коливаннях плоскі диски-електроди однією стороною можуть взагалі не контактувати із ґрунтом.

При використанні суцільних дисків у якості електродів для визначення електропровідних характеристик тиск ґрунту виникає значна похибка, яка обумовлена конструкцією дисків при зануренні їх у ґрунт.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця дає можливість оперативно визначити параметри агробіологічного стану ґрунтового середовища, забезпечити «індивідуальний» підхід до кожної елементарної ділянки поля з використанням даних електропровідних властивостей ґрунтового середовища (рис. 2), при цьому за рахунок удосконалення конструкції забезпечується стабілізація робочих електродів у ґрунті та копіювання нерівностей поверхні поля. Таким чином можна отримати достовірні дані електропровідності ґрунті, які можна використовувати для забезпечення належної якості виконання технологічної операції.

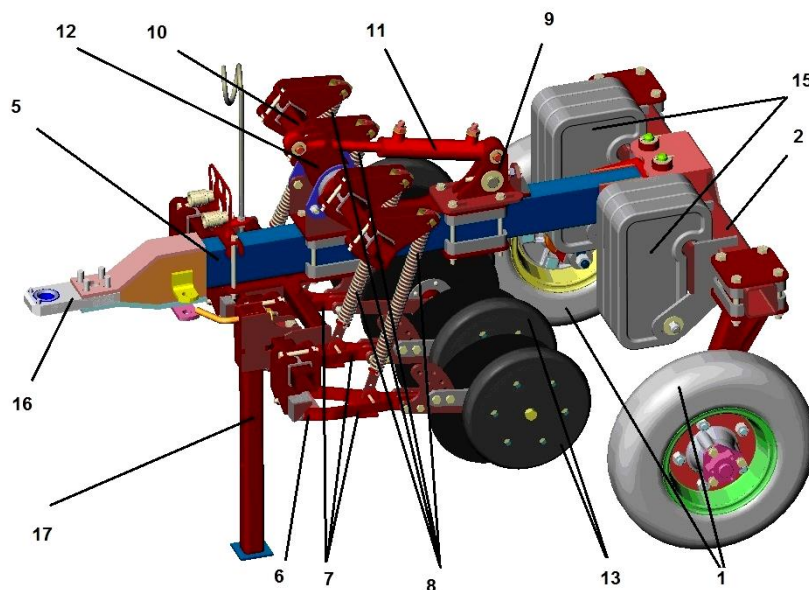


Рис. 2 – Загальний вигляд технічної системи оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця

Технічна система оперативного моніторингу стану ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця складається (рис. 2) з опорних коліс 1, П-подібної рами 2, кріплення 3, повздовжньої рами 4, поперечної рами 5, шарнірів 6, важелів 7, стояків-пружин 8, кронштейну 9, обертового валу 10, гідроциліндру 11, кронштейну кріплення 12, копіювальних коліс 13, робочих електродів 14, баласту 15, фаркопу 16 та підставка 17.

Важливим елементом даної системи є робочі електроди 14, вибір форми яких залежить від агробіологічного стану сільськогосподарських угідь. При визначенні електропровідних властивостей ґрунтового середовища виникає необхідність визначення площі контакту робочих електродів з ґрунтом залежно від глибини їх занурення у ґрунт. Розглянемо математичні моделі для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь залежно від їх форми.

Пристрій для визначення електропровідних властивостей ґрунтового середовища конструкції Олександра Броварця використовують: перед виконанням технологічної операції, одночасно з виконанням технологічної операції (сівба, внесення мінеральних добрив тощо); протягом вегетації та після збирання врожаю.

Це відкриває нові перспективи до ведення органічного землеробства з використанням таких «розумних» сільськогосподарських машин.

Робочий електрод у формі круга та тора. Площа круга або його частини зазвичай визначається з допомогою полярної системи координат. Інтегрування відповідних залежностей дає прості формули для визначення площі відсіку круга, однак таким відсіком є сектор, який в окремому випадку може бути рівний площі круга. Якщо ж потрібно визначити площу **сегмента круга**, то в цьому випадку доцільно здійснювати інтегрування в декартовій системі координат. Покажемо два випадки такого інтегрування для знаходження площі сегмента круга заданих розмірів.

Перший випадок. На рис. 3,а зображено частину круга радіуса R і виділено сегмент висотою H , площу якого потрібно визначити. Площу визначатимемо додаванням елементарних відсіків розміром $L \times \Delta h$ (на рис. 3,а такий відсік зафарбовано у сірий колір). Додавання здійснюватимемо, починаючи з нижньої точки кола збільшенням змінної h до центра кола. Визначимо площу виділеного елементарного відсіку ΔP через задані розміри сегмента R і H . Як видно із рис. 3,а, площа цього відсіку наближено дорівнює $\Delta P = L \times \Delta h$. Знайдемо довжину L відсіку. Із прямокутного трикутника OAB знаходимо:

$$AB = \sqrt{OB^2 - OA^2} = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} = \sqrt{2Rh - h^2}.$$

Отже, $L = 2AB = 2\sqrt{2Rh - h^2}$. Таким чином, площа виділеного відсіку дорівнюватиме: $\Delta P = 2\sqrt{2Rh - h^2} \Delta h$. Переходячи до границі при $\Delta h \rightarrow 0$, отримаємо:

$$dP = 2\sqrt{2Rh - h^2} dh. \quad (1)$$

Інтегруємо вираз (1):

$$P = 2 \int \sqrt{2Rh - h^2} dh = (h - R) \sqrt{2Rh - h^2} + 2R^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{h}{2R - h}}. \quad (2)$$

Підставивши в (2) межі змінної h від 0 до H остаточно отримуємо площу P сегменту:

$$P = (H - R) \sqrt{2RH - H^2} + 2R^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{H}{2R - H}}. \quad (3)$$

При $H=R$, тобто у випадку півкруга, із формули (3) матимемо: $P = \pi R^2 / 2$. Цей результат є очікуваним і дорівнює половині площі круга.

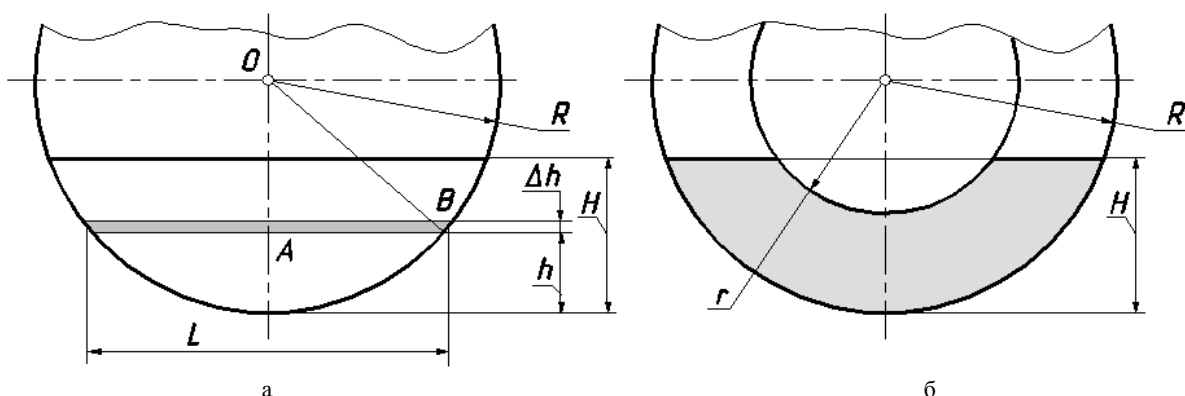


Рис. 3 – До визначення площі відсіку круга: а – сегмента висотою H ; б – плоского кільця висотою H

Визначимо площу відсіку плоского кільця, зафарбованого у сірий колір (рис. 3,б). У цьому випадку площу кільця шукаємо як різницю двох сегментів: від сегменту круга радіуса R потрібно відняти сегмент

круга радіуса r . Ця різниця запишеться як різниця інтегралів (2) із відповідними радіусами R і r та встановленими межами інтегрування:

$$P = 2 \int_0^H \sqrt{2Rh - h^2} dh - 2 \int_0^{H-R+r} \sqrt{2rh - h^2} dh. \quad (4)$$

Після інтегрування (4) і підстановки вказаних меж змінних остаточно знаходимо:

$$P = (H-R) \sqrt{2RH - H^2} + 2R^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{H}{2R-H}} - (H-R) \sqrt{(r+H-R)(r-H+R)} - 2r^2 \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{r+H-R}{r-H+R}}. \quad (5)$$

Слід зазначити, що формулою (5) користуємося у випадку, коли $H > R-r$. Якщо $H \leq R-r$, то користуємося формулою (3), оскільки плоским відсіком буде не кільце, а сегмент.

Другий випадок. На сегменті будемо виділяти не прямолінійну елементарну смугу, а криволінійну у вигляді кільця (рис. 4). Такий підхід буде покладено в основу визначення площі аналогічного відсіку поверхні обертання.

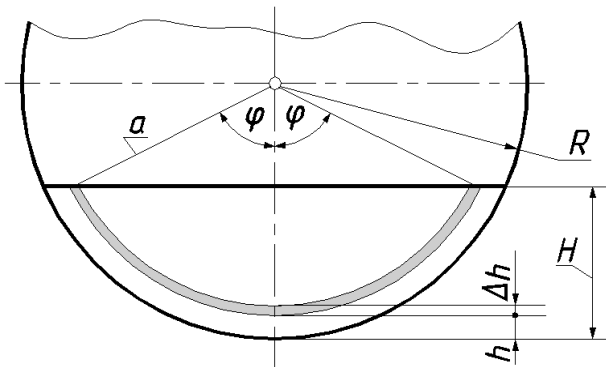


Рис. 4 – До визначення площі сегмента сумуванням елементарних кілець

Знайдемо площу кільця, виділеного сірим кольором на рис. 4. Наближено площа дорівнює добутку довжини L кільця на його ширину Δh : $\Delta P = L \times \Delta h$. Довжина L кільця дорівнює довжині дуги кола радіуса $a = R-h$, яка спирається на центральний кут 2φ . Отже, можна записати: $L = 2\varphi(R-h)$. Визначимо кут φ із пря-

мокутного трикутника, у якого гіпотенузою є $a = R-h$, а прилеглим катетом - сторона довжиною $R-h$. Звідси знаходимо: $\cos \varphi = \frac{R-h}{R-h}$.

Із врахуванням знайдених величин можна записати довжину кільця L :

$$L = 2(R-h) \arccos \left(\frac{R-h}{R-h} \right). \quad (6)$$

Помноживши довжину L (6) кільця на його ширину Δh , отримаємо його площу:

$$\Delta P = 2(R-h) \arccos \left(\frac{R-h}{R-h} \right) \Delta h. \quad (7)$$

Переходячи до границі при $\Delta h \rightarrow 0$, отримаємо вираз, інтегруванням якого одержимо вираз для визначення площі сегмента:

$$P = 2 \int_0^H (R-h) \arccos \left(\frac{R-h}{R-h} \right) dh. \quad (8)$$

Вираз (8) проінтегрувати не можна, однак чисельне інтегрування для тестових прикладів дає той же результат, що і формула (3).

Можна знайти частковий результат для половини круга, прийнявши за вихідні умови $\varphi = \pi/2$ і $H = R$ (рис. 4). Тоді згідно (6) будемо мати: $L = \pi(R-h)$. Вираз (8) в цьому випадку може бути проінтегрований:

$$P = \pi \int_0^R (R-h) dh = \frac{\pi h}{2} (2R-h) = \frac{\pi R^2}{2}. \quad (9)$$

Для площі півкруга ми отримали в (9) такий же результат, як і за формулою (3). Це свідчить про достовірність отриманих результатів при різних підходах вирішення поставленої задачі.

Робочий електрод виконано у формі частини сферичного сегменту. Знайдемо площу частини сферичного сегменту (рис. 5).

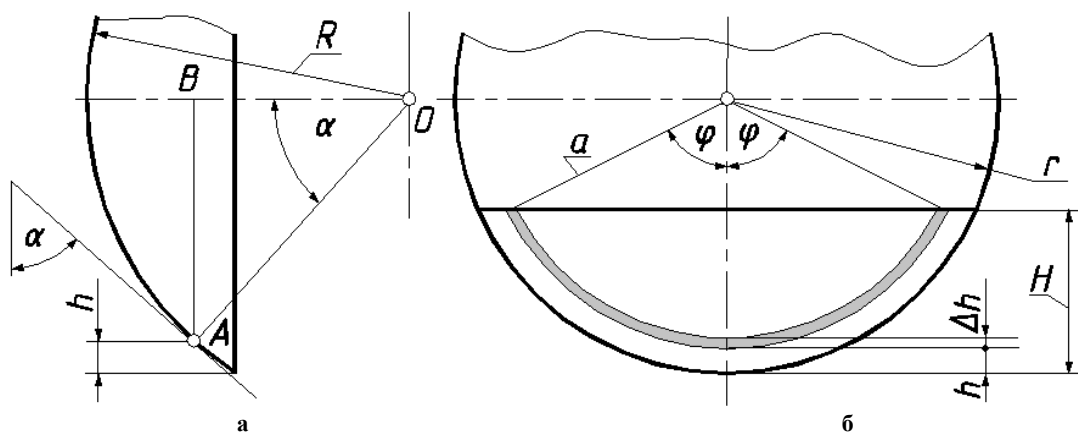


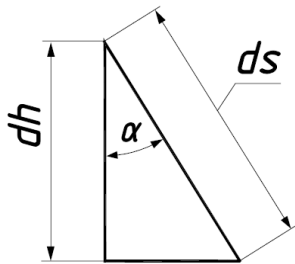
Рис. 5 – Фронтальна: а – і профільна; б – проекції сферичного сегменту

Його профільна проекція подібна до рис. 4. Проте в даному випадку виділена сірим кольором смуга

кільця на рис. 5,б не є натуральною величиною частини сферичного сегменту, оскільки вона нахилена до

профільної площини під кутом α , який при нескінченно малій ширині проекції смуги $\Delta h \rightarrow 0$ рівний куту між дотичною до фронтальної проекції меридіана сфери (кола радіуса R сфери) і вертикальним відрізком (рис. 5, а). Цей кут є сталим вздовж всієї довжини смуги, тому його можна знайти із прямокутного трикутника (рис. 5), у якого сторони (гіпотенуза Δs і катет Δh) позначені як dh і ds при нескінченному зменшенні катета $\Delta h \rightarrow 0$:

$$\cos \alpha = \frac{dh}{ds}. \quad (10)$$

Рис. 6. До визначення кута α

Із (10) визначаємо дійсну ширину елементарної смуги:

$$ds = \frac{dh}{\cos \alpha}. \quad (11)$$

В свою чергу, кут α можна визначити із прямокутного трикутника OAB (рис. 5,а), у якого гіпотенуза $OA=r$, а катет $AB=R-h$:

$$\sin \alpha = \frac{r-h}{R}, \quad \text{звідки} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}}{R}. \quad (12)$$

Підстановкою (12) в (11) одержимо вираз ширини елементарної смуги:

$$ds = \frac{R dh}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}}. \quad (13)$$

Довжину елементарної смуги (в даному випадку у вигляді зрізаного конуса) визначаємо за формулою $dP = L ds$, де ds наведено в (13), а L – в (6), причому для нашого випадку R прописне потрібно замінити на r

строчне. Із врахуванням сказаного маємо:

$$dP = \frac{2R(r-h)}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}} \arccos\left(\frac{r-H}{r-h}\right) dh. \quad (14)$$

Інтегруванням виразу (14) отримаємо площу відсіку сферичного сегмента:

$$P = 2R \int_0^H \frac{(r-h)}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}} \arccos\left(\frac{r-H}{r-h}\right) dh. \quad (15)$$

Як і в попередньому випадку, вираз (15) не піддається інтегруванню, однак для випадку, коли $H=r$ (що відповідає половині площі сегменту), знаходимо:

$$P = \pi R \int_0^r \frac{(r-h)}{\sqrt{R^2 - (r-h)^2}} dh = \pi R \sqrt{R^2 - (r-h)^2}. \quad (16)$$

Підстановка в (16) нижньої $h=0$ і верхньої $h=r$ меж інтегрування дає наступний результат:

$$P = \pi R (R - \sqrt{R^2 - r^2}). \quad (17)$$

Формула (17) дає площу половини сферичного сегмента, яка збігається із відомим табличним результатом.

Знайдемо площу **частини тора** (рис. 7). Дійсна ширина виділеної елементарної смуги визначається за формулою (11). Кут α визначається аналогічно, як і для сегмента за допомогою прямокутного трикутника. Для твірного кола радіуса r тора можна записати:

$$\sin \alpha = \frac{r-h}{r}, \quad \text{звідки} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r}. \quad (18)$$

Підстановка (18) у (11) дає:

$$ds = \frac{r dh}{\sqrt{2rh - h^2}}. \quad (19)$$

Довжина кільця L визначиться добутком радіуса елементарного кільця, який дорівнює $R+r-h$ (рис. 5) на центральний кут 2ϕ :

$$L = 2(R+r-h)\phi. \quad (20)$$

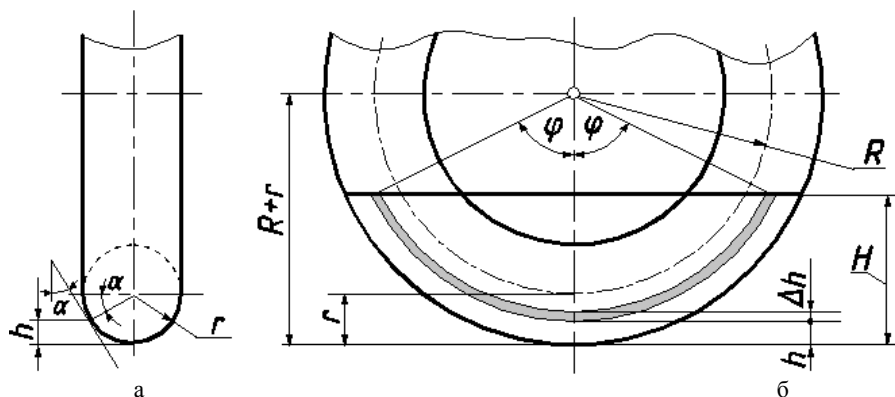


Рис. 7 – Фронтальна: а – і профільна б – проекції тора до визначення площі відсіку його випуклої частини

У прямокутному трикутнику з кутом ϕ гіпотенуза дорівнює $R+r-h$, а прилеглий катет - $R+r-H$ (рис. 7,б). З нього знаходимо вираз для визначення кута ϕ :

$$\phi = \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right). \quad (21)$$

Підставивши (21) у (20), отримаємо довжину елементарного кільця:

$$L = 2(R+r-h)\arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right). \quad (22)$$

Множенням ширини елементарного кільця (19) на його довжину (22) отримаємо його площу. Однак потрібно мати на увазі, що з протилежної сторони є ще одне таке ж кільце в силу симетричності тора. Тому знайдену площу потрібно подвоїти:

$$dP = \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right) dh. \quad (23)$$

Інтегруванням виразу (23) одержимо:

$$P = 4r \int_0^b \frac{R+r-h}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+r-h}\right) dh. \quad (24)$$

Чисельне інтегрування виразу (24) здійснюємо від 0 до сталої b , причому $0 < b \leq r$. При $b < r$ ми одержимо площу частини опуклої поверхні тора, а при $b=r$ – площу всієї опуклої поверхні тора, обмеженої гори-

зонтальною площиною на висоті H . В даному випадку всю площу тора умовно розбиваємо на опуклу – ту, в якій всі паралелі (кола) мають радіус більший від прямого кола R і увігнуту – ту, в якій всі паралелі (кола) мають радіус менший від R . Таким чином, інтегруванням виразу (24) можна визначити площу відсіку випуклої частини тора. При $b=r$ і $H=R+r$ інтегрування виразу (24) дасть площу опуклої поверхні половини тора. При цьому вираз (24) спрощується і його вдається проінтегрувати:

$$\begin{aligned} P &= 2\pi r \int_0^r \frac{(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} dh = \\ &= 2\pi r \left(\sqrt{2rh-h^2} + 2R \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{h}{2r-h}} \right) = \pi r (\pi R + 2r) \end{aligned} \quad (25)$$

Для визначення площі увігнутої частини тора застосовуємо такий же підхід. При виведенні формули (24) у нас змінна h змінюється від 0 до r , рухаючись від нижньої точки твірного кола вгору. При визначенні площі увігнутої частини тора змінна h теж буде змінюватися від 0 до r , рухаючись від центра твірного кола радіуса r до верхньої точки цього кола, яке на рис. 6,а у верхній частині зображено штриховою лінією. З цього рисунка знаходимо кут α :

$$\sin \alpha = \frac{h}{r}, \quad \text{звідки} \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{r^2-h^2}}{r}. \quad (26)$$

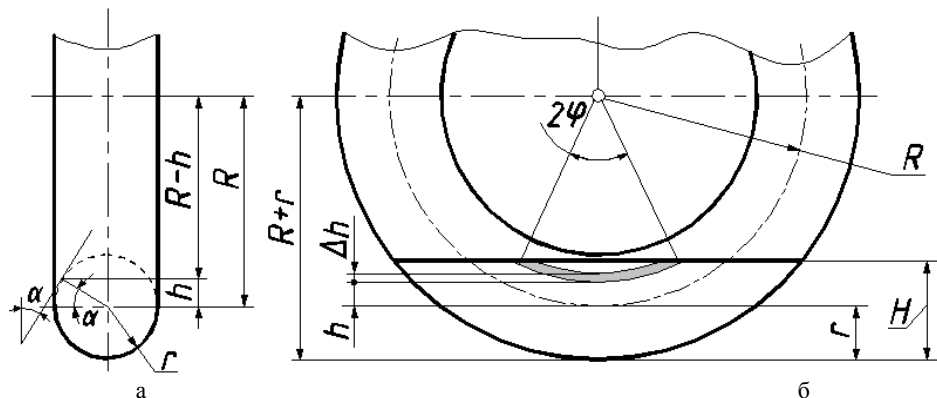


Рис. 8 – Фронтальна: а – і профільна б – проєкції тора до визначення площі відсіку його увігнутої частини

Радіус елементарного кільця рівний $R-h$ (рис. 8), тому його площа визначиться із виразу:

$$dP = Lds = \frac{2r(R-h)\phi}{\sqrt{r^2-h^2}} dh. \quad (27)$$

Знайдемо вираз для визначення кута ϕ . У прямокутному трикутнику з кутом ϕ гіпотенуза дорівнює $R+h$, а прилеглий катет - $R+r-H$ (рис. 8,б). З нього знаходимо вираз для визначення кута ϕ :

$$\phi = \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+h}\right). \quad (28)$$

Після підстановки (28) у (27) отримаємо інтеграл для визначення площі відсіку увігнутої частини тора:

$$P = 4r \int_0^b \frac{R-h}{\sqrt{r^2-h^2}} \arccos\left(\frac{R+r-H}{R+h}\right) dh. \quad (29)$$

Чисельне інтегрування виразу (29) здійснюємо від 0 до сталої b , причому $0 < b \leq r$. При $b < r$ ми одержимо площу частини увігнутої поверхні тора, а при $b=r$ – площу всієї увігнутої поверхні тора, обмеженої

горизонтальною площиною на висоті H . При $H=R+r$ і $b=r$, тобто для половини тора вираз (29) спрощується і може бути проінтегрований:

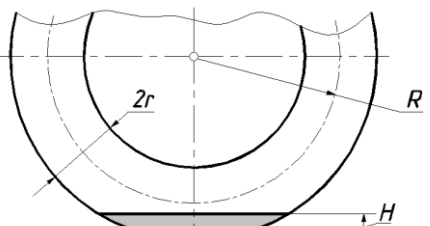
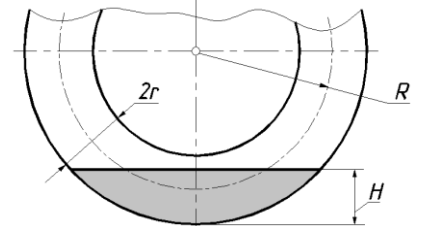
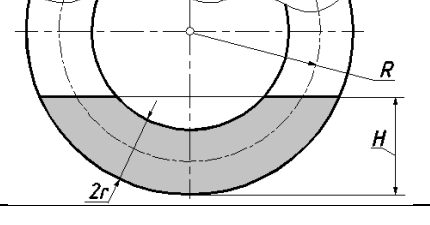
$$P = 2\pi r \int_0^r \frac{R-h}{\sqrt{r^2-h^2}} dh = 2\pi r \left(\sqrt{r^2-h^2} + R \operatorname{Arctg} \frac{h}{\sqrt{r^2-h^2}} \right) = \pi r (\pi R - 2r) \quad (30)$$

Сума площ випуклої частини (25) і увігнутої (30) дає відомий результат $2\pi^2 Rr$ для половини площі тора.

Визначення площі зрізаної частини тора горизонтальною площиною на висоті H можна розділити на три випадки за застосуванням знайдених формул. Ці випадки та відповідні формули знаходження площі чисельним інтегруванням наведено в табл. 1.

Розглянемо приклад. Знайдемо площу відсіку тора для випадку 3. Вихідні дані: $R=10$; $r=2$; $H=11$. Чисельним інтегруванням знаходимо суму двох інтегралів: $P=209,94+162,45=372,39$. Якщо задати $H=12$, то ми отримаємо площу половини тора: $P=222,52+172,26=394,78$. Точно такий же результат отримуємо за формулою $P=2\pi^2 Rr$.

Таблиця 1 – Формули для знаходження площі заданого відсіку тора (відсік зафарбовано сірим кольором) робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу стану сільськогосподарських угідь

№ п/п	Заданий відсік тора	Формула для знаходження площі
1		$P = \int_0^H \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+r-h} \right) dh$
2		$P = \int_0^r \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+r-h} \right) dh + \int_0^{H-r} \frac{4r(R-h)}{\sqrt{r^2-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+h} \right) dh$
3		$P = \int_0^r \frac{4r(R+r-h)}{\sqrt{2rh-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+r-h} \right) dh + \int_0^r \frac{4r(R-h)}{\sqrt{r^2-h^2}} \arccos \left(\frac{R+r-H}{R+h} \right) dh$

Висновок. Запропонована математична модель для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь дає можливість отримати достовірні дані електропровідності ґрунті, які можна використовувати для забезпечення належної якості виконання технологічної операції. Результатом використання є отримання підвищення прибутку на 20-30% за рахунок оптимізації норми висіву технологічного матеріалу із врахуванням агробіологічного стану сільськогосподарських угідь.

Список литературы:

1. Броварець, О. Розумні машини для розумних господарів [Текст] / О. Броварець // *Зерно*. – 2016. – № 9 (81). – С. 262–266.
2. Броварець, О. Від безплужного до глобального розумного землеробства [Текст] / О. Броварець // *Техніка і технології АПК*. – 2016. – № 9 (84). – С. 19–23.
3. Броварець, О. Від безплужного до глобального розумного землеробства [Текст] / О. Броварець // *Техніка і технології АПК*. – 2016. – № 10 (85). – С. 28–30.
4. Улезько, А. В. Информационное обеспечение адаптивного

- управления в аграрных формированиях [Текст] / А. В. Улезько, Я. И. Денисов, А. А. Тютюников. – Воронеж: изд-во «Истоки», 2008. – 106 с.
5. Адамчук, В. В. Техніка для землеробства майбутнього [Текст] / В. В. Адамчук, В. К. Мойсєєнко, В. І. Кравчук, Д. Г. Войтюк // *Механізація та електрифікація сільського господарства*. – 2002. – Вип. 86. – С. 20–32.
6. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки [Текст] / ред. В. І. Кравчук, М. І. Грицишин, С. М. Коваль. – К.: Аграрна наука, 2004. – 398 с.
7. Ормаджі, К. С. Контроль качества полевых работ [Текст] / К. С. Ормаджі. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 191 с.
8. Понтрягин, Л. С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелдзе, Е. Ф. Мищенко. – М.: «Наука», 1983. – 392 с.
9. Бурачек, В. Г. Геоинформационный анализ пространственных данных [Текст]: монографія / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 440 с.
10. Масло, І. П. Автоматизована система локально-дозованого внесення добрив і хімічних засобів захисту рослин [Текст] / І. П. Масло, В. Г. Мироненко. – К.: Аграрна наука, 1999. – С. 348–349.
11. Гуков, Я. С. Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений [Текст] / Я. С. Гуков, Н. К. Линник, В. Г. Мироненко // *Труды 2-й МНПК по проблемам дифференци-*

- ального применения удобрений в системе координатного земледелия. – Рязань, 2001. – С. 48–50.
12. МIRONENKO, B. G. Технічні засоби забезпечення якості виконання технологічних процесів у рослинництві [Текст]: монографія / B. G. МIRONENKO. – К., 2005. – 271 с.
 13. ПАСТУШЕНКО, С. И. Оптимизация сельскохозяйственных технических систем [Текст] / С. И. ПАСТУШЕНКО // Техніка АПК. – 1999. – № 8. – С. 12–15.
 14. ЖУК, З. Я. Концепция и возможные направления развития технологий и техники сельскохозяйственного будущего [Текст] / З. Я. ЖУК, А. Ю. ПОБЕДОНОСЦЕВ // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1992. – № 1. – С. 1–6.
 15. ЛУЦЕНКО, Е. В. Семантические информационные модели управления агропромышленным комплексом [Текст] / Е. В. ЛУЦЕНКО, В. И. ЛОЙКО. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – 480 с.
 16. ГАРАМ, В. П. Сучасне управління агротехнологічним процесом у рослинництві [Текст] / В. П. ГАРАМ, А. О. ПАШКО // Наука та інновації. – 2005. – Т. 1, № 2. – С. 110–116.
 17. CHAD, H. A. A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production [Text] / H. A. CHAD, J. D. HIBBARD // Farm Economics. – 1993. – Issue 14. – P. 218–231.
 18. МЕДВЕДЕВ, В. В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть I. Введение в проблему [Текст] / В. В. МЕДВЕДЕВ. – Харьков, 2007. – 296 с.
 19. ИВАНОВ, Ю. П. Комплексирование информационно-измерительных устройств ЛА [Текст] / Ю. П. ИВАНОВ, А. Н. СИНЯКОВ, И. В. ФИЛАТОВ. – Л.: Машиностроение, 1984. – 207 с.
 20. Дружба-Нова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://druzhba-nova.com/ru/index.html>
 21. Сельскохозяйственная, специальная техника и запчасти. – Режим доступа: <http://kbo-agro.com.ua>
 22. Geonics [Electronic resource]. – Available at: <http://www.geonics.com/index.html>
 23. Veris Technologies [Electronic resource]. – Available at: <http://www.veristech.com/>
 1. Brovarets, O. (2016). Rozumni mashyny dlia rozumnykh hospodariv. Zerno, 9 (81), 262–266.
 2. Brovarets, O. (2016). Vid bezpluzhnogo do hlobalnogo rozumnoho zemlerobstva. Tekhnika i tekhnologii APK, 9 (84), 19–23.
 3. Brovarets, O. (2016). Vid bezpluzhnogo do hlobalnogo rozumnoho zemlerobstva. Tekhnika i tekhnologii APK, 10 (85), 28–30.
 4. Ulez'ko, A. V., Denisov, Ya. I., Tyutyunikov, A. A. (2008). Informacionnoe obespechenie adaptivnogo upravleniya v agramykh formirovaniy. Voronezh: izd-vo «Istoki», 106.
 5. Adamchuk, V. V., Moiseienko, V. K., Kravchuk, V. I., Voitiuk, D. H. (2002). Tekhnika dlia zemlerobstva maibutnoho. Mekhani-
 - zatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva, 86, 20–32.
 6. Kravchuk, V. I., Hrytsyshyn, M. I., Koval, S. M. (Eds.) (2004). Suchasni tendentsii rozvytku konstruktivno silskohospodarskoi tekhniki. Kyiv: Aharna nauka, 398.
 7. Ormadzhi, K. S. (1991). Kontrol' kachestva polevykh robot. Moscow: Rosagropromizdat, 191.
 8. Pontryagin, L. S., Boltyanskiy, V. G., Gamkrelidze, R. V., Mishchenko, E. F. (1983). Matematicheskaya teoriya optimal'nykh processov. Moscow: «Nauka», 392.
 9. Burachek, V. H., Zhelezniak, O. O., Zatserkovnyi, V. I. (2011). Heoinformatsiyni analiz prostorovykh danykh. Nizhyn: TOV «Vydavnytstvo «Aspekt-Polihraf», 440.
 10. Maslo, I. P., Myronenko, V. H. (1999). Avtomatyzovana systema lokalno-dozovanoho vnesennia dobryv i khimichnykh zasobiv zakhystu roslyn. Kyiv: Aharna nauka, 348–349.
 11. Gukov, Ya. S., Linnik, N. K., Mironenko, V. G. (2001). Avtomatizirovannaya sistema lokal'no-dozirovannogo vneseniya udobreniy, meliorantov i sredstv zashchity rasteniy. Trudy 2-y MNPK po problemam differentsial'nogo primeneniya udobreniy v sisteme koordinatnogo zemledeliya. Ryazan', 48–50.
 12. Myronenko, V. H. (2005). Tekhnichni zasoby zabezpechennia yakosti vykonannya tekhnolohichnykh protsesiv u roslynnytstvi. Kyiv, 271.
 13. Pastushenko, S. I. (1999). Optimizatsiya sel'skohozyaystvennykh tekhnicheskikh sistem. Tekhnika APK, 8, 12–15.
 14. Zhuk, Z. Ya., Pobedonoscev, A. Yu. (1992). Konceptiya i vozmozhnye napravleniya razvitiya tekhnologiy i tekhniki sel'skohozyaystvennogo budushchego. Traktory i sel'skohozyaystvennye mashiny, 1, 1–6.
 15. Lucenko, E. V., Loyko, V. I. (2005). Semanticheskie informacionnye modeli upravleniya agropromyshlennym kompleksom. Krasnodar: KubGAU, 480.
 16. Haram, V. P., Pashko, A. O. (2005). Suchasne upravlinnia ahrotekhnolohichnym protsesom u roslynnytstvi. Nauka ta innovatsii, 1 (2), 110–116.
 17. Chad, H. A., Hibbard, J. D. (1993). A Preliminary Assessment of the Economics of Variable Rate Technology for Applying Phosphorus and Potassium in Corn Production. Farm Economics, 14, 218–231.
 18. Medvedev, V. V. (2007). Neodnorodnost pochv y tochnoe zemledelye. Chast I. Vvedenie v problemu. Kharkiv, 296.
 19. Ivanov, Yu. P., Sinyakov, A. N., Filatov, I. V. (1984). Kompleksirovanie informacionno-izmeritel'nykh ustroystv LA. Leningrad: Mashinostroenie, 207.
 20. Druzhba-Nova. Available at: <http://druzhba-nova.com/ru/index.html>
 21. Sel'skohozyaystvennaya, special'naya tekhnika i zapchasti. Available at: <http://kbo-agro.com.ua>
 22. Geonics. Available at: <http://www.geonics.com/index.html>
 23. Veris Technologies. Available at: <http://www.veristech.com/>

Bibliography (transliterated):

Надійшло (received) 10.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Математичні моделі для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь/ Броварець О. О. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.94–103. – Бібліогр.: 23 назв. – ISSN 2079-5459.

Математические модели для определения площади контактов рабочих электродов технической системы оперативного мониторинга вариабельности агробиологического состояния почвенной среды сельскохозяйственных угодий/ Броварець А. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.94–103. – Бібліогр.: 23 назв. – ISSN 2079-5459.

Mathematical models for determining the contact area of the working electrodes of the technical system of operational monitoring of the variability of the agrobiological state of the soil environment of agricultural land/ Brovarets O. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.94–103. – Bibliogr.: 23 – ISSN 2079-5459

Броварець Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Завідувач кафедри інформаційно-технічних та природничих дисциплін Київський кооперативний інститут бізнесу і права, м. Київ, вул. Ломоносова, 18; e-mail: brovartsnau@ukr.net.

Броварець Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры информационно-технических и естественных дисциплин Киевский кооперативный институт бизнеса и права, г. Киев, ул. Ломоносова, 18, e-mail: brovartsnau@ukr.net.

Brovarets Olexsandr – PhD, Associate Professor, Zaviduvach, Chair of Informational and Technical Studies of Natural Sciences, Kyiv Cooperative Institute of Business and Law, Kiev, Lomonosova 18; E-mail: brovartsnau@ukr.net.

УДК 531.712

К. О. ПОДОСТРОЄЦЬ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА ВИМІРЮВАННЯ ЕТАЛОННИХ БАЗИСНИХ ВІДСТАНЕЙ ГЕОДЕЗИЧНОГО ПОЛІГОНУ

Розглядається дослідження впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища на процес вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону. Проведені дослідження метеорологічних умов на Одеському геодезичному полігоні протягом 25 робочих днів у робочий час. Здійснена перевірка значимості дестабілізуючих факторів для загальної похибки вимірювання під час метрологічного контролю віддалемірної частини тахеометрів на еталонному лінійному базисі 2-го розряду Одеського геодезичного полігону. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки величини випадкової складової похибки під час метрологічного контролю віддалемірних приладів на геодезичному полігоні.

Ключові слова: тахеометри, світловіддалеміри, метрологічний контроль, еталонний лінійний базис геодезичного полігону, дестабілізуючі фактори.

Исследуется влияние дестабилизирующих факторов внешней среды на процесс измерения эталонных базисных расстояний геодезического полигона. Проведены исследования метеорологических условий на Одесском геодезическом полигоне в течении 25 рабочих дней в рабочее время. Осуществлена проверка значимости дестабилизирующих факторов для погрешности измерения при метрологическом контроле дальномерной части тахеометров на эталонном линейном базисе 2-го разряда Одесского геодезического полигона. Результаты исследований могут быть использованы для оценки величины случайной составляющей погрешности при метрологическом контроле дальномерных приборов на геодезическом полигоне.

Ключевые слова: тахеометры, светодальнометры, метрологический контроль, эталонный линейный базис геодезического полигона, дестабилизирующие факторы.

The study of the influence of destabilizing factors of the external environment on the process of measuring reference base lines of a geodesic polygon is considered. As an example, the Odessa reference base line of a geodesic polygon consisting of 7 fundamental geodesic stations situated on the plain and seismically safe site is presented. Analyzed of meteorological conditions at the Odessa geodesic polygon was conducted during 25 working days, during working hours. Validation of the significance of destabilizing factors for the general measurement error during the metrological control of the total station on the reference base lines of a geodesic Odessa polygon has been carried out. The results of the research can be used to estimate the magnitude of the random component of the error during the metrological control of EDM on the reference base lines of a geodesic polygon is considered.

Keywords: total station, EDM, metrological control, reference base lines of a geodesic polygon, destabilizing factors.

Вступ. Еталонний лінійний базис полігону геодезичного – це еталон, який служить для забезпечення єдності лінійних вимірювань в геодезичних мережах, передачі одиниці фізичної величини довжини – метра від еталону робочим приладам: світловіддалемірам, електронним тахеометрам (віддалемірна частина) та іншим приладам геодезичного призначення для вимірювання довжин. Тахеометр – геодезичний прилад призначений для вимірювання відстаней, перевищень, горизонтальних і вертикальних кутів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В Україні базисні лінійні геодезичні полігони функціонували в Криму, Києві, Харкові, Вінниці, Миколаєві і в Львівській області [1]. В 2008 році було прийнято рішення про створення полігону в Одесі [2, 3], а в 2015 році лінійний базис геодезичного полігону КПЛ – 7 2-го розряду був побудований на території Коломийського аеропорту в Івано-Франківській області. У масштабі України це є недостатньо. Необхідність метрологічного контролю світловіддалемірних приладів пов'язана зі зміною з часом

постійної поправки. Якість метрологічного контролю істотно залежить і від кількості еталонних базисів в країні. Враховуючи сучасні масштаби геодезичних робіт, в Україні доцільно мати не менше за 1 – 2 базисів 2-го розряду на область [4].

Найбільш поширене застосування на геодезичному ринку отримали завдяки своїй багатофункціональності тахеометри. Найчастіше в геодезичних роботах використовують тахеометри з допустимою середньою квадратичною похибкою вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів до 6" і допустимою середньою квадратичною похибкою вимірювання відстані одним прийомом 2+2 ppm. Вираз ppm означає на латинському виразі «Pars per milion», що перекладається як «одна частина мільйону». Отже, допустима середня квадратична похибка вимірювання відстані такими тахеометрами складає $2+2 \cdot 10^{-6} D$, де D – відстань у мм.

Суть метрологічного контролю віддалемірних приладів, зокрема віддалемірної частини тахеометрів,

© К. О. Подостроєць. 2017

полягає в вимірюванні еталонних лінійних базисних відстаней полігону геодезичного. Методика забороняє проводити вимірювання при поганих погодних умовах: сніг, дощ, сильний вітер, туман, яскраве сонце, смог. За сприятливої погоди попередньо виміряні значення температури та тиску необхідно ввести з клавіатури тахеометру, а прилад буде проводити вимірювання з урахуванням поправок, що розраховуються автоматично на основі введених даних. Деякі сучасні тахеометри мають вбудовані датчики температури та тиску, що спрощує процес введення поправок.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є перевірка значимості впливу дестабілізуючих факторів зовнішнього середовища для загальної похибки вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону в реальних умовах.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідження метеорологічних умов протягом 25 робочих днів у робочий час на Одеському геодезичному полігоні.

2. Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювальний процес за граничних значень зміни метеопараметрів.

Вплив дестабілізуючих факторів на вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону. Тахеометру потрібен час витримки для перевірки його роботи при певних умовах навколишнього середовища. Тому різні методики повірки, які пропонуються виробниками тахеометрів, установлюють час витримки тахеометра на робочому місці від 1 до 2 годин перед безпосереднім її проведенням. З урахуванням часу, який потрібен на проведення вимірювань довжин базису полігона тривалість повірки віддалемірної частини тахеометра може складати до 3 годин.

Тахеометр використовує для вимірювання відстаней лазерний промінь, але швидкість його розповсюдження залежить від показника заломлення світла в атмосфері. Він, в свою чергу, залежить від зміни температури, тиску та вологості навколишнього середовища, в якому проводяться вимірювання.

Для досягнення максимальної точності вимірювань відстані виробники тахеометрів пропонують використовувати середні значення атмосферних параметрів навколо лінії – шляху розповсюдження лазерного випромінювання. Також, існують деякі застереження у використанні тахеометрів, а саме: уникнення роботи тахеометром при інтенсивному випромінюванні, що здійснюється сонячним світлом (наприклад опівдні влітку), уникнення поривів вітру, опадів. Всі ці фактори можуть вносити додаткові грубі похибки в результат вимірювання.

Якщо в тахеометр не вводилися метеодані і значення поправок тахеометра, тоді виміряна відстань буде відноситися до стандартних метеумов, прийнятим при виробництві тахеометра і не відповідатиме істинному значенню. На першій стадії обробки у виміряні значення вводяться поправки за систематичні похибки тахеометра та поправки на вплив зовнішніх умов, поправки за приведення ліній

до центрів пунктів і таким чином отримують нахилені відстані. Після введення поправки за нахил лінії отримують горизонтальну відстань, яку в разі необхідності може бути зредуковано на площину в проекції Гаусса-Крюгера, або на поверхню відносності (референц-еліпсоїд). Зазвичай, лінійні базиси полігонів представляють собою пряму довжиною до 1,5 км на рівнині, що робить вплив похибки на кривизну Землі такою, якою можна знехтувати.

Існують стандартні алгоритми врахування впливу атмосферних умов на результати віддалемірних вимірювань. Оскільки блок тахеометру, що відповідає за вимірювання відстаней, по суті представляє собою класичний світловіддалемір, тому розглянемо алгоритм врахування впливу атмосферних умов при вимірюванні світловіддалеміром.

Для світловіддалемірів коефіцієнт заломлення n визначається за формулою (1):

$$n = n_0 + \Delta n, \quad (1)$$

де Δn – поправка до стандартного показника заломлення за відмінність вимірюваних значень T_0 , P_0 , e_0 від стандартних,

n_0 – показник заломлення в стандартних умовах (T_0 , P_0 , e_0), що визначається за формулою Коші.

В різних моделях тахеометрів використовуються різні значення довжини хвилі світла, а різні виробники, інколи закладають в тахеометр різні «стандартні» значення метеумов. Так, для визначення температурної поправки, не використовуючи програму тахеометра фірми Trimble, моделі 3300DR, і вводу нульової поправки, необхідно виставити температуру 20°C та тиск 944 гПа. Хоча, переважна більшість виробників для нульової поправки використовують температуру 15 °C та тиск 760 мм. рт. ст.

Поправка на метеумови δ_v розраховується за формулою (2)

$$\delta_v = D_0 (N_0 - N) 10^{-6}, \quad (2)$$

де індекс заломлення для стандартних умов N_0 визначається за формулою Барреллата Сірса (3), а N – за формулою Барреллата Сірса (4).

$$N_0 = (n_0 - 1) 10^6 = A + \frac{3B}{\lambda^2} + \frac{5C}{\lambda^4}, \quad (3)$$

$$N = N_0 \frac{T_0 P}{P_0 T} - \left(17,045 - \frac{0,5572}{\lambda^2} \right) \frac{e}{T}, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі світла в мкм.

Що в кінцевому варіанті виглядає, як:

$$\delta_v = D_0 \left[\left(A + \frac{3B}{\lambda^2} + \frac{5C}{\lambda^4} \right) \cdot \left(1 - \frac{T_0 P}{P_0 T} \right) + \left(\frac{17,045 - 0,5572}{\lambda^2} \right) \cdot \frac{e}{T} \right] \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

P , T і e повинні бути середньоінтегральними, але практично обмежуються середніми значеннями

метеозмін на двох кінцях лінії. Формула (5) часто табулюється, іноді складаються номограми для визначення поправок графічним шляхом [5, 6, 7, 8].

Шляхом розрахунків було виявлено, що похибка вимірювання температури повітря і атмосферного тиску впливає на результат вимірювання відстаней, що становить 1 ppm, або $1,0 \cdot 10^{-6} \cdot D$ мм, при зміні:

- температури навколишнього повітря на 1° ;
- тиску на 2,5 мм. рт. ст.

Вплив вологості дуже малий, особливо на коротких відстанях. Його необхідно враховувати в дуже вологих і теплих умовах при вимірюванні великих відстаней.

Фірма – виробник тахеометрів Sokkia пропонує наступну формулу розрахунку поправки за вологість, якщо значення вологості вводиться в тахеометр поряд зі значеннями температури і тиску.

$$282,324 - \frac{0,294362 \cdot p}{1 + 0,003661 \cdot t} + \frac{0,04127 \cdot e}{1 + 0,003661 \cdot t} \quad (6)$$

де $e = h \cdot \frac{E}{100}$, а $E = 6,11 \cdot 10^{\frac{(7,5+t)}{(t+237,3)}}$, t – температура

повітря, p – тиск, e – тиск водяного пару, h – відносна вологість, E – тиск насичених водяних парів.

Для оцінки впливу метеоумов на проведення повірки віддалемірної частини тахеометру на Одеському геодезичному полігоні були проведені дослідження метеорологічних умов протягом 25 робочих днів у робочий час. Дослідження проводились з 16.03.2015 р. по 17.04.2015 р. засобами вимірювальної техніки, що занесені до державного реєстру засобів вимірювальної техніки та успішно пройшли періодичну повірку.

Критеріями оцінки були наступні параметри:

- час контролю метео-параметрів (3 рази у робочий час),
- температура повітря на висоті 2 м над поверхню Землі, $^\circ\text{C}$,
- атмосферний тиск, приведений до середнього рівня моря, мм. рт. ст.,
- відносна вологість на висоті 2 м над поверхню Землі, %,
- швидкість вітру, усереднена за 10-хв період, що безпосередньо передував терміну спостереження, м/с,
- хмарність, %,
- наявність опадів,
- кількість опадів та стан ґрунту.

Дослідження показали, що з 25 робочих днів:

- 7 днів за своїми метеоумовами повністю підходять для проведення вимірювань,
- 4 дні підходять для проведення вимірювань тільки в одній з фаз робочого дня,
- 5 днів – на протязі однієї фази яких, не бажано проводити вимірювання, а інша не підходить для проведення вимірювань взагалі,
- 9 днів – повністю не підходять для проведення вимірювань.

Отже протягом 14 повних робочих днів та 4 неповних неможливо проводити вимірювання на полігоні, що в свою чергу складає 64 % з 100 % робочого часу.

Розглянемо зміни температури, тиску та вологості упродовж робочих днів, що за своїми метеоумовами підходять для проведення повірки віддалемірної частини тахеометра та представимо у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – Максимальні зміни метеоумов упродовж періоду спостережень

Дата проведення спостережень	Максимальна зміна температури протягом 3 годин, $^\circ\text{C}$	Максимальна зміна тиску протягом 3 годин, мм.рт.ст	Максимальна зміна вологості протягом 3 годин, %	Максимальна швидкість вітру, усереднена за 10-хв період, що безпосередньо передував терміну спостереження, м/с
16.03.2015	3,4	0,6	9	5
17.03.2015	3,3	1,6	21	9
24.03.2015 з 11:00 по 17:00	0,1	0,8	8	5
25.03.2015 з 11:00 по 17:00	0,1	0,3	6	6
26.03.2015	0,7	0,6	4	4
06.04.2015 з 12:00 по 18:00	0,1	1	9	5
09.04.2015	3,4	0,8	26	10
10.04.2015	5,3	1,5	9	3
13.04.2015	5,5	1,4	20	4
15.04.2015	3,3	1,9	15	6
17.04.2015	1,4	0,6	10	2

Необхідно відмітити, що найбільша різниця в зміні температури навколишнього середовища припадає на першу половину дня. Що влітку суттєво ускладнює проведення повірки в ранкові години. Але, з іншого боку, проведення повірки влітку на протязі дня неможливе внаслідок впливу сонячного ви-

промінювання та дії явища рефракції. Поправка на метеоумови в тахеометр вноситься перед безпосереднім виконанням вимірювань. Як вже зазначалось, вимірювання базисних відстаней геодезичного полігону одним тахеометром проводяться приблизно протягом 1 години. З отриманих даних виберемо

найбільші та найменші значення зміни метеопараметрів на протязі години вимірювань при повірці

віддалемірної частини тахеометра та представимо у вигляді табл. 2.

Таблиця 2 – Максимальні зміни метеоумов під час вимірювань

Метеорологічний параметр	Найбільше значення зміни за 1 годину	Найменше значення зміни за 1 годину
Температура, °C	1,83	0,03
Тиск, мм.рт.ст.	0,63	0,10
Вологість, %	8,67	1,33

Визначимо вплив найменших і найбільших змін змін метеопараметрів на результат вимірювання. Як вказано вище, зміна температури навколишнього повітря на 1°C призводить до похибки вимірювання відстаней в 1 ppm. Розрахуємо найбільші та найменші вклади випадкової складової похибки за зміни температури $\Delta t_{змін}$ при вимірюванні лінії довжиною в 1 км.

$$\Delta_{t_{змін}} = \frac{t_{змін} 1ppm}{1^\circ C}, \quad (7)$$

Аналогічно для тиску:

$$\Delta_{p_{змін}} = \frac{p_{змін} 1ppm}{2,5mm.rт.ст.}, \quad (8)$$

Внаслідок відсутності за час досліджень поєднання двох метеоумов: спеки і високої вологості, а також порівняно невеликої значення зміни вологості під час вимірювання, на підставі рекомендацій виробників тахеометрів впливом похибки $\Delta_{h_{змін}}$, що виникає при неврахуванні поправки на відносну вологість повітря можна знехтувати як мізерно малою. В таблиці 3 представлені найбільші та найменші вклади випадкової складової похибки відповідно змінам метеопараметрів.

Таблиця 3 – Найбільші та найменші вклади випадкової складової похибки відповідно змінам метеопараметрів

Метеорологічний параметр	Найбільший вплив на 1 км, мм	Найменший вплив на 1 км, мм
Температура	1,83	0,03
Тиск	0,25	0,04

Висновки

1. 3 25 робочих днів спостережень протягом 14 повних робочих днів та 4 неповних неможливо проводити вимірювання на геодезичному полігоні, що в свою чергу складає 64 % з 100 % робочого часу.

2. Розраховані найбільші та найменші вклади випадкової складової похибки за реальних змін температури та тиску при вимірюванні еталонних базисних відстаней Одеського геодезичного полігону тахеометром.

Список літератури:

1. Альтернативний шлях розвитку метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки для визначення великих лінійних розмірів [Текст]: VII Міжнар. наук.-практ. конф. / заг. ред. В. В. Балабіна // Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє. – Київ: ВІКНУ, 2011. – 477 с.
2. Новикова, А. И. О метрологическом обеспечении землеустроительных работ [Текст] / А. И. Новикова // Всеукраинская газета «Стандартъ». – 2008. – № 10-11. – С. 58–59.
3. Коломиец, Л. В. Метрологический контроль тахеометров [Текст] / Л. В. Коломиец, К. А. Подостроец // Компетентность. – 2014. – № 3/114. – С. 36.
4. Тревого, І. С. Контроль стабільності інтервалів взірцевого геодезичного базису [Текст] / І. С. Тревого, О. М. Денисов, О. М. Самойленко // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 69. – С. 60–62.
5. Кошелев, А. В. Об аттестации современных светодальномеров на эталонных линейных базисах [Текст] / А. В. Кошелев и др. // ГЕО-Сибирь. – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т. 5, № 2. – С. 108–112.
6. Кошелев, А. В. Определение показателя преломления в атмосфере по результатам светодальномерных измерений эталонного базиса [Текст] / А. В. Кошелев и др. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 2. – С. 71–75.
7. Большаков, В. Д. Радиогеодезические и электрооптические измерения [Текст] / В. Д. Большаков, Ф. Деймлик, А. Н. Голубев, В. П. Васильев. – М.: Недра, 1985. – 303 с.

8. Камен, Х. Электронные способы измерений в геодезии [Текст] / Х. Камен. – М.: Недра, 1982. – 252 с.
9. The long-term stability of the Nummela Standard Baseline [Text]. – Int. Union Geod. and Geophys 21st Gen. Assembly, Boulder, Colorado, 1995.
10. Учет влияния показателя преломления атмосферы на результаты светодальномерных измерений [Текст]: IX Междун. конф. – Прикладная оптика-2010. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 265–269.

Bibliography (transliterated):

1. Balabin, V. V. (Ed.) (2011) Alternatyvnyi shliakh rozvytku metrolohichnoho zabezpechennia zasobiv vymiryvalnoi tekhniki dlia vyznachennia velykykh liniinykh rozmiriv. Viiskova osvita i nauka: sohodennia ta maibutnie. Kyiv: VIKNU, 477.
2. Novikova, A. I. (2008). O metrologicheskomo obespechenii zemleustroitel'nyh rabot. Vseukrainskaya gazeta «Standrt'», 10-11, 58–59.
3. Kolomiec, L. V., Podostroec, K. A. (2014). Metrologicheskii kontrol' taheometrov. Kompetentnost', 3/114, 36.
4. Trevoho, I. S., Denysov, O. M., Samoilenko, O. M. (2007). Kontrol stabilnosti intervaliv vzirtsevoho heodezychnoho bazisu. Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia, 69, 60–62.
5. Koshelev, A. V. et. al. (2011). Ob attestatsii sovremennykh svetodal'nomerov na ehtalonnnykh lineynykh bazisakh. GEO-Sibir'. Novosibirsk: SGGA, 5 (2), 108–112.
6. Koshelev, A. V. et. al. (2014). Opredelenie pokazatelya prelomeniya v atmosfere po rezul'tatam svetodal'nomernykh izmereniy ehtalonnogo bazisa. Interehkspe GEO-Sibir'. Novosibirsk: SGGA, 2, 71–75.
7. Bol'shakov, V. D., Deymlik, F., Golubev, A. N., Vasil'ev, V. P. (1985). Radiogeozezhicheskie i ehlektroopticheskie izmereniya. Moscow: Nedra, 303.
8. Kamen, H. (1982). Ehlektronnye sposoby izmereniy v geodezii. Moscow: Nedra, 252.
9. The long-term stability of the Nummela Standard Baseline (1995). Int. Union Geod. and Geophys 21st Gen. Assembly, Boulder, Colorado.
10. Uchet vliyaniya pokazatelya prelomeniya atmosfery na rezul'taty svetodal'nomernykh izmereniy (2010). Prikladnaya optika-2010. Sankt-Peterburg, 265–269.

Надійшла (received) 26.05.2017

Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону/ Подостроєць К. О. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.103–107. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Исследование влияния дестабилизирующих факторов на измерения эталонных базисных расстояний геодезического полигона/ Подостроец К. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.103–107. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Investigation of the influence of destabilizing factors on measurements of standard reference base lines of a geodesic polygon/ Podostroets K. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.103–107. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Подостроєць Кирил Олександрович – с.н.с., кафедра стандартизації, оцінки відповідності та якості, Одеська державна академія технічного регулювання та якості; вул. Кузнечна, 13, м. Одеса, Україна, 65000; e-mail: podostroets@ukr.net

Подостроец Кирилл Александрович – с.н.с., кафедра стандартизации, оценки соответствия и качества, Одесская государственная академия технического регулирования и качества; ул. Кузнечная, 13, г. Одесса, Украина, 65000; e-mail: podostroets@ukr.net

Podostroets Kyryll Aleksandrovych – senior researcher, Department of standardization, conformity assessment and quality, Odessa State Academy for Technical Regulation and Quality; Kuznechnaya st., 13, Odessa, Ukraine, 65000; e-mail: podostroets@ukr.net

УДК 681.5.015

Н. В. ФЕДОРОВ, А. М. ХРЕНОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛОКАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕТИ

Рассматривается задача определения граничных условий функционирования локальных подсистем инженерной сети, позволяющих получить оптимальный режим работы всей сети в соответствии с выбранным критерием. В качестве локальной подсистемы рассматривается фрагмент сети, содержащий один или несколько активных элементов и прилегающий к ним участок, состоящий из пассивных элементов. Каждая локальная подсистема имеет один вход и один выход. Задача рассматривается для двух режимов: нормального и в условиях дефицита целевого продукта. Предложенные алгоритмы решения задачи основаны на использовании метода динамического программирования.

Ключевые слова: инженерная сеть, локальная подсистема, линейный ориентированный граф, оптимизация, динамическое программирование

Розглядається задача визначення граничних умов функціонування локальних підсистем інженерної мережі, що дозволяють отримати оптимальний режим роботи всієї мережі відповідно до обраного критерію. Як локальна підсистема розглядається фрагмент мережі, що містить один або кілька активних елементів і прилеглий до них ділянку, що складається з пасивних елементів. Кожна локальна підсистема має один вхід і один вихід. Завдання розглядається для двох режимів: нормального і в умовах дефіциту цільового продукту. Запропоновані алгоритми розв'язання задачі засновані на використанні методу динамічного програмування.

Ключові слова: інженерна мережа, локальна підсистема, лінійний орієнтований граф, оптимізація, динамічне програмування

The problem of determining the boundary conditions for the functionalization of local subsystems of the engineering network, which allow to obtain an optimal operating mode of the entire network in accordance with the chosen criterion, is considered. As a local subsystem, a network fragment containing one or more active elements and an adjacent section consisting of passive elements is considered. Each local subsystem has one input and one output. The problem is considered for two regimes: normal and in conditions of deficiency of the target product. The proposed algorithms for solving the problem are based on the use of the dynamic programming method.

Keywords: engineering network, local subsystem, linear oriented graph, optimization, dynamic programming.

Введение. К инженерным сетям относят трубопроводные транспортные и распределительные системы, обеспечивающие потребителей некоторым (жидким или газообразным) продуктом в виде потоков [1,2]. Примерами таких сетей являются водопроводные и газовые (городские и магистральные) сети, вентиляционные системы шахт, рудников, высотных зданий.

Инженерная сеть может быть рассмотрена как сложная система взаимодействия большого

количества подсистем (элементов) трех типов: активных элементов, линий связи и потребителей. Взаимосвязь таких подсистем, определенная каким-либо формальным способом, называется структурой инженерной сети. Если все подсистемы сети могут быть представлены двухполюсными элементами, то структура сети может быть представлена в виде линейного ориентированного графа.

© Н. В. Федоров, а. М. Хренов. 2017

Каждая подсистема инженерной сети, рассматриваемая в некоторый момент времени, характеризуется двумя переменными величинами: расходом целевого продукта и перепадом давления, а также рядом параметров. Потокораспределение в инженерной сети в любой момент времени определяется значениями переменных и является следствием текущей структуры сети и параметров ее подсистем.

Основная цель управления инженерной сетью состоит в обеспечении непрерывно изменяющихся потребностей потребителей в целевом продукте, т.е. в обеспечении наиболее полного соответствия между состояниями объекта управления и окружающей среды. Причем такое соответствие должно быть реализовано при оптимальных значениях некоторых критериев управления и выполнении технологических ограничений [5–10]. Состояние окружающей среды характеризуется в каждый момент времени требуемыми поставками целевого продукта потребителям в заданном диапазоне давлений и возможными отборами этого продукта у источников.

Цель работы. Режим функционирования инженерных сетей можно разделить на два основных класса: нормальный режим функционирования и функционирование в условиях дефицита целевого продукта.

Нормальный режим характеризуется возможностью системы полностью удовлетворить требования потребителей в целевом продукте, а задача планирования такого режима заключается в минимизации затрат на транспорт и распределение целевого продукта с учетом заданных ограничений на значения фазовых координат.

Задача оптимизации режима в условиях дефицита целевого продукта на этапе планирования заключается в минимизации суммарного ущерба, наносимого потребителям от недополучения ими целевого продукта и суммарных затрат на транспорт и распределение целевого продукта при заданных ограничениях на значения фазовых координат.

Целью работы является решение указанных задач.

Алгоритм выбора оптимальных условий работы локальных подсистем. Для уменьшения размерности решаемой задачи осуществим декомпозицию инженерной сети на ряд подсистем таким образом, чтобы в каждую подсистему входил один или несколько активных элементов и прилегающий к ним участок инженерной сети, состоящий из пассивных элементов.

Введем ряд понятий. Переменной состояния будем называть такую переменную, которая является входом для одной подсистемы и выходом предшествующей подсистемы. Переменная состояния, таким образом, характеризует связь между локальными подсистемами.

Переменной решения будем называть такую переменную, которая является независимой от переменной состояния и определяет ее значение.

Локальная оптимизация подсистемы заключается в определении оптимальных значений переменных решения для любого возможного значения переменных состояния. Если переменные решения могут быть найдены любым подходящим методом оптимизации, переменные состояния необходимо выбирать особенно тщательно, чтобы избежать просмотра оптимального решения для всей системы.

На рис.1 представлена общая схема координации решений локальных подсистем.

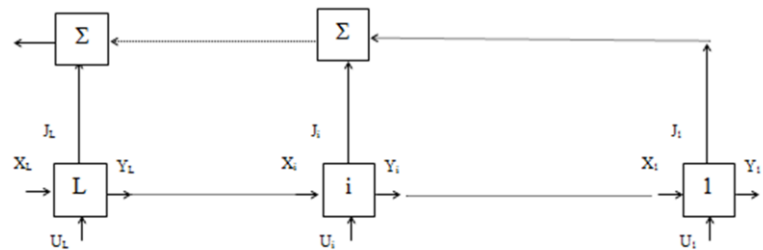


Рис.1– Общая схема координации решений отдельных подсистем

Отдельные подсистемы представлены соответствующим образом пронумерованными прямоугольниками со стрелками, используемыми для индикации входа и выхода различных подсистем. С каждой i -ой подсистемой связано два входа x_i и U_i и два выхода y_i и J_i . Переменная x_i характеризует состояния i -ой подсистемы на входе, а переменная y_i на ее выходе. Преобразование, приводящее к состоянию y_i на выходе, носит название передаточной функции i -ой подсистемы и обозначается F_i . Все входы, которые не являются состояниями, называются решениями и обозначаются U_i . Каждой i -ой подсистеме однозначно соответствует один выход J_i , называемый весом этапа. Этот выход является функцией только входов x_i и U_i и определяет долю критерия оптимизации системы, приходящуюся на i -ую подсистему. Таким образом

$$y_i = F_i(x_i, U_i) \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (1)$$

$$J_i = J_i(x_i, U_i) \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (2)$$

Поскольку переменная состояния является обычно выходом для одной подсистемы (скажем i), и, по крайней мере, входом хотя бы для одной последующей (скажем j) подсистемы, то она может быть выражена более, чем через один символ, например, через y_i , или через x_j . Отождествление нескольких символов друг с другом однозначно определяет взаимосвязь подсистем i и j , а такого типа взаимоотношения называются инцидентной тождественностью. Система полностью определяется ее подсистемами и инцидентной тождественностью, характеризующей структуру системы. Для последовательной системы (рис.1) инцидентная тождественность есть

$$y_i = x_{i+1} \quad i = 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

Это означает, что подсистемы пронумерованы в

направлении, противоположном потоку, показанному стрелками на рис. 1.

Пусть известно значение общего входа системы S_L . Тогда решение проблемы заключается в определении оптимальной последовательности $U_1^*(S_L), U_2^*(S_L), \dots, U_L^*(S_L)$, минимизирующей значение суммарного критерия (веса) системы

$$J = \sum_{i=1}^L J_i(x_i, U_i) \quad (4)$$

Покажем это. Из уравнений (1) и (2) следует, что для заданного входа x_i выбранное значение U_i определяет не только вес J_i , но и выход y_i . Поэтому решение U_i , минимизирующее вес i -ой подсистемы, может в то же время плохо сказаться на входах всех последующих подсистем и приведет к неоптимальности общего веса системы. Оптимальная последовательность $U_1^*, \dots, U_L^*$ может быть найдена только в случае учета переходов, соединяющих подсистемы между собой.

Подставляя значения $x_i (i=1, \dots, L-1)$ из выражений (3) и (4) с учетом соотношения (4), получим. Что общий вес системы при заданном состоянии x_L зависит от решений $U_1, U_2, \dots, U_L$, т.е.

$$J = J(x_L, U_1, U_2, \dots, U_L) \quad (5)$$

и, следовательно, решение задачи (4) сводится к определению

$$J^*(x_L) = \min_{U_1, \dots, U_L} J(x_L, U_1, \dots, U_L) \quad (6)$$

Специальный характер структуры последовательной системы позволяет преобразовать исходную задачу оптимизации с L решениями и одним состоянием x_L в последовательность проблем минимизации с одним решением и одним состоянием.

Пусть $\tilde{J}_l$ - суммарный вес по всем l этапам.

$$\tilde{J}_l = \sum_{i=1}^l J_i(x_i, U_i) \quad l=1, 2, \dots, L \quad (7)$$

Очевидно, что

$$\tilde{J}_l = \tilde{J}_l(x_l, U_1, \dots, U_l) \quad l=1, 2, \dots, L \quad (8)$$

Будем трактовать состояние x_l как параметр и пусть $\tilde{J}_l^*(x_l)$ - такая функция, что

$$\tilde{J}_l^*(x_l) \leq \tilde{J}_l(x_l, U_1, \dots, U_l) \quad (9)$$

для всех $U_1, \dots, U_l$.

Причем для каждой подсистемы имеется хотя бы один ряд переменных решения, который приводит к равенству, т.е.

$$\tilde{J}_l^*(x_l) = \min_{U_1, \dots, U_l} \tilde{J}_l(x_l, U_1, \dots, U_l) \quad (10)$$

Эту функцию, являющуюся минимальным суммарным весом l подсистем, можно сделать зависимой от входа и решения предыдущей $(l+1)$ -ой подсистемы путем подстановки передаточной функции (1) вместо состояния x_l .

$$\tilde{J}_l^*(x_l) = \tilde{J}_l^*(x_{l+1}, U_{l+1}) \quad (11),$$

где состояние x_{l+1} рассматривается как параметр.

Прибавляя вес J_{l+1} , определяемый $(l+1)$ -ой подсистемой слева и справа к неравенству (9) и учитывая соотношения (7) и (8), получим

$$J_{l+1}(x_{l+1}, U_{l+1}) + \tilde{J}_l^*(x_{l+1}, U_{l+1}) \leq \tilde{J}_{l+1}^*(x_{l+1}, U_1, \dots, U_{l+1}) \quad (12)$$

для всех $U_1, \dots, U_l$.

Левая часть неравенства (12) зависит только от переменной решения U_{l+1} и параметра x_{l+1} . Обозначим эту часть через W_{l+1} .

$$W_{l+1}(x_{l+1}, U_{l+1}) = J_{l+1}(x_{l+1}, U_{l+1}) + \tilde{J}_l^*(x_{l+1}, U_{l+1}) \quad (13)$$

минимум этой функции зависит только от одной переменной U_{l+1} , т.е.

$$W_{l+1}^*(x_{l+1}) = \min_{U_{l+1}} \{J_{l+1}(x_{l+1}, U_{l+1}) + \tilde{J}_l^*(x_{l+1}, U_{l+1})\} \quad (14)$$

$l=1, 2, \dots, L-1$.

С другой стороны, из (12) следует, что

$$W_{l+1}^*(x_{l+1}) \equiv \tilde{J}_{l+1}^*(x_{l+1}) \quad (15),$$

где минимум берется по переменным решения $U_1, \dots, U_{l+1}$.

Таким образом, можно найти $\tilde{J}_{l+1}^*$ по $\tilde{J}_l^*$ путем определения одно-параметрической функции $U_{l+1}^*(x_{l+1})$ для любого значения x_{l+1}

$$\tilde{J}_{l+1}^*(x_{l+1}) = J_{l+1}(x_{l+1}, U_{l+1}^*(x_{l+1})) + \tilde{J}_l^*(x_{l+1}, U_{l+1}^*(x_{l+1})) \quad l=1, \dots, L-1 \quad (16)$$

или

$$\tilde{J}_{l+1}^*(x_{l+1}) = \min_{U_{l+1}} \{J_{l+1}(x_{l+1}, U_{l+1}(x_{l+1})) + \tilde{J}_l^*(x_{l+1}, U_{l+1}(x_{l+1}))\} \quad l=1, \dots, L-1 \quad (17)$$

Поскольку вес $J_l(x_l, U_l)$ зависит только от одной переменной решения, определение $\tilde{J}_1^*(x_1)$ есть задача оптимизации с одной переменной решения и одной переменной состояния. Если $\tilde{J}_1^*(x_1)$ известна, то легко вычислить $\tilde{J}_2^*(x_2)$ и $U_2^*(x_2)$ путем решения другой задачи оптимизации с одним решением и одним состоянием.

После L шагов такой оптимизации можно

получить L функций решений $U^*_1(x_1) \dots U^*_L(x_L)$ и минимальный вес системы $J^*(x_L)$, равный суммарному весу $\tilde{J}^*(x_L)$, полученному после минимизации L этапов.

Формула (17) является математическим выражением принципа оптимальности Беллмана для последовательных многоэтапных систем [3,4]. Этот принцип утверждает, что оптимальная последовательность решений $U^*_L(x_L) \dots U^*_1(x_1)$ для системы состоящей из подсистем должна быть такой, чтобы любое подмножество функций решений $U^*_1(x_1) \dots U^*_l(x_l)$ было оптимальным на последовательных подсистемах этой системы. Начиная с $U^*_L(x_L)$, рекурсивная подстановка $U^*_L(x_L)$ в функцию перехода (1) порождает оптимальную входную функцию $x_{L-1}(x_L)$, которая в свою очередь подставляется в $U^*_{L-1}(x_{L-1})$ для получения U_{L-1} и, в конце концов, генерирует всю оптимальную последовательность для рассматриваемой задачи.

Рассмотрим применение принципа динамического программирования для координации локальных подсистем магистрального газопровода. Структуры рассматриваемых типов газопроводов представлены на рис.2-5. Каждая локальная подсистема представляет собой отрезок магистрального газопровода, состоящий из компрессорной станции и прилегающего к ней линейного участка. Вначале рассмотрим нормальный режим функционирования газопровода при заданном значении давления на входе системы и значений отборов газа у потребителей. В этом случае критерием будут минимальные энергозатраты.

Для линейного газопровода (рис. 2) с фиксированными отборами в качестве переменной состояния естественно принять давление на входе подсистемы. Компонентами вектора переменных решения $\bar{U}$ будут управляющие параметры,

определяющие режим работы газоперекачивающих аппаратов и структуру линейной части газопровода.

Два варианта управления, которые приводят к одному и тому же распределению давления по системе, могут лишь незначительно отличаться по общему количеству сжигаемого газа и распределению температуры.

Пусть $J_l(P_l, \bar{U}_l)$ затраты на транспорт газа по подсистеме l при давлении на входе P_l и значении вектора управляющих параметров $\bar{U}_l$; $\tilde{J}_l(P_l)$ - суммарные затраты на первых l подсистемах с давлением на входе l -ой подсистемы P_l и при условии, что значения управляющих параметров выбраны оптимальными.

Принцип оптимальности Беллмана в этом случае может быть записан

$$\tilde{J}_{l+1}(P_{l+1}) = \min_{\bar{U}_{l+1}} \{ \tilde{J}_l(P_{l+1}, \bar{U}_{l+1}) + J_{l+1}(P_{l+1}, \bar{U}_{l+1}) \} \quad (18)$$

Численное решение получается дискретизацией в области значений $[P^+_l, P^{++}_l]$. Интервал допустимых значений $[P^+_l, P^{++}_l]$ разбивается шкалой так, чтобы значения функций $\tilde{J}_l(P_l)$ в точках сетки P_l давали достаточно полное представление о поведении $\tilde{J}_l$ на всем интервале $[P^+_l, P^{++}_l]$.

Значения функций $\tilde{J}_l(P_l)$ табулируются в точках сетки и служат для вычисления $\tilde{J}_l$ в произвольной точке P_l . Функцию $\tilde{J}_l$ при этом можно считать кусочно-постоянной или применять для нее линейную интерполяцию.

Рассмотрим газопровод со структурой, изображенной на рис.3. Такую структуру обычно называют структурой с расходящейся ветвью.

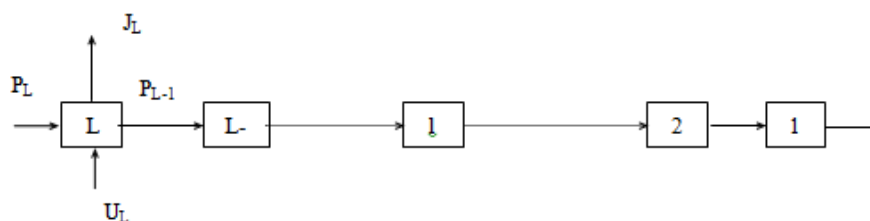


Рис. 2 – Линейный газопровод

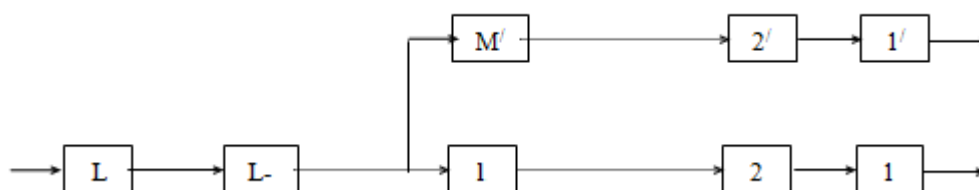


Рис. 3 – Газопровод с расходящейся ветвью.

Пусть

$$\tilde{J}_M(P_l) = \min_{\tilde{U}_1, \tilde{U}_2, \dots, \tilde{U}_M} \sum_{i=1}^M J_i \quad (19)$$

Определяет минимальные энергозатраты на перекачку газа по ветви $1' - M'$ как функцию P_l . Соединим значение $\tilde{J}_M$ с $\tilde{J}_l$:

$$\tilde{J}_{ll}(P_l) = \tilde{J}_l(P_l) + \tilde{J}_M(P_l) \quad (20)$$

Эта новая функция может быть использована вместо $\tilde{J}_l(P_l)$ в обычном оптимизационном плане для главной системы. Замена $\tilde{J}_l(P_l)$ на $\tilde{J}_{ll}(P_l)$ называется поглощением расходящейся ветви $1'-M'$.

Структура изображенная на рис. 4 называется структурой со сходящейся ветвью.

В этом случае задача рассматривается при заданных состояниях входов P_L и P_N . Поэтому при построении функции $\tilde{J}_N(P_l)$ необходимо решать задачу отыскания оптимальных значений переменных решения на сходящейся ветви при заданных значениях переменных состояния на обоих концах ветви. В основном процесс поглощения сходящейся ветви такой же, как и поглощение расходящейся ветви.

Рассмотрим задачу оптимизации режима работы газопровода со структурой изображенной на рис. 5.

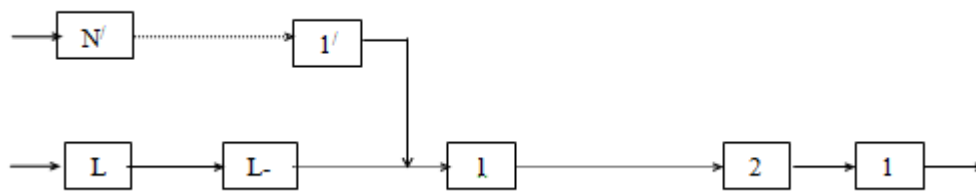


Рис. 4 – Газопровод со сходящейся ветвью

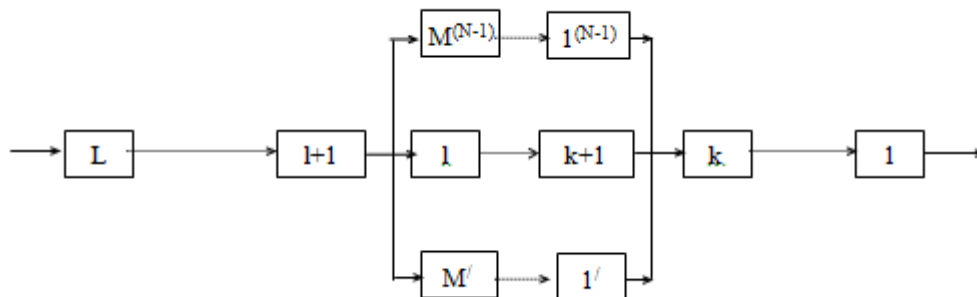


Рис. 5 – Газопровод с параллельными ветвями

Функция $\tilde{J}_k(P_k)$ получается в результате решения последовательности задач с одним состоянием и одним решением применением соотношения (18).

Функция $\tilde{J}_{ll}(P_l)$ может быть получена как

$$\tilde{J}_{ll}(P_l) = \min_{P_k} \left\{ \sum_{i=1}^N \tilde{J}_{M,i}(P_l, P_k) + \tilde{J}_k(P_k) \right\} \quad (21)$$

где

$$\tilde{J}_{M,i}(P_l, P_k) = \min_{\tilde{U}_1^{(i)}, \dots, \tilde{U}_M^{(i)}} \sum_{j=1}^M J_{j,i} \quad i=1, \dots, N-1 \quad (22)$$

$$\tilde{J}_{M,N}(P_l, P_k) = \min_{U_{k+1}, \dots, U_l} \sum_{j=k+1}^l J_j \quad (23)$$

Значения $\tilde{J}_{M,i}$ определяются также как и в случае со сходящейся ветвью в результате решения задачи с заданными значениями переменных состояния на обоих границах последовательности подсистем.

Далее проводится обычный оптимизационный план для последовательной системы.

Функция $\tilde{J}_{ll}$ в (21) определялась в предположении, что значения расходов газа заданы по всем ветвям. Однако обычно они неизвестны и для их определения также приходится проводить перебор вариантов. Здесь статический процесс распределения расходов по ветвям искусственно разворачивается в многошаговый.

Будем рассматривать $\tilde{J}_{M,i}$ еще и как функцию q_i – расхода газа по i -ой ветви. Для заданных значений P_l и P_k оптимальный режим участка с параллельными ветвями будет при таких значениях q_i , для которых

$$J^{**}(P_l, P_k) = \min_{q_i} \sum_{i=1}^N \tilde{J}_{M,i}(P_l, P_k, q_i) \quad (24)$$

при выполнении условия $\sum_{i=1}^N q_i = q$.

Введем как обычно последовательность функций $G_i(P_l, P_k, q)$, которые подчиняются уравнению

$$G_i(P_l, P_k, q) = \min_{i+1} \{ \tilde{J}_{M,i+1}(P_l, P_k, q_{i+1}) + G_i(P_l, P_k, q - q_{i+1}) \} \quad (25)$$

Таким образом, поставленная задача сводится к последовательности одномерных задач, решение которых позволяет вычислить $J^{**}(P_l, P_k)$. Функцию $\tilde{J}_{II}(P_l)$ теперь можем записать

$$\tilde{J}_{II}(P_l, P_k) = \min_{P_k} \{ J^{**}(P_l, P_k) + \tilde{J}(P_k) \} \quad (26)$$

Для определения функций $\tilde{J}_{M,i}(P_l, P_k, q_i)$ приходится R раз разрешать задачу динамического программирования, если разбиение q содержит R точек.

Таким образом, для табулирования функций $\tilde{J}_{M,i}(P_l, P_k, q_i)$ надо NR раз выполнить процедуру упорядоченного перебора в одномерном пространстве давлений. Однако требования к оперативной памяти машины возрастают незначительно, так как функции $\tilde{J}_{M,i}(P_l, P_k, q_i)$ ($i=1, N$) табулируются независимо одна от другой до решения системы (25) или они определяются непосредственно перед решением i -го уравнения системы (25). Чтобы избавиться от ненужных переборов по q_i следует учитывать ограничения, например, по объемному расходу на центробежных нагнетателях.

Теперь рассмотрим функционирование магистрального газопровода в условиях дефицита газа. Задачу определения режима максимальной производительности целесообразно рассматривать как задачу определения режима, обеспечивающего минимальные энергозатраты при максимальной пропускной способности газопровода. Для решения задачи целесообразен двухэтапный метод, на первом этапе которого решается задача определения режима максимальной производительности и определяется максимальная величина q , а на втором этапе решается задача определения режима минимальных энергозатрат при найденных значениях q . Численное решение задачи определения максимальной производительности также можно осуществить по схеме динамического программирования путем итеративного повторения расчета режима при различных пробных значениях $q^{(i)}$. Задав приближенный интервал, $(q_{\min}^{(1)}, q_{\max}^{(1)})$ заведомо содержащий значение $q_{\max}$ разумно принять схему деления при переходе от $q^{(i)}$ к $q^{(i+1)}$.

$$q^{(i+1)} = \frac{q^{(i)} + q_{\max}^{(i)}}{2}; \quad q_{\max}^{(i+1)} = q_{\max}^{(i)}; \quad q_{\min}^{(i+1)} = q^{(i)}, \quad (27)$$

если на итерации найден хотя бы один допустимый режим управления, и

$$q^{(i+1)} = \frac{q^{(i)} + q_{\min}^{(i)}}{2}; \quad q_{\min}^{(i+1)} = q_{\min}^{(i)}; \quad q_{\max}^{(i+1)} = q^{(i)}, \quad (28)$$

если продолжение допустимых вариантов по схеме динамического программирования на итерации i оказалось невозможным на некотором участке газопровода.

Если значения отборов газа на каждой подсистеме не заданы, то и в этом случае для решения задачи также применим метод динамического программирования. В качестве переменных состояния используются значения P_l и q_l (расход газа по подсистеме) и для табуляции функции решетки строится на двумерном множестве $\{P, q\}$. Ввиду значительного увеличения количества просматриваемых вариантов при появлении второй переменной состояния метод динамического программирования целесообразно применять в сочетании с последовательными приближениями на «грубой» и «точной» решетке.

Обсуждение результатов исследования.

Приведены алгоритмы координации локальных подсистем инженерной сети для двух основных режимов функционирования: нормального и в условиях дефицита целевого продукта.

Для нормального режима в качестве критерия оптимизации выбраны суммарные затраты на транспорт и распределение целевого продукта. При функционировании инженерной сети в условиях дефицита целевого продукта кроме затрат на транспорт и распределение учитывается также суммарный ущерб потребителей от недополучения ими целевого продукта. Рассмотрена также оптимизация по критерию максимальной подачи целевого продукта одному из потребителей при выполнении установленной подачи по остальным.

Выводы. Для уменьшения размерности задачи оптимизации инженерная сеть представлена в виде последовательности локальных подсистем, каждая из которых имеет один вход и один выход. Оптимизация всей системы в этом случае сводится к оптимизации локальных подсистем с последующей их координацией.

Все алгоритмы построены с использованием метода динамического программирования. Этот метод позволяет достаточно просто обойти трудности, связанные с узостью допустимого диапазона и дискретность некоторых компонент управления.

Список литературы:

1. Евдокимов, А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев. – М.: Стройиздат, 1979. – 199 с.
2. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. – Харьков: Вища школа, 1980. – 144 с.
3. Сорока, К. О. Основы теорії систем і системного аналізу [Текст] / К. О. Сорока. – Х.: Тимченко, 2005. – 288 с.
4. Дегтярев, Ю. И. Методы оптимизации [Текст] / Ю. И. Дегтярев. – М.: Сов. радио., 1980. – 272 с.
5. Химко, М. П. Розрахунок параметрів газотранспортних систем [Текст] / М. П. Химко, В. Б. Коток, В. А. Павленко // Науково-виробничий журнал України Нафтова і газова промисловість. – 2006. – № 3. – С. 33–37.
6. Тевяшев, А. Д. Информационно-аналитическая система прогнозирования процессов потребления природного газа в

- газотранспортной системе Украины [Текст] / А. Д. Тевяшев, Е. Н. Выходцев, В. Н. Щелкалин, Ю. В. Игнатова // Радиоэлектроника и информатика. – 2011. – № 3 (54). – С. 92–98.
7. Тевяшев, А. Д. Об одной стратегии оптимизации режимов работы газотранспортных систем [Текст] / А. Д. Тевяшев, О. А. Тевяшева, В. С. Смирнова, В. А. Фролов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 4, № 3 (46). – С. 48–52. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2948/2751>
 8. Тевяшев, А. Д. Об одном классе задач нестационарного неизоотермического транспорта газа по ЛУ МГ [Текст] / А. Д. Тевяшев, В. Б. Коток, Е. Н. Выходцев, И. А. Пишняник // Проблемы нефтегазовой промышленности. – 2006. – Вып. 3. – С. 302–314.
 9. Гусарова, И. Г. Классы задач моделирования и численного анализа нестационарных режимов работы газотранспортной системы [Текст] / И. Г. Гусарова, Ю. В. Боярская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 3, № 6 (45). – С. 26–33. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2845/2649>
 10. Каминская, А. В. Численный анализ режимов работы газораспределительных сетей высокого давления [Текст] / А. В. Каминская, И. Г. Гусарова // Радиоэлектроника и информатика. – 2011. – № 3 (54). – С. 50–54.
- Bibliography (transliterated):**
1. Evdokimov, A. G., Dubrovskiy, V. V., Tevyashev, A. D. (1979). Potokoraspredelenie v inzhenernyh setyah. Moscow: Stroyizdat, 199.
 2. Evdokimov, A. G., Tevyashev, A. D. (1980). Operativnoe upravlenie potokoraspredeleniem v inzhenernyh setyah. Kharkiv: Vishcha shkola, 144.
 3. Soroka, K. O. (2005). Osnovy teorii system i systemnoho analizu. Kharkiv: Tymchenko, 288.
 4. Degtyarev, Yu. I. (1980). Metody optimizatsii. Moscow: Sov. radio., 272.
 5. Khymko, M. P., Kotok, V. B., Pavlenko, V. A. (2006). Rozrakhunok parametriv hazotransportnykh system. Naukovo-vyrobnychii zhurnal Ukrainy Naftova i hazova promyslovist, 3, 33–37.
 6. Tevyashev, A. D., Vyhodcev, E. N., Shchelkalin, V. N., Ignatova, Yu. V. (2011). Informacionno-analiticheskaya sistema prognozirovaniya processov potrebleniya prirodnogo gaza v gazotransportnoy sisteme Ukrainy. Radioelektronika i informatika, 3 (54), 92–98.
 7. Tevyashev, A. D., Tevyasheva, O. A., Smirnova, V. S., Frolov, V. A. (2010). About one strategy of optimization of operating modes of gas-transport systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (3 (46)), 48–52. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2948/2751>
 8. Tevyashev, A. D., Kotok, V. B., Vyhodcev, E. N., Pshenyanik, I. A. (2006). Ob odnom klasse zadach nestacionarnogo neizotermicheskogo transporta gaza po LU MG. Problemy neftegazovoy promyshlennosti, 3, 302–314.
 9. Gusarova, I. G., Boyarskaya, Yu. V. (2010). Classes of tasks of mathematical modelling and the numerical analysis of unstationary non-isothermal operating modes of gas-transport system and methods of their decision. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (6 (45)), 26–33. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2845/2649>
 10. Kaminskaya, A. V., Gusarova, I. G. (2011). Chislennyy analiz rezhimov raboty gazoraspredelitel'nyh setey vysokogo davleniya. Radioelektronika i informatika, 3 (54), 50–54.

Поступила (received) 19.05.2017

Бібліографічні описання / Bibliographic descriptions

Оптимизация технологических режимов работы локальных подсистем инженерной сети/ Федоров Н. В., Хренов А. М. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.107–113. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Оптимізація технологічних режимів роботи локальних підсистем інженерної мережі/ Федоров М. В., Хренов О. М. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.107–113. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Optimization of technological modes of operation of local subsystems of an engineering network/ Fedorov N, Khrenov A/Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.107–113. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors

Федоров Микола Вікторович, кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій; вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, Україна, 61204; e-mail: nickvicf@gmail.com.

Федоров Николай Викторович, кандидат технических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий; ул. Маршала Бажанова, 17, Харьков, Украина, 61204; e-mail: nickvicf@gmail.com.

Fedorov Nikolaj – PhD, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, associate professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies; str., Marshal Bazhanov, 17, Kharkiv, Ukraine, 61204; E-mail: xrenov.aleksandr@ukr.net.

Хренов Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій; вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, Україна, e-mail: xrenov.aleksandr@ukr.net.

Хренов Александр Михайлович, кандидат технических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий; ул. Маршала Бажанова, 17, Харьков, Украина, 61204; e-mail: xrenov.aleksandr@ukr.net.

Khrenov Alexander – PhD, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, associate professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies; str., Marshal Bazhanov, 17, Kharkiv, Ukraine, 61204; E-mail: xrenov.aleksandr@ukr.net.

*Л. І. ФЕШАНИЧ, А. П. ОЛІЙНИК***МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ЯВИЩА ПОМПАЖУ У ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧАХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ**

Розглядається важлива науково-практична задача автоматичного захисту компресора від помпажу, як явища, яке приводить до втрати працездатності газоперекачувального агрегату. Пропонується модель визначення зон втрати стійкості розв'язків системи диференціальних рівнянь. Визначено, що явище помпажу корелює з втратою стійкості розв'язків системи, яка описує взаємозв'язок між параметрами, що контролюються на діючих компресорних станціях. Встановлено тип кожної із точок положення рівноваги та як відповідні значення характеризують явище помпажу або виникнення передпомпажних ефектів.

Ключові слова: стійкість, помпаж, відцентровий нагнітач, системи диференціальних рівнянь, точки положення рівноваги.

Рассматривается важная научно-практическая задача автоматической защиты компрессора от помпажа, как явления, которое приводит к потере работоспособности газоперекачивающего агрегата. Предлагается модель определения зон потери устойчивости решений системы дифференциальных уравнений. Определено, что явление помпажа коррелирует с потерей устойчивости решений системы, описывающей взаимосвязь между параметрами, которые контролируются на действующих компрессорных станциях. Установлен тип каждой из точек положения равновесия и как соответствующие значения характеризуют явление помпажа или возникновения передпомпажных эффектов.

Ключевые слова: устойчивость, помпаж, центробежный нагнетатель, системы дифференциальных уравнений, точки положения равновесия.

The article deals with the problem of detecting the phenomenon of surging - the unstable operation of the compressor, characterized by various fluctuations in the flow and the flow of liquid or pumped gas, which is an actual scientific and practical problem, since the consequences of this phenomenon may be a change in the technological parameters of the object, their productivity, and in some cases to the loss of efficiency of the gas compressor unit.

The research results is the type of each of the points of the equilibrium position, and how the corresponding values characterize the phenomenon of surging or the occurrence of anterior effects.

As a scientific novelty, the model of determining the zones of stability loss of solutions of a system of differential equations is first proposed and it is determined that the surging phenomenon correlates with the loss of stability of the system solutions describing the relationship between the parameters that are monitored at operating compressor stations.

Practical significance: the obtained results and the model can be used to study the pre-surge vibrations and surging phenomena in centrifugal blowers of gas compressor units of the booster compressor station on the basis of actual experimental data.

Keywords: stability, surging, centrifugal blowers, systems of differential equations, points of equilibrium position.

Вступ. Економічний розвиток України відбувається в мінливому зовнішньоекономічному середовищі, що сьогодні критично змінило характеристики впливу на країну від сприятливих і малосприятливих до кризових. За таких умов незалежність держави та розвиток економіки залежать від її забезпечення енергоресурсами, зокрема природним газом. Тому для високої надійності функціонування єдиної системи газопостачання необхідно забезпечити стійку роботу компресорів при змінах динамічного опору в колекторі системи збору газу, і надійний захист компресорів від помпажу.

Вивчення помпажу, причин помпажних явищ – коливань тиску та витрати повітря в пневматичних системах, які містять в своїй структурі вентилятори та компресори є актуальною науково-практичною задачею, оскільки наслідками цього явища може бути зміна технологічних параметрів об'єкта, їх продуктивності, в деяких випадках можливою є також поломка обладнання.

За класичним визначенням помпаж – це нестійка робота насоса (компресора), що характеризується різними коливаннями потоку та витати рідини або газу, що перекачується. При помпажі з'являються сильні коливання в потоці, що проходить через насос (компресор), виникають вібрації лопаток з високими амплітудами.

Відомо [1], що сезон відбору газу з підземних сховищ газу (ПСГ) із застосуванням газоперекачувальних агрегатів починається, коли пластовий тиск стає недостатнім для подавання газу в магістральний трубопровід за рахунок перепаду тисків “самопли-

вом”. У цьому випадку вводять в експлуатацію одну або декілька дотискувальних компресорних станцій (ДКС) з метою забезпечення достатньої об'ємної продуктивності та тиску природного газу в трубопровідній системі. Під час відбору газу в ПСГ режим роботи ДКС характеризується безперервним зменшенням тиску на вході в компресорні агрегати. Це призводить до того, що підвищується їх потужність і, як наслідок, втрачається газодинамічна стійкість роботи відцентрових нагнітачів (ВН), як одна з головних умов їх надійності. Саме цей режим нестійкості (помпаж) викликає інтенсивні коливання газу в системі, які здатні довести до аварії або до значного зменшення надійності ресурсу турбомашин. Робочому колесу ВН недостатньо енергії для проштовхування газу в трубопровід нагнітача і кількість газу буде зменшуватись. В той же час на окремих лопатях робочого колеса газу починається зрив потоку газу, що призводить до пульсації газу у цьому потоці, які відповідні передпомпажним коливанням.

Якщо збільшується кількість зривних зон потоку газу, то ними охоплюється більше лопатей, які працюють. У цьому випадку зривні зони виходять за межі робочого колеса ВН і досягають дифузора та конфузора ВН. Цей режим роботи ВН називають “м'який помпаж”.

Подальший розвиток і збільшення зривних зон призводить до охоплення ближніх областей обв'язки ВН, частота коливань збільшується, а потужність їх зростає. Якщо перекачуються великі об'єми газу, що обумовлюють різке збільшення потужності коливань,

тоді хвильовий потік охоплює не тільки ВН і його контур, але й магістраль зі сторони всмоктування, або нагнітання і ВН може увійти в режим “жорсткого” помпажу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання пов'язані із антипомпажним захистом компресорів постійно знаходяться у полі зору вчених. Їм присвячено чимало праць вітчизняних та західних учених. Аналітичний огляд робіт [1-3], показав, що у розробках та реалізаціях систем автоматичного керування ГПА досягнуто позитивні результати, проте залишаються недоліки - за умови роботи ГПА на значній відстані від помпажної зони, оперативний персонал компресорної станції не може бачити поступового наближення до неї. Тому актуальною задачею залишається детальне вивчення явища помпажу та розроблення методу його ідентифікації у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення впливу типу кожної із точок положення рівноваги на основі знайдених значень коренів та висунутих положень на виникнення передпомпажних ефектів та явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів.

Задачею дослідження є визначення зв'язку між типом точки положення рівноваги на виникненні коливальних явищ у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Запропонувати модель визначення зон втрати стійкості розв'язків системи диференціальних рівнянь, що дозволяє встановити що, явище помпажу корелює з втратою стійкості розв'язків системи, яка описує взаємозв'язок між параметрами, що контролюються на діючих компресорних станціях.

2. Встановити тип кожної із точок положення рівноваги та визначити як відповідні значення характеризують явище помпажу або виникнення передпомпажних ефектів.

Матеріали та методи дослідження явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів. Методичною основою для одержання наведених результатів вивчення явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів є основи теорії стійкості диференціальних рівнянь, механіки газодинамічних машин, методи чисельного розв'язку звичайних диференціальних рівнянь (метод зважених нев'язок), методи апроксимації функцій для обробки результатів експериментального вимірювання параметрів $p(t), Q(t)$.

Об'єктом дослідження є явище помпажу в системі “відцентровий нагнітач газоперекачувального агрегату – трубопровід” дотискувальних компресорних станцій.

Предметом дослідження є параметри моделі визначення зон втрати стійкості розв'язків системи диференціальних рівнянь.

Результати дослідження явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів. Для вивчення властивостей руху газу в камері зберігання розглядаються наступні рівняння [4]:

рівняння витрати:

$$\rho dv + v d\rho = 0 \quad (1)$$

де ρ - густина, v - швидкість газу;

рівняння імпульсів без урахування зовнішніх сил:

$$dp + \rho v dv = 0, \quad (2)$$

рівняння притоку тепла у формі:

$$dV = -pd\left(\frac{1}{\rho}\right) + dq^{(e)} = 0, \quad (3)$$

або, з урахуванням $V = \frac{1}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} + const$

$$\frac{1}{\gamma-1} d\left(\frac{p}{\rho}\right) + p\left(\frac{p}{\rho}\right) = dq^{(e)}$$

де $dq^{(e)}$ - притік тепла; p - тиск в газі; γ - показник адіабати, V - внутрішня енергія.

Розв'язуючи (1)-(3) відносно $dv; dp; d\rho$ одержуємо:

$$\begin{cases} \frac{dv}{v} = \frac{1}{1-M^2} (\gamma-1) \frac{dq^{(e)}}{a^2}; \\ \frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dv}{v}; \\ \frac{dp}{p} = -\frac{\gamma M^2}{(1-M^2)} (\gamma-1) \frac{dq^{(e)}}{a^2}; \end{cases} \quad (4)$$

де $a = \frac{\gamma p}{\rho}$; $M = \frac{v}{a}$ - число Маха, a - швидкість звуку, крім того:

$$(\gamma-1) \frac{dq^{(e)}}{a^2} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right) \frac{dT^*}{T^*}. \quad (5)$$

З формули (4) видно, що в циліндричному каналі при підведенні тепла на дозвукових режимах руху швидкість потоку росте, а тиск - падає, на надзвукових - навпаки. Оскільки

$$\frac{dM^2}{M^2} = \frac{1+\gamma M^2}{1-M^2} (\gamma-1) \frac{dq^{(e)}}{a^2} \quad (6)$$

то, згідно [4], можна зробити висновок, про те, що підведення тепла при $M < 1$ веде до зростання M^2 , а при $M > 1$ - до його спадання.

Таким чином, при підведенні тепла до дозвукового потоку в циліндричному каналі швидкість може рости лише до певної величини, яка називається критичною швидкістю $v_{кр}$, після

досягнення якої подальше підведення тепла до частинок газу в циліндричному каналі видається неможливим – настає момент теплової кризи. При спробі підведення тепла додатково, наприклад, продовжуючи спалення палива, виникає два можливих випадки: або течія перебудується, параметри на вході в камеру зміняться, швидкість на виході впаде до такої величини, що при новому підведенні тепла швидкість буде дорівнювати швидкості звуку в кінці камери, або, якщо така перебудова неможлива (спеціальними пристроями забезпечується подача газу в камеру із строго визначеними параметрами), то при примусовому підведенні тепла стає неможливим стаціонарний перебіг процесу течії, виникають нестационарні рухи, зокрема, помпаж.

Помпаж часто пов'язують з явищем гідроудару [5-7] – перепадом тиску в будь-якій системі, заповненій рідиною, викликаним швидкою зміною швидкості течії цієї рідини.

Рівняння, що описують рух рідини або газу, зокрема газу [6], записується у вигляді:

$$\begin{cases} L\dot{Q} = F_1(Q) - p \\ Cp = Q - F(p), \end{cases} \quad (7)$$

в якій $L = L(\rho, l, s, Q_0)$; $C = C(\rho_0, \rho, s, l, C_0)$,

де ρ - густина, l, s - характерні розміри та площі робочої частини, Q_0 - початкові витрати, ρ_0 - початкова густина продукту, що транспортується, C_0 - швидкість звуку, Q, p - об'ємна витрата та тиск, $F_1(Q), F(p)$ - деякі функції, що визначаються експериментально. Очевидно, що розв'язання системи (7) є можливим лише за умови, коли всі вказані функції є відомими, що часто є задачею, що вирішується або з використанням комплексних експериментальних досліджень або часто взагалі не можуть бути визначені в умовах реальної компресорної станції. В той же час на діючих компресорних станціях контролюються параметри Q та p у вигляді експериментально визначених функцій від часу t - $p(t), Q(t)$.

Пропонується наступна модель визначення зон втрати стійкості розв'язків системи диференціальних рівнянь типу (7), а отже умов виникнення помпажу: нехай в загальному випадку праві частини системи (7) розкладаються в ряд Тейлора і записуються з утриманням членів, вищих за квадратичні. Такий підхід є вмотивованим, по-перше, за результатами аналізу літературних джерел [5-7], а також, по-друге, тією обставиною, що реальні значення функції $L = L(\rho, l, s, Q_0)$; та $C = C(\rho_0, \rho, s, l, C_0)$ в практичних задачах можуть бути визначені лише наближено. Тому система (7) записується у вигляді:

$$\begin{cases} \dot{p} = A_1 + A_2 p + A_3 Q + A_4 p^2 + A_5 p Q + A_6 Q^2 \\ \dot{Q} = A_7 + A_8 p + A_9 Q + A_{10} p^2 + A_{11} p Q + A_{12} Q^2 \end{cases} \quad (8)$$

Для коректної постановки задачі необхідно знати початкові умови, які є відомими як характеристики відповідного агрегату:

$$p(0) = p_0; Q(0) = Q_0. \quad (9)$$

В системі (8) коефіцієнти $A_i, i=1, \dots, 12$ є невідомими і підлягають визначенню в процесі розв'язання задачі.

Якщо (за наведеними вище припущеннями) відомими є результати експериментального визначення функції $p_p(t)$ та $Q_p(t)$, одержані протягом деякого часу $t \in [0, T]$, де T - час завершення спостережень, то підставивши в систему (8) одержуємо дві невя'зки:

$$\begin{cases} R_1(t, A_1, \dots, A_6) = \dot{p}_p(t) - A_1 - A_2 p_p - \\ - A_3 Q_p - A_4 p_p^2 - A_5 p_p Q_p - A_6 Q_p^2 \\ R_2(t, A_7, \dots, A_{12}) = A_7 - A_8 p_p - A_9 Q_p + \\ + A_{10} p_p^2 + A_{11} p_p Q_p + A_{12} Q_p^2 - \dot{Q}_p(t) \end{cases} \quad (10)$$

Коефіцієнти A_i необхідно визначити таким чином, щоб лінеаризувати значення невя'зок (10). Цієї мети можна досягнути принаймні двома методами: або шляхом мінімізації функції

$$R(t_s, A_i) = \sum_{s=1}^N [R_1^2(t_s, A_j) + R_2^2(t_s, A_k)] \rightarrow \min, \quad (11)$$

де $i=1, \dots, 12, j=1, \dots, 6; k=6, \dots, 12, s=1, \dots, N$, N - кількість точок t_s в яких проводилось визначення значень $p(t)$ та $Q(t)$, або з використанням методу зважених невя'зок у формі Гальоркіна [8], шляхом розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь наступного виду:

$$(R_1, w_i) = 0 \quad i=1, \dots, 6 \quad (12)$$

для визначення $A_i; i=1, \dots, 6$ і системи

$$(R_2, w_i) = 0 \quad i=1, \dots, 6 \quad (13)$$

для визначення $A_j; j=7, \dots, 12$.

В системах лінійних алгебраїчних рівнянь прийнято наступні позначення:

$$(R_2, w_i) = \int_0^T R w_i dt, \quad (14)$$

де

$$\begin{aligned} w_1 &= 1; w_2^0 = p(t); w_3 = Q(t); \\ w_4(t) &= p^2(t); w_5(t) = p_p(t) Q_p(t); \\ w_6(t) &= Q_p^2(t) \end{aligned} \quad (15)$$

Очевидно, що інтеграли (12) та (13), що знаходяться в лівій частині є лінійними функціями: функції в лівій частині (12) будуть лінійними по $A_i; i=1, \dots, 6$, а функції, що знаходяться в лівій частині (13), є лінійними по $A_j; j=7, \dots, 12$. В інтегралі (14) значення T є часом протягом якого визначались значення $p_p(t)$ та $Q_p(t)$.

Очевидно, що функція (11) є квадратичною додатно визначеною формою від $A_i; i=1, \dots, 12$, тому вона має єдиний мінімум – точку $(A_1^E, \dots, A_{12}^E)$, а системи (12) та (13) також мають єдиний розв'язок через незалежність (функціональну) функцій $w_i(t)$, які вводяться за правилом (16). Якщо функції $w_i(t)$ знаходяться аналітично (наприклад, вони відтворюються з використанням апроксимаційних або інтерполяційних процедур), то інтеграли, що входять в (12) та (13) також беруться аналітично, в тих же випадках, коли $w_i(t)$ знаходять таблично, вказані інтеграли беруться з використанням дискретних формул для інтегрування таблично заданих структур [9].

Таким чином, в обох пропонованих підходах коефіцієнти $A_i; i=1, \dots, 12$ визначаються однозначно, тобто задача знаходження A_i є конкретною постановкою [10].

За результатами розв'язання задач (11) та систем (12) і (13) одержуються значення A_i , що входять в систему (8). Вказану систему нелінійних рівнянь необхідно дослідити на стійкість їх положення рівноваги. Вказані положення рівноваги знаходяться шляхом розв'язку системи рівнянь виду ((2) вважається, що $\frac{dp}{dt} = 0$ та $\frac{dQ}{dt} = 0$):

$$\begin{cases} A_1^E + A_1^E p + A_3^E Q + A_4^E p^2 + A_5^E pQ + A_6^E Q^2 = 0 \\ A_7^E + A_8^E p + A_9^E Q + A_{10}^E p^2 + A_{11}^E pQ + A_{12}^E Q^2 = 0 \end{cases} \quad (16)$$

Необхідність знаходження точок положення рівноваги виникає у зв'язку з тим, що висувається гіпотеза про те, що явище помпажу корелює з втратою стійкості розв'язків системи (8), яка описує взаємозв'язок між величинами p та Q .

Рівняння системи (16) є рівняннями кривих другого порядку, тому можлива ситуація при яких вона взагалі не має розв'язків над полем дійсних чисел. В такому випадку стійкість системи визначається аналізом одержаних розв'язків шляхом безпосередньої перевірки умов стійкості. В загальному випадку вказана система може мати від одного до чотирьох розв'язків (це це перевіряється шляхом аналізу взаємного розташування відповідних кривих другого порядку). Після розв'язання системи (16) визначаються координати точок рівноваги $(x_0^i; y_0^i); i=1, \dots, N_1$, N_1 - кількість точок рівноваги. Подальше дослідження полягає у визначенні типу кожної особливості точки системи. З цією метою в кожній точці $(x_0^i; y_0^i)$ праві частини системи (16)

лінеаризуються за відомими правилами розкладу функції двох змінних в ряд Тейлора:

$$f(x, y) = f(x_0^i; y_0^i) + \frac{\partial f}{\partial x}(x_0^i; y_0^i)(x - x_0^i) + \frac{\partial f}{\partial y}(x_0^i; y_0^i)(y - y_0^i) + r_n(x, y, x_0^i, y_0^i) \quad (17)$$

де $r_n(x, y, x_0^i, y_0^i)$ - залишковий член ряду Тейлора.

Для лінеаризованої системи (16), яка набуває вигляду:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a_0^i x + b_0^i y \\ \frac{dy}{dt} = c_0^i x + d_0^i y \end{cases} \quad (18)$$

знаходяться власні числа матриць цих систем з відомої умови:

$$\begin{vmatrix} a_0^i - \lambda & b_0^i \\ c_0^i & d_0^i - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (19)$$

$$\lambda^2 - (a_0^i + d_0^i)\lambda + a_0^i d_0^i - c_0^i b_0^i = 0 \quad (20)$$

Після знаходження відповідних коренів рівняння (20) λ_1 та λ_2 , встановлюється тип кожної із точок положення рівноваги на основі наступних положень [11]:

1. λ_1 та λ_2 - дійсні;
 - а) $\lambda_1, \lambda_2 > 0$ - нестійкий вузол;
 - б) $\lambda_1, \lambda_2 < 0$ - стійкий вузол;
 - в) λ_1 і λ_2 - різних знаків – сідло.
2. λ_1 та λ_2 - комплексні; $\lambda_{1,2} = \alpha \pm i\beta$
 - а) $\alpha > 0$ - стійкий фокус;
 - б) $\alpha < 0$ - стійкий фокус;
 - в) $\alpha = 0$ - центр.

Якщо в точці $(x_0^i; y_0^i)$ - фокус, то в такому випадку (в залежності від початкових умов) значення p та Q знаходяться на замкнутих траєкторіях фазової площини, тобто має місце коливання цих значень, отже, відповідає їх значення $(p_0^i; Q_0^i)$ (відійдемо від значень $(x_0^i; y_0^i)$) характеризують явища помпажу або виникнення передпомпажних ефектів. Також можливий розвиток коливальних процесів (причому із зростаючою амплітудою) у випадку, коли $(p_0^i; Q_0^i)$ - нестійкий фокус. В усіх інших випадках відзначається монотонний характер зміни $(p_0; Q_0)$ в околі відповідного положення рівноваги, самі значення p і Q та характеристики компресора (фактично - це фазовий портрет системи (8) у відповідних точках $(A_1^E, \dots, A_{12}^E)$) окремо необхідно вивчити випадки нестійких положень рівноваги не з точки зору можливого помпажу, а з

точки зору необмеженого росту (аж до неконкретних значень) величин p і Q часто такі режими є практично нездійсненими.

Висновки. В результаті проведених досліджень:

1. Запропоновано модель визначення зон втрати стійкості розв'язків системи диференціальних рівнянь та встановлено що, явище помпажу корелює з втратою стійкості розв'язків системи, яка описує взаємозв'язок між параметрами (тиск та витрата), що контролюються на діючих компресорних станціях.

2. Встановлено тип кожної із точок положення рівноваги та визначено як відповідні значення характеризують явище помпажу або виникнення передпомпажних ефектів. Отримані результати можуть бути використані для дослідження передпомпажних коливань та помпажних явищ у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів дотискувальних компресорних станцій на основі експериментальних даних.

Список літератури:

1. Пат. № 91465 UA. Акустичний спосіб контролю передпомпажного стану відцентрового нагнітача. МПК F04D 27/02 [Текст] / Сукач О. В., Бляут Ю. Є., Беккер М. В., Репета А. Ф., Семенцов Г. Н., Гіренко С. Г. та ін. – № a200907520; заявл. 17.07.2009; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14. – 4 с.
2. Пат. № 52128A UA. Спосіб захисту компресора від помпажу. МКІ F04 D 27/02 [Текст] / Гіренко С. Г., Спіченков Ю. М., Бобков В. Ю. – № 2002021583; заявл. 26.02.2002; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12. – 3 с.
3. 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](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26311)
4. Седов, Л. І. Механіка сплошної середовища [Текст] / Л. І. Седов. – М.: Наука, 1970. – 568 с.
5. Бутиков, Е. І. Фізика. Кн. 1. Механіка [Текст] / Е. І. Бутиков, А. С. Кондратьєв. – М.: Наука, 1994. – 367 с.
6. Казакевич, В. В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах

- [Текст] / В. В. Казакевич. – М.: Машиностроение, 1974. – 264 с.
7. Зайцев, Л. А. Регулирование режимов магистральных нефтепроводов [Текст] / Л. А. Зайцев. – М.: Недра, 1982. – 240 с.
8. Флетчер, К. Численные методы на основе метода Галёркина [Текст] / К. Флетчер. – М.: Мир, 1988. – 352 с.
9. Самарский, А. А. Численные методы [Текст] / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
10. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач [Текст] / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1979. – 285 с.
11. Самойленко, А. М. Дифференциальные уравнения (примеры и задачи) [Текст] / А. М. Самойленко, С. А. Кривошея, Н. А. Перестюк. – К.: Вища шк., 1984. – 408 с.

Bibliography (transliterated):

1. Sukach, O. V., Blyaut, Yu. Ye., Bekker, M. V., Repeta, A. F., Sementsov, H. N., Hirenko, S. H. et al. (2009). Pat. No. 91465 UA. Akustychnyy sposib kontrolyu peredpomazhnoho stanu vidtsentrovoho nahnitacha. MPK F04D 27/02. No. a200907520; declared: 17.07.2009; published: 26.07.2010, Bul. No. 14, 4.
2. Hirenko, S. H., Spichenkov, Yu. M., Bobkov, V. Yu. (2002). Pat. No. 52128A UA. Sposib zakhystu kompresora vid pompazhu. MKY F04 D 27/02. No. 2002021583; declared: 26.02.2002; published: 16.12.2002, Bul. No. 12, 3.
3. 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](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26311)
4. Sedov, L. I. (1970). Mekhanika sploshnoy sredy. Moscow: Nauka, 568.
5. Butikov, E. I., Kondrat'ev, A. S. (1994). Fizika. Kn. 1. Mekhanika. Moscow: Nauka, 367.
6. Kazakevich, V. V. (1974). Avtokolebaniya (pompazh) v kompressorah. Moscow: Mashinostroenie, 264.
7. Zaycev, L. A. (1982). Regulirovanie rezhimov magistral'nykh nefteprovodov. Moscow: Nedra, 240.
8. Fletcher, K. (1988). Chislennyye metody na osnove metoda Galyorkina. Moscow: Mir, 352.
9. Samarskiy, A. A., Gulina, A. V. (1989). Chislennyye metody. Moscow: Nauka, 432.
10. Tihonov, A. N., Arsenin, V. Ya. (1979). Metody resheniya nekorrektnykh zadach. Moscow: Nauka, 285.
11. Samoylenko, A. M., Krivosheya, S. A., Perestyuk, N. A. (1984). Differentsial'nye uravneniya (primery i zadachi). Kyiv: Vyshcha shk., 408.

Надійшла (received) 05.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Метод виявлення явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів / Фешанич Л. І., Олійник А. П. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.114–119. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Метод обнаружения явления помпажа в центробежных нагнетателях газоперекачивающих агрегатов/ Фешанич Л. И., Олейник А. П. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.114–119. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

The method of detecting the surging phenomenon in centrifugal blowers of gas pumping units/ Feshanych L., Oliynyk A. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.114–119. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Фешанич Лідія Ігорівна – асистент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, e-mail: lidia.feshanych@gmail.com.

Олійник Андрій Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри математичних методів в інженерії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, e-mail: andrij-olijnyk@rambler.ru.

Фешанич Лидія Ігорівна – асистент кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, Україна, 76019, e-mail: lidia.feshanych@gmail.com.

Олейник Андрей Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри математических методів в інженерії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, Україна, 76019, e-mail: andrij-olijnyk@rambler.ru.

Feshanych Lidiia – assistant of automation and computer-integrated technologies, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Karpatska St. 15., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019; e-mail: lidia.feshanych@gmail.com.

Olijnyk Andrij – doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Mathematical Methods in Engineering, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Karpatska str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019, e-mail: andrij-olijnyk@rambler.ru.

УДК 681.884

В. Г. БАЖЕНОВ, Т. Д. ШИНДЕРУК

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛА АКУСТИЧНОЇ ВИБУХОВОЇ ХВИЛІ

Метою роботи є модельна оцінка можливостей кореляційного методу визначення джерела акустичної вибухової хвилі. Моделювання проводилося в програмному середовищі Matlab. В якості тестового зразка був обраний аудіозапис пострілу з пістолета Beretta M9. Аудіозапис був зашумлений «білим» (гаусовим) шумом. Була створена копія аудіозапису, зміщена у часі, щоб імітувати запізнення. Далі для обох сигналів була розрахована взаємна кореляційна функція, на основі якої визначалася затримка у часі між ними.

Ключові слова: взаємна кореляційна функція, акустична хвиля, аудіозапис пострілу, Matlab, «білий» шум.

Целью работы является модельная оценка возможностей корреляционного метода определения источника акустической взрывной волны. Моделирование проводилось в программной среде Matlab. В качестве тестового образца была выбрана аудиозапись выстрела из пистолета Beretta M9. Аудиозапись была зашумлена «белым» (гауссовым) шумом. Была создана копия аудиозаписи, смещенная во времени, чтобы имитировать опоздание. Далее для обоих аудиозаписей была рассчитана взаимная корреляционная функция, на основе которой определялась задержка во времени между ними.

Ключевые слова: взаимная корреляционная функция, акустическая волна, аудиозапись выстрела, Matlab, «белый» шум.

Model assessment of possibilities of correlation method to identifying the acoustic blast source is the main aim of this research. Modeling has been carried out in Matlab software environment. Shot record from a Beretta pistol has been chosen (from online sounds base www.freesound.org) as a test sample for analysis. Audio sampling frequency - 44 kHz, duration - 0.7 s, the number of bits per sample - 16. Signal to noise ratio was very high in the audio test. As a result of the experiment a "white" noise has been added to our audio signal to determine the potential correlation method. Shifted in time copy of this audio has been used for correlation analysis. Then mutual correlation function was calculated for both audio records, based on this calculation the time delay between these records has been determined. Correlation analysis showed that the delay limits could be precisely defined up to 14 dB, i.e. when the noise exceeds the signal 4 times more. It was also calculated the standard deviation for different signal to noise ratios of explored audio.

Keywords: mutual correlation function, acoustic wave, shot record, Matlab, «white» noise.

Вступ. В умовах розростання і загострення терористичної та кримінальної активності питання забезпечення безпеки стають одними з найактуальніших завдань, як для державних правоохоронних структур, так і для недержавного сектора охорони.

Найважливішим завданням всіх структур є своєчасне виявлення загрози, яке дозволяє забезпечити швидку відповідну реакцію.

Однією з небагатьох демаскуючих ознак є застосування терористами автоматичної вогнепальної зброї. Визначення джерела цих пострілів є одним з першочергових завдань. Для цих цілей використовуються різноманітні системи спостереження ґрунтовані на різних методах (звукометричний та тепловізійний метод, лазерна локація) [1, 2].

За основу даного дослідження було взято звукометричний метод, тому що він володіє такими

перевагами як круговий сектор виявлення та пасивний режим виявлення (нічого не випромінює).

Аудіозаписи пострілів можуть надати інформацію про місцезнаходження джерела пострілу щодо мікрофонів, швидкість і траєкторію снаряду, а в деяких випадках тип вогнепальної зброї та боєприпасів до неї [3].

Фізика пострілу. При вогнестрільному пострілі утворюються два типи акустичних хвиль: ударна – від снаряду, який рухається з надзвуковою швидкістю, вибухова – від вибуху порохових газів [4, 5].

Ударна хвиля утворюється якщо снаряд рухається з надзвуковою швидкістю ($V > c$) і поширюється від шляху кулі (рис. 1). Ударна хвиля розширюється як конус за снарядом, з фронтом хвилі, що розповсюджується назовні зі швидкістю звуку. Конус ударної хвилі має внутрішній кут $\theta_M = \arcsin(1/M)$, де $M = V/c$ є числом Маха. θ_M називається кутом Маха.

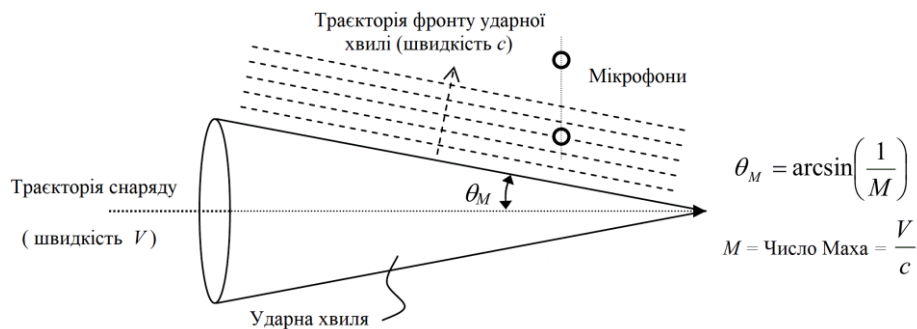


Рис. 1 – Ударна хвиля розширюється як конус за снарядом.

Реєструючи ударну хвилю можна визначити діаметр снаряду та його довжину використовуючи наступну формулу [4]:

$$T \approx 1,82 \left(\frac{d}{c} \right) \left(\frac{Mx}{l} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (1)$$

де d – діаметр снаряду; l – довжина снаряду, c – швидкість звуку; M – число Маха; x – відстань між траєкторією снаряду і найближчим мікрофоном в точці найбільшого зближення.

Звичайна вогнепальна зброя використовує обмежений заряд вибухової речовини для приведення в рух кулі зі ствола зброї. Гарячий, швидко розширюваний газ викликає акустичний вибух, що з'являється на кінці ствола. Це акустичне обурення триває 3-5 мс, і поширюється у повітрі зі швидкістю звуку (c).

Якщо два або більше мікрофонів розташовані у відомих місцях на шляху поширення вибухової хвилі, різниця часу прибуття (s) може бути використана для визначення джерела пострілу.

Припустимо що ми маємо два мікрофони які розташовані один від одного на відстані l_B в точках А і В (рис. 2). В певній точці простору на відстані приблизно 1 км знаходиться джерело пострілу (Дж). Фронт вибухової хвилі який доходить до мікрофонів має дуже великий радіус кривизни, тому для спрощення розрахунків приймаємо що цей фронт є плоским.

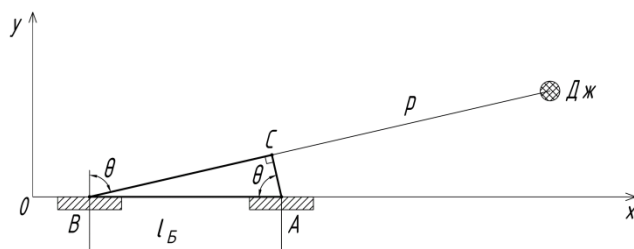


Рис. 2 – Розташування джерела пострілу (Дж) і двох мікрофонів

Розташування джерела пострілу будемо визначати відносно мікрофона розташованого найдалше від джерела - в точці В. Нехай r відстань від цього мікрофона до джерела пострілу.

Фронт нашої вибухової хвилі рухається перпендикулярно r . Спочатку фронт хвилі дійде до мікрофона в точці А, а потім вже до мікрофона в точці В. Час затримки приходу хвилі графічно відповідає стороні ВС трикутника АВС. Знаючи час затримки приходу хвилі можна розрахувати довжину відрізка ВС.

А знаючи довжину ВС можна розрахувати кут θ , який показує відхилення від азимуту до джерела пострілу відносно мікрофона розташованого в точці В.

Час затримки приходу хвилі зручно визначати за допомогою взаємної кореляційної функції (ВКФ, cross-correlation function) аудіозаписів пострілів з першого і другого мікрофонів [6-8].

Моделювання визначення часу затримки. Моделювання проводилося в програмному середовищі Matlab [9]. В якості тестового зразка для проведення аналізу був обраний аудіозапис пострілу з пістолета Beretta M9 знайдений в онлайн-базі звуків Freesound (рис. 3) [10]. Частота дискретизації аудіозапису складає 44 кГц, тривалість – 0,7 с, кількість бітів на зразок – 16.

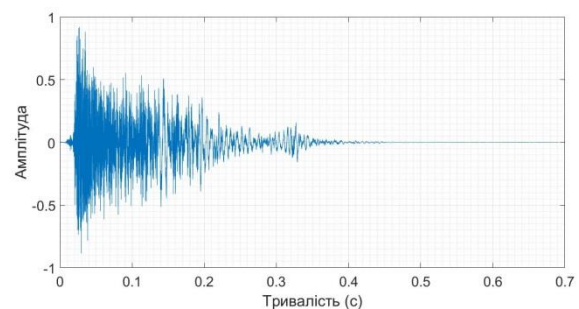


Рис. 3 – Аудіозапис пострілу з пістолета Beretta M9

Для обраного сигналу був розрахований його спектр (рис. 4).

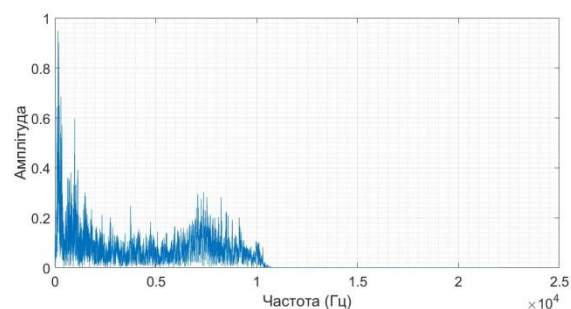


Рис. 4 – Спектр аудіозапису пострілу

Як видно з рис. 4 максимальна частота в розрахованому спектрі не перевищує 11 кГц. Це дозволяє орієнтовно визначити діапазон спектра сигналу пострілу з пістолета досліджуваного типу (Beretta M9). Дана інформація в свою чергу дозволяє спроектувати параметри фільтрів для попередньої фільтрації.

Попередня фільтрація необхідна для підвищення співвідношення сигнал-шум і запобігання накладання спектрів.

Для дослідження можливостей кореляційного методу визначення джерела акустичної вибухової хвилі аудіозапис пострілу був зашумлений «білим» (гаусовим) шумом. Також для даного сигналу була створена його копія, зміщена у часі, щоб імітувати запізнення (рис. 5). Величина запізнення відповідає розташуванню джерела пострілу. Чим більше це значення, тим більше відхилення від азимуту до джерела пострілу відносно мікрофона, який розташований найдалше від цього джерела.

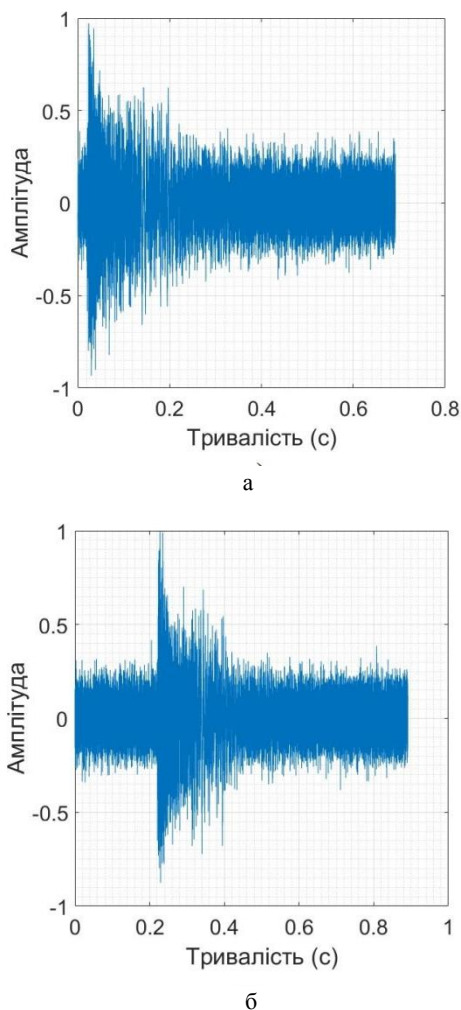


Рис. 5 – Зашумлені аудіозаписи пострілів: а – основний; б – зміщений у часі

Для обох аудіозаписів була розрахована взаємна кореляційна функція за допомогою хсогг - вбудованої функції Matlab, на основі якої визначалася затримка у часі між ними (рис. 6). Розташування максимуму функції на осі абсцис відповідає значенню часу затримки приходу сигналу.

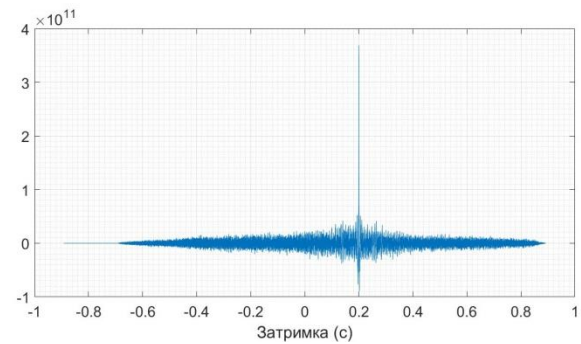


Рис. 6 – Взаємна кореляційна функція двох аудіозаписів

Щоб дослідити можливості кореляційного методу для визначення часових затримок нами були знайдені взаємні кореляційні функції аудіозаписів з різними співвідношеннями сигнал-шум (SNR) в межах від 5 до -40 дБ (рис. 7). Моделювання показало що взаємна кореляційна функція дозволяє безпомилково визначати часову затримку до позначки приблизно -14 дБ співвідношення сигнал шум. Із зменшенням цього значення похибка визначення затримки збільшується.

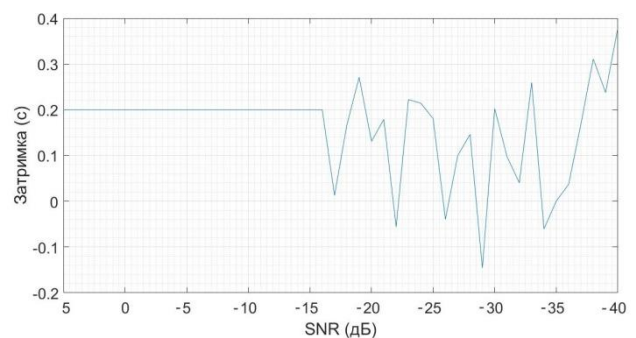


Рис. 7 – Часові затримки для різних значень SNR

Для більш детального дослідження впливу шуму на розрахунок взаємної кореляційної функції і, як наслідок, визначення координат джерела пострілу було розраховано середньоквадратичне відхилення (СКВ) для кожного співвідношення сигнал шум (рис. 8). Розрахунок СКВ для кожного окремо взятого значення SNR проводився на основі вибірки в 5000 значень. Як видно на рис. 7 після відмітки в 14 дБ СКВ починає різко збільшуватися до значення 0,13 с, але не перевищує його.

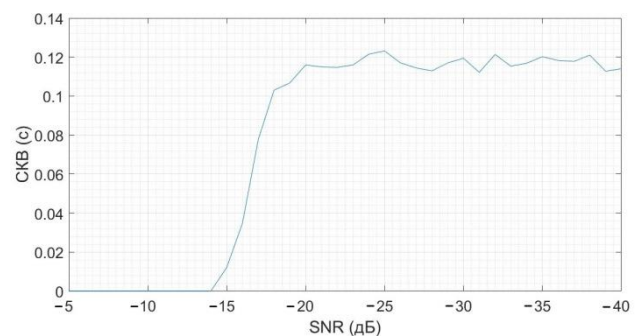


Рис. 8 – СКВ часових затримок для різних значень SNR.

Висновки. В даному дослідженні були використані реальні аудіозаписи пістолета Beretta M9, що дозволило орієнтовно визначити діапазон спектра сигналів пострілів, що в свою чергу дозволяє спроектувати параметри фільтрів для попередньої фільтрації.

В досліджуваному аудіозаписі співвідношення сигнал-шум було дуже велике. В результаті експерименту ми додавали «білий» шум до нашого аудіозапису, для визначення потенційних можливостей кореляційного методу. Для проведення кореляційного аналізу була використана копія цього аудіозапису змещена у часі. Кореляційний аналіз цих двох аудіозаписів показав що затримка між ними точно визначається до межі -14 дБ, тобто коли шум перевищує корисний сигнал більше ніж в 4 рази. Це дослідження показало високі потенційні можливості кореляційного методу для визначення координат джерела звуку і може бути використане не тільки для визначення координат пострілів, а й для визначення джерел інших звуків (битого скла, криків) значно меншої інтенсивності і значно меншого співвідношення сигнал-шум, що можуть бути признаками загрози. В цьому випадку необхідно мати базу спектрів цих інформативних сигналів.

Маючи дану базу взаємну кореляційну функцію можна використовувати і для розпізнавання інформативних сигналів.

Список літератури:

1. Поляков, С. Ю. Пропозиції по вдосконаленню охорони частин (підрозділів), які розташовані у базових таборах [Текст] / С. Ю. Поляков, В. М. Ленкін, Г. А. Змієвський, С. С. Корольов // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 1 (45). – С. 168–174.
2. Мельник, С. Н. Направления автоматизации процессов выполнения задач непосредственным охранением механизированного подразделения [Текст] / С. Н. Мельник, С. С. Корольов, Г. А. Змієвської, В. І. Горбунов // Системи обробки інформації. – 2017. – № 1 (147). – С. 159–167.
3. Dufaux, A. Automatic Classification of Wideband Acoustic Signals [Text] / A. Dufaux, L. Besacier, M. Ansorge, F. Pellandini // Joint 137th meeting of the Acoustical Society of America and Forum Acusticum 99. – Berlin, Germany, 1999. – P. 14–19.
4. Maher, R. Modeling and Signal Processing of Acoustic Gunshot Recordings [Text] / R. Maher // 2006 IEEE 12th Digital Signal Processing Workshop & 4th IEEE Signal Processing Education Workshop. – 2006. doi: [10.1109/dspws.2006.265386](https://doi.org/10.1109/dspws.2006.265386)
5. Maher, R. C. Acoustical Characterization of Gunshots [Text] / R. C. Maher // Signal Processing Applications for Public Security and Forensics, 2007. SAFE '07. IEEE Workshop. – 2007. – P. 109–113.
6. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход [Текст] / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис. – 2-е изд. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 992 с.
7. Тарасов, В. А. Корреляционная пассивная звуковая локация [Текст] / В. А. Тарасов, Д. А. Кропачев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. – № 2. – С. 29–34.
8. Орлов, В. В. Обнаружение местоположения источника излучения на основе корреляционной пространственной обработки [Текст] / В. В. Орлов // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2003. – № 2. – С. 42–46.
9. Солонина, А. И. Цифровая обработка сигналов и MATLAB [Текст]: уч. пос. / А. И. Солонина, Д. М. Клионский, Т. В. Меркучева, С. Н. Перов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.
10. Онлайн-база звуков Freesound [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.freesound.org>

Bibliography (transliterated):

1. Poliakov, S. Yu., Lenkin, V. M., Zmiivskiy, H. A., Korolov, S. S. (2016). Propozitsii po vdoskonalenniu okhorony chastyn (pidrozdiliv), yaki roztashovani u bazovykh taborakh. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika, 1 (45), 168–174.
2. Mel'nik, S. N., Korolev, S. S., Zmievskoy, G. A., Gorbunov, V. I. (2017). Napravleniya avtomatizatsii processov vypolneniya zadach neposredstvennym ohraneniem mekhanizirovannogo podrazdeleniya. Systemy obrobky informatsii, 1 (147), 159–167.
3. Dufaux, A., Besacier, L., Ansorge, M., Pellandini, F. (1999). Automatic Classification of Wideband Acoustic Signals. Joint 137th meeting of the Acoustical Society of America and Forum Acusticum 99. Berlin, Germany, 14–19.
4. Maher, R. (2006). Modeling and Signal Processing of Acoustic Gunshot Recordings. 2006 IEEE 12th Digital Signal Processing Workshop & 4th IEEE Signal Processing Education Workshop. doi: [10.1109/dspws.2006.265386](https://doi.org/10.1109/dspws.2006.265386)
5. Maher, R. C. (2007). Acoustical Characterization of Gunshots. Signal Processing Applications for Public Security and Forensics, 2007. SAFE '07. IEEE Workshop, 109–113.
6. Ayficher, Eh. S., Dzhervis, B. U. (2004). Cifrovaya obrabotka signalov: prakticheskiy podhod. Moscow: Izdatel'skiy dom “Vil'yams”, 992.
7. Tarasov, V. A., Kropachev, D. A. (2002). Korrelyatsionnaya passivnaya zvukovaya lokatsiya. Tekhnologiya i konstruirovaniye v ehlektronnoy apparature, 2, 29–34.
8. Orlov, V. V. (2003). Obnaruzhenie mestopolozheniya istochnika izlucheniya na osnove korrelyatsionnoy prostranstvennoy obrabotki. Radioelektronika. Informatyka. Upravlinnia, 2, 42–46.
9. Solonina, A. I., Klionskiy, D. M., Merkucheva, T. V., Perov, S. N. (2013). Cifrovaya obrabotka signalov i MATLAB. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 512.
10. Onlain-baza zvukiv Freesound. Available at: <http://www.freesound.org>

Надійшла (received) 15.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз можливостей кореляційного методу визначення джерела акустичної вибухової хвилі / Баженов В. Г., Шиндерук Т. Д. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.119–123. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Анализ возможностей корреляционного метода определения источника акустической взрывной волны/ Баженов В. Г., Шиндерук Т. Д. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.119–123. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Analysis of possibilities of correlation method for determining the source of acoustic blast/ Bazhenov V., Shynderuk T. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.119–123. – 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 і систем неруйнівного контролю; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e mail: 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; e mail: vgbazhenov@gmail.com.

Bazhenov Victor – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Nondestructive Testing; Pobedy, 37, Kiev, Ukraine, 03056; e mail: vgbazhenov@gmail.com.

Шиндерук Тарас Дмитрович – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», магістрант кафедри Приладів і систем неруйнівного контролю; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e mail: deskeyn@live.com.

Шиндерук Тарас Дмитриевич – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», магистрант кафедры Приборов и систем неразрушающего контроля; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e mail: deskeyn@live.com.

Shynderuk Taras – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", master's degree at the Department of Nondestructive Testing; Pobedy, 37, Kiev, Ukraine; e mail: deskeyn@live.com.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 378.14:[504+613]

Н. І. ГОДУН, Т. Г. КЕБКАЛО, О. М. МИЗДРЕНКО, Н. А. ХАРЧЕНКО, М. А. БУЦ

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ОСНОВ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ У ПЕДАГОГІЧНИХ ВНЗ В УМОВАХ МОДУЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЇ СИСТЕМИ

У статті проаналізовано сучасні форми навчання та викладання основ безпеки життєдіяльності у педагогічному ВНЗ в умовах модульно-рейтингової системи, окреслено сучасні методи викладання дисципліни для забезпечення якісного формування морально-особистісних, професійно-педагогічних якостей майбутнього педагога. Одним з основних завдань викладання курсу безпеки життєдіяльності є забезпечення повноти знань, умінь і узагальнення знань, зведення їх у систему. Функцію узагальнення курс може виконати певною мірою, якщо на момент його вивчення студент оволодів максимумом знань, які необхідно узагальнити. Розробка та практична реалізація програм медико-біологічних дисциплін із поглибленим валеологічним змістом дозволить із перших курсів розпочати послідовну і систематичну роботу з формування компонентів викладання курсу безпеки життєдіяльності майбутньому вчителю.

Ключові слова: форми навчання, лекція, семінарське заняття, лабораторно-практичні роботи, самостійна навчально-пізнавальна діяльність студента.

В статье проанализированы современные формы обучения и преподавания основ безопасности жизнедеятельности в педагогическом ВУЗе в условиях модульно-рейтинговой системы, очерчены современные методы преподавания дисциплины с целью обеспечения качественного формирования морально-личностных, профессионально-педагогических качеств будущего педагога. Одной из основных задач преподавания курса безопасности жизнедеятельности является обеспечение полноты знаний, умений и обобщения знаний, объединения их в систему. Функцию обобщения курс может выполнить в определенной степени, если на момент его изучения студент овладел максимумом знаний, которые необходимо обобщить. Разработка и практическая реализация программ медико-биологических дисциплин с углубленным валеологическим содержанием позволит с первых курсов начать последовательную и систематическую работу по формированию компонентов преподавания курса безопасности жизнедеятельности будущему учителю.

Ключевые слова: формы обучения, лекция, семинарское занятие, лабораторно-практические работы, самостоятельная учебно-познавательная деятельность студента.

The article analyzes modern forms of teaching the fundamentals of life safety in a pedagogical university in the conditions of a modular-rating system, outlines modern methods of teaching discipline in order to ensure the qualitative formation of the moral, personal, professional and pedagogical qualities of the future teacher. One of the main tasks of teaching the course of life safety is to ensure the completeness of knowledge, skills and generalization of knowledge, bringing them into the system. The function of generalization can be fulfilled to a certain extent, if at the time of its study the student has mastered the maximum of knowledge that must be generalized. The development and practical implementation of programs of medical and biological disciplines with in-depth valeological content will allow from the first courses to begin a consistent and systematic work on the formation of the components of teaching the course of life safety for the future teacher.

Keywords: forms of training, lecture, seminar activity, laboratory and practical works, independent educational and cognitive activity of the student.

Вступ. Визначальною фігурою у виховному процесі школи є вчитель. На вчителів в широкому розумінні завжди тримається не лише освіта, а й держава в цілому. У Національній доктрині розвитку освіти і Державній програмі «Вчитель» цілком правильно наголошується, що саме вчителю належить ключова роль в освіті. Адже через діяльність педагога відбувається становлення громадянина як особистості та фахівця, зміцнюється інтелектуальний та духовний потенціал нації.

«Учитель схожий на садівника і хірурга водночас. На хірурга – тому що повинен видаляти з душі неправильні переконання, що склалися. На садівника – тому що повинен садити дивні квіти людяності. Людина, котра вибрала цю святую посаду, зобов'язана сама себе звирятати з вищими критеріями: тут вже неприпустимі слабкості, які прощаються звичайним людям, адже вчитель – це не тільки професія, це і поклонання. Ще краще сказати – служіння».

Професію вчителя називають вічною. Вона – одна з найдавніших професій. Адже саме через спеціально організовану педагогічну діяльність опановують всіма іншими професіями. Необхідність передавання накопиченого виробничого, соціального і духовного суспільного досвіду новим поколінням, підготовка

цих поколінь до життя і праці привела до того, що навчання і виховання дуже рано виділились у самостійну суспільну функцію.

Сучасні вимоги до педагога висвітлені у законі «Про загальну середню освіту»: «Педагогічним працівником повинна бути особа з високими моральними якостями, яка має відповідну педагогічну освіту, належний рівень професійної підготовки, здійснює педагогічну діяльність, забезпечує результативність та якість своєї роботи, фізичний та психічний стан здоров'я якої дозволяє виконувати професійні обов'язки у навчальних закладах середньої освіти».

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Ядром дидактико-методичної координації в навчальному процесі є підручники та навчальні посібники, які традиційно виконують інформаційну, трансформаційну, координуючу та розвивально-виховну функції і є основним джерелом знань у системі професійної підготовки. Аналіз навчальної літератури останніх років засвідчив, що на цей час в Україні видано певну кількість підручників та навчальних посібників із курсу основ безпеки життєдіяльності, загальної екології [3, 4, 8], екології людини

© Н. І. Годун, Т. Г. Кебкало, О. М. Миздренко, Н. А. Харченко, М. А. Буч. 2017

[1, 6] та валеології [5]. Безперечно, що кожному з них властиві свої особливості як за структурою, змістом, складністю, так і за послідовністю формування спеціальних понять. Для навчального процесу необхідна оригінальна навчальна література, побудована за принципом інтегрованих зв'язків курсу безпеки життєдіяльності з екологією, валеологією, професійно спрямована, з урахуванням специфіки та фахової спрямованості професійно-педагогічної підготовки майбутнього вчителя. У зв'язку з цим актуальним є створення сучасних авторських навчальних посібників із курсу основ безпеки життєдіяльності, необхідних для повноцінного забезпечення навчально-методичного комплексу [3, 8].

Виклад основного матеріалу. Курс основ безпеки життєдіяльності утвердився в навчальних планах вищих педагогічних навчальних закладів усіх спеціальностей. У процесі вивчення цього курсу студенти ознайомлюються із психофізіологією життєдіяльності людини та шляхами її оптимізації; характеристиками навколишнього середовища, його небезпечними факторами та наслідками їх впливу на організм людини; засобами і методами підвищення безпеки й екологічності технічних засобів та технологічних процесів; основними положеннями теорії ризику; способами захисту людини від вражаючих факторів аварій і катастроф природного і техногенного характеру; основами проведення рятувальних та інших невідкладних робіт [3; 8].

При вивченні проблем безпеки життєдіяльності екологічні аспекти здоров'я людини мають пріоритетний характер. Це надає курсу основ безпеки життєдіяльності статусу одного з провідних у процесі набуття валеологічної освіти майбутнім вчителем та формуванні його еколого-валеологічної культури [1; 2]. Як і будь-яка інша навчальна дисципліна вищого педагогічного навчального закладу, цей курс повинен мати професійну спрямованість, у його змісті в однаковій пропорції відображатися валеологічні, загальнонаукові, загальнокультурні та психолого-педагогічні знання, які безпосередньо стосуються формування загальної культури майбутнього вчителя та його готовності до професійної діяльності в школі.

Одним з основних завдань викладання курсу безпеки життєдіяльності є забезпечення повноти знань, умінь і узагальнення знань, зведення їх у систему. Функцію узагальнення він може виконати певною мірою, якщо на момент його вивчення студент оволодів максимумом знань, які необхідно узагальнити. Відповідно до місця в навчально-виховному процесі, то зазначений курс має бути завершальним. Розробка та практична реалізація програм медико-біологічних дисциплін із поглибленим валеологічним змістом дозволить із перших курсів розпочати послідовну і систематичну роботу з формування компонентів викладання курсу безпеки життєдіяльності майбутньому вчителю. Цілеспрямований процес формування потребує не тільки внесення доповнень і змін до чинних програм та розробки нових, але й створення відповідних навчально-методичних комплексів із тих медико-біологічних дисциплін, через які буде безпосередньо здійснюватися формування фахова підготовка майбутнього вчителя. Виходячи із загаль-

них характеристик навчально-методичного комплексу як відкритої системи дидактичних засобів [9] та функцій, які на нього покладаються, він, з одного боку, дозволяє організувати самостійний пошук у вирішенні відповідних навчальних завдань окремого студента, а з іншого - спрямувати колективну роботу всієї групи студентів. Навчально-методичний комплекс є одночасно і носієм змісту процесу навчання, і методом фіксації цього змісту. Використання навчально-методичних комплексів сприяє активізації свідомого набуття якісних валеологічних знань; посилює формування моральної відповідальності за здоров'я людини; дозволяє певною мірою вирішити суперечності між стрімким зростанням обсягу і змісту навчального матеріалу та індивідуальними можливостями студентів щодо свідомого засвоєння цього матеріалу; забезпечує розвиток пізнавальних здібностей, творчого мислення, умінь самостійно працювати.

У сучасних умовах інформатизації широко впроваджуються електронні програмно-методичні навчальні комплекси, які можна з успіхом використовувати у викладанні курсу безпеки життєдіяльності. Вони створюють нові можливості для моделювання та демонстрації різноманітних природних процесів і об'єктів; сприяють підвищенню інтересу й загальної мотивації навчання завдяки новим формам роботи і причетності до пріоритетного напрямку науково-технічного прогресу; активізують навчання завдяки використанню привабливих і швидкозмінних форм подання інформації; підвищують ефективність навчального процесу, зокрема, забезпечують індивідуалізацію та диференціацію навчання при різномірівній підготовці; дозволяють об'єктивно перевірити та оцінити рівень навчальних досягнень студента [7;9]. Ефективність програмно-методичних навчальних комплексів з курсу безпеки життєдіяльності можлива лише за умови залучення при їх використанні сучасних засобів комунікації, у тому числі мережі Internet. Це забезпечить відповідні умови для ознайомлення студентів із численними базами даних і знань різноманітного призначення, із сучасним інструментарієм технології мультимедіа, із можливостями використання засобів телекомунікації на рівні синтезу комп'ютерних мереж і реалізації телефонного, телевізійного, супутникового зв'язку, із метою інформаційної взаємодії та інформаційного забезпечення як окремих користувачів, так і навчальних закладів.

Щодо конкретних форм організації навчальної діяльності студентів у вивченні курсу безпеки життєдіяльності, то найбільш поширеними традиційно є лекції, семінарські та лабораторно-практичні роботи. Кожна з організаційних і традиційних форм навчання характеризується своєю структурою та принципами упорядкованості її елементів.

Лекція як найбільш поширена форма передачі та сприймання навчальної інформації, дає можливість послідовно і систематично викладати матеріал, виділяючи в темі, що вивчається, головне, акцентуючи увагу студентів на найістотніших аспектах та економно використовуючи час. Слід звертати велику увагу на те, щоб з курсу безпеки життєдіяльності лекція була змістовною, логічною, супроводжувалася аналізом

прикладів, демонстрацією наочного матеріалу. Такий підхід викликає живу зацікавленість лекційним матеріалом, активізуючи тим самим розумову діяльність майбутніх учителів. Доповнюючи традиційну лекцію комплексом активних методів навчання, можна вводити нові нюанси в пізнавальну діяльність студентів, що різко підвищує ефективність навчального процесу, посилює пізнавальну активність, самостійність усіх учасників і в процесу навчання. Організація активних розумових дій під час лекції забезпечується створенням проблемних ситуацій, умов для організації самостійної роботи, введенням ігрових ситуацій, викладанням навчальної інформації методом роздуму вголос, використанням у процесі лекції навмисних помилок тощо. Лекція – це ефективна форма систематичного, емоційного, безпосереднього контакту свідомості, почуттів, волі, інтуїції особистості педагога з внутрішнім світом студентів. Нестандартно думаючий, обізнаний, компетентний, цікавий для молоді викладач курсу безпеки життєдіяльності надає не просто інформацію, а спонукає до проникнення в сутність навчального матеріалу та проголошених проблем завдяки захопленості, глибини знань у науковій галузі. Лекція покликана не тільки формувати знання, а й сприяти всебічному розвитку особистості майбутніх учителів.

Семінарські заняття призначені забезпечити розвиток творчого професійного мислення, пізнавальної мотивації та професійного використання знань у навчальних умовах. Семінари пов'язані з усіма видами навчальної праці, найперше, з лекціями та самостійною роботою студентів.

Завдяки застосуванню на семінарських заняттях різних активних методів навчання можна досягти ефективного перетворення теоретичних знань на практичні. У процесі вирішення різноманітних педагогічних завдань з курсу безпеки життєдіяльності відбувається не тільки теоретичне осмислення процесів і явищ, але й здійснюється емоційне сприймання їх сутнісних характеристик, моделюється еколого-валеологічна діяльність майбутнього вчителя, формується його еколого-валеологічна культура.

При виконанні студентами лабораторно-практичних робіт відбувається розширення та конкретизація теоретичних знань; поглиблюються та розвиваються їх експериментальні вміння і навички самостійної експериментально-пошукової діяльності; формуються вміння самостійно планувати діяльність і фіксувати, зіставляти проміжні та кінцеві результати. Лабораторно-практичні заняття вимагають від студента вмінь аналізувати і синтезувати наукову інформацію, прогнозувати подальший розвиток процесів та явищ, проявляти ініціативу і самостійність під час виконання конкретного виду завдань.

Однією з провідних форм оволодіння загальнонауковими, професійними та еколого-валеологічними знаннями є самостійна навчально-пізнавальна діяльність студента. Дослідники стверджують, що самостійна пізнавальна діяльність студента передбачає постановку студентом перед собою усвідомленої мети та змісту роботи; правильне визначення та вибір ефективних способів і засобів її виконання; своєчасний кон-

троль за ходом її виконання і внесення коректив у хід та способи виконання [7].

Самостійна пізнавальна діяльність сприяє розвитку внутрішньої і зовнішньої самоорганізації майбутнього спеціаліста, активного творчого ставлення до одержаної інформації, здатності будувати індивідуальну траєкторію самоосвіти та усвідомлено застосовувати знання з курсу безпеки життєдіяльності в навчанні та житті. Саме тому важливе місце у формуванні валеологічної освіти майбутнього вчителя посідають методи навчання. Вони є провідними структурними компонентами навчального процесу. Метод – серцевина процесу навчання, ланка, яка сполучає запроектовану ціль і кінцевий результат. Процес навчання реалізується шляхом взаємодії діяльності викладача (викладання) і діяльності студента (учіння). Викладач здійснює різноманітні дії, які допомагають студентам оволодіти навчальним матеріалом, сприяють активізації їх навчальної діяльності; студент сприймає, осмислює, здобуває інформацію, розв'язує навчальні завдання, засвоює, розвивається, виховується. Метод при цьому є упорядкованою взаємодією, співробітництвом, партнерством. Саме ця впорядкована взаємопов'язана діяльність викладача та студента є однією з основних ознак сутності методу навчання. Другою загальною ознакою методу є цілеспрямованість взаємодії діяльності викладача та студентів на досягнення завдань освіти, розвитку і виховання. Ці ознаки є суттєвими, але не єдиними. У процесі навчання зв'язок методу з іншими компонентами є зворотним: метод є похідним від цілей, завдань, змісту, форм навчання; водночас він суттєво впливає на можливість їх практичної реалізації.

Методи навчання – це впорядковані способи взаємопов'язаної діяльності викладача й студента, спрямовані на розв'язання навчально-виховних завдань [7, 9]. Методи навчання виконують важливі загальні функції в процесі навчання. За їх допомогою студенти оволодівають змістом навчальних предметів, викладачі здійснюють управління пізнавальною діяльністю студентів, формуванням позитивних мотивів навчання, інтелектуальним розвитком студентів; відбувається формування особистісних якостей, оцінка й корекція навчальних досягнень студентів. Виходячи з особливостей, завдань і змісту формування культури майбутнього вчителя, збагачуються і уточнюються функції методів навчання. Серед них можна визначити ще такі функції: стимульовальну, мотиваційну, освітньо-виховну, пошуково-розвивальну, дослідницько-розвивальну, комунікативну та контрольнокорекційну. Обираючи той чи інший метод навчання для реалізації того чи іншого завдання з формування фахової підготовки студента з курсу безпеки життєдіяльності, викладач повинен знати, які функції може виконувати кожен із них і як їх спрямувати на посилення тієї чи іншої функції.

Аналіз традиційної системи навчання студентів дозволив дійти таких висновків. По-перше, у ній переважно використовуються пояснювально-ілюстративний і інформаційно-репродуктивний методи навчання, що спираються на репродуктивне мислення студентів. Навчальний матеріал студентам пропону-

ється як готова інформація у вигляді певних догм, які студент осмислює, запам'ятовує й відтворює. Далі застосовує цю інформацію для розв'язання типових завдань, запропонованих викладачем, причому способи й прийоми розв'язання завдань студент також одержує, від викладача в готовому вигляді, після чого отримані знання застосовує на практиці. Отже, студентові в процесі навчання необхідно лише вивчити, виконати вправи за готовими зразками й застосовувати знання, навички і набуті вміння на практиці. Пізнавальна ж активність студентів за такого навчання невисока і більша частина студентів навчається без особливого інтересу, докладаючи лише зусилля на те, щоб не отримати незадовільні оцінки. По-друге, під час традиційного проведення лабораторно-практичних та семінарських занять, які спрямовані на закріплення теоретичних знань та практичних умінь і найчастіше побудовані одноманітно, ініціативність, самостійність та індивідуальність студентів є незначною. Безперечно, що традиційна система має багато й позитивних моментів, але все ж у процесі формування компетентності в курсі з безпеки життєдіяльності слід звертатися до методів, які дозволяють розвивати активне мислення студентів, уміння самостійно вирішувати нестандартні завдання, використовувати знання для творчого розв'язання різних питань.

Щоб реалізувати такі завдання, викладачеві з курсу безпеки життєдіяльності треба володіти всією сукупністю сучасних методів – як традиційних, так й інноваційних.

Оскільки метод навчання є досить складним багатоаспектним утворенням, то за кожним із них методи згруповані в системи та створені класифікації методів. Класифікація методів навчання – це впорядкована за певною ознакою їхня система. У викладанні курсу з безпеки життєдіяльності потрібні лише ті, які слугують його ефективності.

Якщо виходити із сучасної парадигми освіти – особистісно орієнтованого навчання, то студент у навчальному процесі може бути об'єктом, суб'єктом, суб'єктом взаємодії. Коли студент є об'єктом навчання, то застосовані методи за характером пізнавальної активності будуть пасивними (студент слухає, записує, запам'ятовує, відтворює). Якщо студент бере активну участь у здобуванні нових знань, стає суб'єктом навчання (бере участь у бесіді, відповідає на запитання, пропонує власне розв'язання завдання, самостійно його виконує, доповнює, аналізує тощо), то застосовані методи називають активними. Якщо ж студент є суб'єктом активної взаємодії з викладачем під час вивчення нового матеріалу, то застосовані методи називають інтерактивними. Інтерактивні методи навчання передбачають такі способи взаємопов'язаної діяльності, коли навчання відбувається у взаємодії викладача та студентів з метою спільного виконання навчальних завдань, розвитку особистості студента.

Поєднуючи традиційні та інноваційні методи навчання, взаємодія яких може сприяти ефективному вирішенню завдань щодо формування професійної компетентності майбутнього вчителя. Кожен метод навчання має свої переваги і недоліки, які слід враховувати при виборі та поєднанні в процесі виконання

поставлених завдань. Наприклад, методи лекції, розповіді називають традиційними, пасивними методами. Проте саме за допомогою цих методів успішно подаються великі блоки навчального матеріалу, зразки розв'язання проблем.

У процесі фахової підготовки з курсу безпеки життєдіяльності важливим завданням є вироблення в майбутнього вчителя вмінь приймати обгрунтовані рішення в умовах, наближених до реальних. Ефективним способом для цього є ситуаційні семінари(метод кейсів), які імітують практичне вирішення ситуації. Інформація подається у вигляді фактів, що ґрунтуються на реальній ситуації, і завдання студентів полягає в її аналізі та виробленні рекомендацій щодо її вирішення. Конкретна ситуація – це опис реальної ситуації, де існує необхідність вирішення однієї чи кількох проблем. Ці рішення, як правило, неочевидні й неоднозначні. Є багато можливих розв'язань однієї й тієї самої проблеми, іноді такого розв'язання не існує взагалі. Метод кейсів сприяє розвитку вмінь аналізувати ситуацію, оцінювати альтернативи, вибирати оптимальний варіант і складати план його здійснення. Багаторазове використання такого підходу до організації семінарів дозволяє виробити стійкі навички вирішення практичних завдань. Для роботи з кейсом складають групи з 3-7 осіб, які студенти формують самостійно. Чим менша кількість учасників у групі, тим більша залученість кожного студента до роботи над кейсом, тим вищою є його персональна відповідальність за результат. Кожна група вибирає керівника – модератора, роль якого полягає в розподілі питань між учасниками, відповідальності за роботу групи та прийняті рішення. Після завершення роботи модератор доповідає про висновки, які зробила група. Роль викладача в аудиторії – спрямування бесіди або дискусії (наприклад, за допомогою проблемних питань), контроль часу роботи, залучення всіх студентів групи в процес аналізу кейса. Студентів з вищим рівнем знань і умінь необхідно постійно заохочувати до виконання ролі ведучих на семінарських заняттях, які б спрямовували роботу інших студентів. Колективна співпраця в роботі відіграє позитивну роль у формуванні таких якостей, як відповідальність і вимогливість до себе.

На особливу увагу заслуговують тренінги, які орієнтовані на вирішення та закріплення ефективних моделей ситуаційної безпечної поведінки, максимально активну участь студентів, взаємообмін досвідом та використання ефективної групової взаємодії. Тренінг можна визначити як групу методів розвитку здібностей до навчання й оволодіння будь-яким складним видом діяльності та як спосіб перепрограмування наявної в людини моделі керування поведінкою і діяльністю.

Тренінг базується на принципах, що кардинально відрізняють його від традиційного навчання. До принципів, покладених в основу тренінгу, відносять: принцип активності, дослідницької (творчої) позиції, об'єктивації (усвідомлення) поведінки, партнерського (суб'єкт-суб'єктного) спілкування.

У системі формування культури місце тренінгу з безпеки життєдіяльності – це заплановані та система-

тичні зусилля з розвитку та вдосконалення знань, навичок, умінь та настанов людини на безпечну поведінку за допомогою емпіричних засобів навчання. У ході тренінгу набуваються знання та навички для ефективного вирішення певного завдання, формуються певні професійні і спеціальні якості майбутнього вчителя.

Проектна діяльність як один із методів особистісно орієнтованого навчання спрямована на формування самостійних дослідницьких умінь, розвиток пізнавальних навичок студентів, умінь самостійно конструювати свої знання, орієнтуватися в інформаційному просторі, критично мислити, виявляти компетенцію в питаннях, пов'язаних з розробленням та реалізацією проектів. Вона сприяє розвитку творчих здібностей, об'єднує знання, які були отримані в ході навчального процесу, залучає студентів до вирішення життєво важливих проблем безпеки життєдіяльності.

Проекти класифікуються: за домінуючим видом діяльності (дослідницькі, інформаційні, творчі, рольово-ігрові, практико-орієнтовані); предметно-змістовою галуззю (монопроекти та міжпредметні проекти); характером контактів (внутрішні, регіональні, міжнародні); кількістю учасників проекту (індивідуальні, парні, групові); тривалістю (короткочасні, середньої тривалості, довготривалі) [9, с. 4].

Визначають кілька етапів підготовки роботи над проектом: пошук або формулювання проблеми; організація творчих груп для роботи над проектом; планування роботи над проектом; пошук і збирання інформації; аналіз інформації; оформлення й подання проекту; аналіз та оцінка результатів роботи над проектом [7].

Перший крок на етапі розроблення проекту з безпеки життєдіяльності - постановка проблеми. Такою проблемою є, зокрема, відновлення та збереження здоров'я людини в умовах небезпеки навколишнього середовища. Наступні етапи: аналіз проблеми, визначення альтернативних шляхів її вирішення, вибір найкращого варіанту, усвідомлення мети та завдання проекту. Мета - це результат дій, який вирішує поставлену проблему. Відповідно до мети визначаються його завдання - специфічні результати, що в комплексі досягають мети проекту. Розрізняють завдання, що створюють продукт (отримані дані, підготовлені інформаційні матеріали тощо), та завдання, які збільшують потенціал, тобто створюють нематеріальний продукт (формування нових навичок, знань тощо). Під час організації навчального проектування педагог повинен: координувати весь процес роботи над проектом; допомагати в пошуку джерел, необхідних для роботи над проектом; самому бути джерелом інформації; підтримувати й заохочувати студентів; забезпечувати постійну роботу над проектом [7]. Особливу цінність становлять прикладні проекти, які ґрунтуються на краєзнавчому принципі вивчення й охорони здоров'я населення на тлі загальних проблем, бо тоді проблеми будуть більш зрозумілі та вирішувані.

Високу ефективність для формування умінь і навичок мають лабораторно – практичні роботи. У процесі виконання лабораторно-практичних робіт студенти оволодівають навичками роботи з різними вимірювальними приладами, якісними та кількісними ме-

тодами визначення екологічного стану різних об'єктів навколишнього середовища, ознайомлюються з нормативною документацією, яка регламентує вплив тих чи інших факторів середовища на організм людини. Можна навести такі приклади тематики лабораторно-практичних робіт з різних курсів: «Санітарно-гігієнічна оцінка навчальної аудиторії», «Визначення радіаційного фону території», «Якісні показники освітлення в різних навчальних приміщеннях» та ін.

Звичайно лабораторно-практичні заняття проводяться фронтально, що не виключає можливості пасивного виконання завдань одними студентами за рахунок інших. Щоб уникнути таких негативних тенденцій, бажано використовувати систему індивідуальних завдань в викладанні курсу з безпеки життєдіяльності. Такий підхід дозволяє стимулювати індивідуальну творчо-пошукову роботу кожного члена групи.

Це дозволяє не тільки індивідуалізувати процес навчання, але й зробити теоретичний матеріал більш аргументованим, життєвим та менш академічним. Тому задача є об'єктом, що детермінує не тільки процес мислення людини, але й мобілізує всю особистість у цілому, охоплюючи її емоційну сферу, інтереси, думки й потреби. Розглядаючи задачу з психологічного погляду, можна вважати її ефективним засобом евристичної діяльності. Задача традиційно розглядається як особлива форма пізнання дійсності, але ми при використанні розрахункових задач ставимо за стратегічну мету перш за все формування системи способів діяльності. Розв'язуючи задачі, студенти набувають чітких уявлень про структуру цього процесу; виявляють чисельні дані, що містяться в прихованому вигляді в задачі; установлюють залежності між виявленими даними й шуканими числами; на основі знайденої залежності здійснюють відповідні математичні дії. У пошуках відповіді на запитання задачі студенти стають безпосередньо причетними до еколого-валеологічних проблем, отримують реальні можливості використати отримані знання в житті, набувають досвіду прийняття екологічно доцільних рішень. Крім завдань з безпеки життєдіяльності на розв'язання, можна давати студентам завдання на складання таких задач. Це дозволяє формувати вміння визначати коло проблем, які можна включити в умову задачі та проаналізувати й підібрати умови, наближені до реальних. Ігрові методи мають на меті формування аналітичних навичок, а також навичок поведінки в різних, у тому числі нестандартних, ситуаціях, а особливо в умовах небезпеки для здоров'я чи життя. У студента формуються ніби дворівневі дії (інваріантна основа й варіативна оболонка). Інваріантна основа виявляється в типових ситуаціях, варіативна частина працює в нестандартних і неструктурованих ситуаціях.

Гра як метод навчання та виховання застосовується для встановлення більш тісного зв'язку теорії з практикою, удосконалення професійних умінь і навичок. Ігрова модель навчання покликана реалізовувати, крім основної дидактичної мети, ще й комплекс цілей: забезпечення контролю емоцій; надання можливості самовизначення; сприяння й допомога в розвитку творчої уяви; надання можливості вдосконалення навичок співпраці в соціальному аспекті; надання мож-

ливості висловлювати свої думки. Сутність ділових ігор полягає в навчанні професійній діяльності шляхом її моделювання, близького до реальних умов, з обов'язковим розгалуженим динамічним розвитком ситуації, завдання, проблеми, яка вирішується. Від інших методів активного навчання ділова гра відрізняється тим, що в цьому випадку використовується модель системи ситуацій. Таке живе моделювання має цілу низку переваг. Уміння аналізувати ситуацію, знайти в ній вирішальну ланку, обґрунтувати рішення та організувати їх виконання - невід'ємна професійна риса майбутнього педагога. Використання ділових ігор сприяє розвитку в студентів практичного підходу до фактів, що аналізуються, а необхідність знаходити власні рішення виробляє в них конструктивний тип мислення. Також ділові ігри розвивають уміння обстоювати свою точку зору. Роль викладача при проведенні гри дуже багатогранна. До гри він інструктор, у процесі її проведення - консультант, по закінченні - суддя та керівник дискусії. Бажано, щоб ділова гра проходила в атмосфері творчості. Це підвищить емоційність гри, а тим самим і ступінь засвоєння матеріалу.

Висновок. Поєднуючи традиційні та інноваційні методи навчання, взаємодія яких може сприяти ефективному вирішенню завдань щодо формування професійної компетентності майбутнього вчителя. Кожен метод навчання має свої переваги і недоліки, які слід враховувати при виборі та поєднанні в процесі виконання поставлених завдань.

Список літератури:

1. Бойчук, Ю. Д. Еколого-валеологічна культура майбутнього вчителя: теоретико-методичні аспекти [Текст]: монографія / Ю. Д. Бойчук. – Суми: Університетська книга, 2008. – 357 с.
2. Білик, Л. І. Екологічна відповідальність студентів: Теоретико-методичні аспекти [Текст]: монографія / Л. І. Білик. – Черкаси: Вертикаль, 2005. – 340 с.
3. Гончаренко, М. С. Безпека життєдіяльності та основи валеології [Текст]: навч. пос. / М. С. Гончаренко, О. О. Коновалова, Л. В. Васильєва. – Х.: Вид-во ХНУ, 2006. – 96 с.
4. Злобін, Ю. А. Загальна екологія [Текст]: навч. пос. / Ю. А. Злобін, Н. В. Кочубей. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2003. – 416 с.
5. Коцур, Н. І. Валеологія [Текст]: підр. / Н. І. Коцур, Л. С. Гармаш, І. О. Калиниченко, Л. П. Товкун. – Корсунь-Шевченківський, 2011. – 581 с.
6. Бойчук, Ю. Д. Основи екології людини [Текст]: навч. пос. / Ю. Д. Бойчук, Е. М. Солошенко, Є. Я. Школенко, В. М. Савченко; за заг. ред. Е. М. Солошенко. – Х.: Вид-во ХНУ, 2007. – 546 с.
7. Пехота, О. П. Освітні технології [Текст]: навч.-мет. пос. / О. П. Пехота, А. З. Кіктенко, О. М. Любарська. – К.: А.С.К., 2001. – 256 с.
8. Пістун, І. П. Безпека життєдіяльності [Текст]: навч. пос. / І. П. Пістун. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2003. – 301 с.
9. Полат, Е. С. Новые педагогические технологии [Текст] / Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина, М. В. Мойсеева. – М.: Академия, 2001. – 272 с.
10. Жидецький, В. Ц. Основи охорони праці [Текст] / В. Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2002. – 360 с.

Bibliography (transliterated):

1. Boichuk, Yu. D. (2008). Ekologo-valeolohichna kultura maibutnoho vchytelia: teoretyko-metodychni aspekty. Sumy: Universytetska knyha, 357.
2. Bilyk, L. I. (2005). Ekolohichna vidpovidalnist studentiv: Teoretyko-metodychni aspekty. Cherkasy: Vertykal, 340.
3. Honcharenko, M. S., Konovalova, O. O., Vasyliieva, L. V. (2006). Bezpeka zhyttiedialnosti ta osnovy valeolohii. Kharkiv: Vyd-vo KhNU, 96.
4. Zlobin, Yu. A., Kochubei, N. V. (2003). Zahalna ekolohiia. Sumy: VTD «Universytetska knyha», 416.
5. Kotsur, N. I., Harmash, L. S., Kalynychenko, I. O., Tovkun, L. P. (2011). Valeolohiia. Korsun-Shevchenkivskiy, 581.
6. Boichuk, Yu. D., Soloshenko, E. M., Shkolenko, Ye. Ya., Savchenko, V. M.; Soloshenko, E. M. (Ed.) (2007). Osnovy ekolohii liudyny. Kharkov: Vyd-vo KhNU, 546.
7. Piekhot, O. P., Kiktenko, A. Z., Liubarska, O. M. (2001). Osvitni tekhnolohii. Kyiv: A.S.K., 256.
8. Pistun, I. P. (2003). Bezpeka zhyttiedialnosti. Sumy: VTD "Universytetska knyha", 301.
9. Polat, E. S., Buharkina, M. Yu., Moiseeva, M. V. (2001). Noveye pedagogicheskie tekhnologii. Moscow: Akademiya, 272.
10. Zhydetskiy, V. Ts. (2002). Osnovy okhorony pratsi. Lviv: Afisha, 360.

Надійшла (received) 11.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Сучасні тенденції викладання основ безпеки життєдіяльності у педагогічних ВНЗ в умовах модульно-рейтингової системи/ Годун Н. І., Кебкало Т. Г., Миздренко О. М., Харченко Н. А., Буц М. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.124–130. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Современные тенденции преподаванию основ безопасности жизнедеятельности в педагогических вузов в условиях модульно-рейтинговая система/ Годун Н. И., Кебкало Т. Г., Миздренко О. Н., Харченко Н. А., Буц М. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.124–130. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Modern tendencies for the foundation of life safety in pedagogical high schools in conditions modular rating system/ Godun N., Kebkalo T., Mizdrenko O., Kharchenko N., Buzz M. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 19 (1241). – P.124–130. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Годун Наталія Іванівна – кандидат історичних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401; valeologiya406@ukr.net.

Кебкало Тамара Григорівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401.

Миздренко Оксана Миколаївна – кандидат історичних наук, старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401.

Харченко Наталія Анатоліївна – викладач кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401.

Буц Марина Анатоліївна – викладач кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401.

Годун Наталья Ивановна – кандидат исторических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401; valeologiya406@ukr.net.

Кебкал Тамара Григорьевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401.

Миздренко Оксана Николаевна – кандидат исторических наук, старший преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401.

Харченко Наталья Анатольевна – преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401.

Буц Марина Анатольевна – преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401.

Godun Natalia – PhD, associate professor of the department of medical and biological disciplines and valeology, State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda", st. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnytsky, Kyiv region, Ukraine, 08401; valeologiya406@ukr.net.

Kebskalo Tamara – PhD, associate professor of the Department of Biomedical Sciences and Valeology, Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda, ul. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnytsky, Kyiv region, Ukraine, 08401.

Mizdrenko Oksana – PhD, Senior Lecturer of the Department of Medical and Biological Disciplines and Valeology, State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda", st. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnytsky, Kyiv region, Ukraine, 08401.

Kharchenko Natalia – teacher of the department of medical and biological disciplines and valeology, State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda", st. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnytsky, Kyiv region, Ukraine, 08401.

Buzz Marina – teacher of the department of medical and biological disciplines and valeology, State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnytsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda", st. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnytsky, Kyiv region, Ukraine, 08401.

УДК616-001:658.5

Т. Ю. ЄРІЧЕВА

ВИРОБНИЧИЙ ТРАВМАТИЗМ: АКТУАЛЬНІ АСПЕКТИ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ПРИЧИН

Стаття присвячена аналізу стану виробничого травматизму в умовах економічних відносин в Україні як актуальної проблеми сучасності. Здійснено аналіз основних причин та особливостей виробничого травматизму, на основі яких подані раціональні шляхи запобігання даного явища.

В статті детально охарактеризовано основні причини виробничого травматизму та основні методи його аналізу, виокремлено найдоцільніші з них, що дозволяє розширити коло інженерних, санітарно-гігієнічних, психофізіологічних і правових знань, дозволяє поглянути на звичний технологічний процес по-новому і відкрити в ньому певні закономірності прояву небезпек.

Ключові слова: виробничий травматизм, методи аналізу, класифікація, нещасний випадок.

Статья посвящена анализу состояния производственного травматизма в условиях развития экономических отношений в Украине как актуальной проблемы современности. Осуществлен анализ основных причин и особенностей производственного травматизма, на основе которых представлены рациональные пути предотвращения данного явления.

В статье подробно охарактеризованы основные причины производственного травматизма и основные методы его анализа, выделены наиболее целесообразные из них, что позволяет расширить круг инженерных, санитарно-гигиенических, психофизиологических и правовых знаний, позволяет взглянуть на привычный технологический процесс по-новому и открыть в нем определенные закономерности проявления опасностей.

Ключевые слова: производственный травматизм, методы анализа, классификация, несчастный случай.

The article is devoted to the analysis of the state of industrial traumatism in the conditions of development of economic relations in Ukraine as an actual problem of the present. The analysis of the main causes and features of occupational traumatism, based on which rational ways of preventing this phenomenon are presented. The statistics of accidents and industrial injuries in Ukraine and the world are analyzed.

In the article the main causes of industrial traumatism and the main methods of its analysis are described in detail, the most expedient ones are selected, which allows to expand the range of engineering, sanitary and hygienic, psychophysiological and legal knowledge, allows to look at the usual technological process in a new way and to discover certain regularities in it. Manifestations of dangers. The results of the analysis allow us to look for the necessary measures to prevent injuries, ultimately helping to improve certain types of work, technological processes.

Keywords: occupational traumatism, methods of analysis, classification, accident.

Вступ. Виробничий травматизм давно став однією з найважливіших медико-соціальних проблем для більшості країн світу. Протягом останніх десятиліть актуальність проблеми травматизму постійно зростала, при цьому відзначається зростання травматизму зі смертельними наслідками, переходом на інвалідність, з тимчасовою втратою працездатності. На сьогоднішній день в економічно розвинених країнах світу травми займають третє місце серед причин смерті населення, причому серед працездатного віку.

В Україні протягом останніх років, становище в області охорони праці залишається незадовільним. Як свідчать статистичні дані, на підприємствах, в установах, організаціях України всіх форм власності щоденно травмується в середньому понад 200 працівників, з них близько 30 стають інвалідами і 5-6 осіб одержують травми зі смертельними наслідком. Випадки загибелі людей, зайнятих у суспільному виробництві, в Україні трапляються частіше, ніж у Великій Британії, в 6 разів, і частіше, ніж у Японії – в 5[2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналізу стану та динаміки виробничого травматизму в Україні, а також основних причин його виникнення і негативних наслідків присвячені праці таких науковців: О. О. Бондарчука, А. П. Деньгіна, А. С. Єсипенко, Ю. І. Кундієва, В. Є. Любимова, А. П. Нагорної, К. А. Паршенка та ін.

Багато вчених присвятили свої дослідження проблемі аналізу причин виробничого травматизму. Так, в роботах Л. Ш. Мелік-Шахназарова, О. О. Сліпко, Г. Є. Дегтяренко наведені методики аналізу, в яких сформульований чіткий алгоритм проведення досліджень: збір та аналіз даних про травматизм; визначення відповідних коефіцієнтів; складання відповідних графіків і аналіз результатів розрахунків;

розроблення профілактичних заходів із зниження рівня травматизму.

Питанням підвищення безпеки праці, аналізу і профілактики травматизму в окремих галузях присвятили свої роботи О. М. Костенко, К. А. Рибалка. На основі фактичного матеріалу вони розглянули питання організації безпечного ведення робіт за окремими технологічними напрямками та запропонували алгоритми проведення комплексного аналізу умов праці і рівня травматизму.

К. Н. Ткачука у своїй роботі розглянув актуальні питання застосування сучасних інформаційних технологій та математичного апарату при вирішенні завдань управління у галузі охорони праці. Він запропонував алгоритми моделювання та прогнозування показників травматизму, а також методику оцінки ефективності управлінської діяльності.

Незважаючи на значний науковий та практичний внесок вітчизняних науковців у вивчення різних аспектів виробничого травматизму і розроблення профілактичних заходів на державному рівні й на рівні підприємств, проблема виробничого травматизму в Україні залишається актуальною та потребує нових підходів до її вирішення.

Мета та завдання дослідження. Загалом проблема зниження виробничого травматизму віднесена Президентом України до категорії особливої державної і суспільної значущості, а її розв'язання – до пріоритетних завдань національної безпеки. Таким чином, метою даної статті є аналіз виробничого травматизму, його причин та особливостей в Україні та виявлення основних шляхів його запобігання на перспективу. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку завдань:

© Т. Ю. Єрічева. 2017

- проаналізувати проблему виробничого травматизму;
- виокремити основні види типових травм на виробництві;
- проаналізувати статистику нещасних випадків та виробничого травматизму в Україні та світі;
- класифікувати основні причини виробничого травматизму.

Виробничий травматизм є досить складним явищем. Небезпечні виробничі ситуації, які породжують нещасні випадки і аварії, формуються під впливом багатьох факторів. Кожний фактор, у свою чергу, може бути джерелом декількох причин, що різною мірою сприяють виникненню небезпечних умов на виробництві. Усі ці причини знаходяться, як правило, у взаємозв'язку і обумовленості. Виявити всі діючі фактори і причини, знайти їх взаємозв'язок, роль і місце в процесі формування небезпечної ситуації – таке завдання аналізу кожного конкретного випадку.

Відсутність часом чіткого уявлення про вплив різних факторів на формування небезпечних умов на виробництві як на стадії розробки, так і в процесі ведення робіт, а також недостатній облік дії окремих факторів майже завжди знову призводить до небезпечних умов на виробництві, а в окремих випадках – до травми.

Нещасний випадок, хоча і зумовлюється випадковим, на перший погляд, збігом обставин, породжується певними факторами.

Нещасний випадок на виробництві – результат дії системи факторів, кожний з яких проявляється у формі різноманітних причин. Ці причини виступають як взаємопов'язані умови, обставини і причини випадку. З іншого боку, нещасний випадок – складна подія (процес), яка відбувається в певний проміжок часу і в обмеженому просторі. Вона складається з ряду елементарних подій, які в ході назрівання небезпечної ситуації криються в причинно-наслідкових зв'язках.

Відомо, що існують ряди явищ двох типів, – причинно-наслідкові, пов'язані причинною залежністю і здатні пересікатися, і ряди, розгалужені паралельні, без будь-яких залежностей і взаємозв'язку. Випадковою називається подія, яка виникла в результаті пересікання явищ, які належать незалежним рядам і утворюються в порядку причинності. Отже, нещасним випадком є випадкова подія як результат суміщення чи пересічення взаємно незалежно причинно-наслідкових ланцюгів. Для здійснення події «нещасний випадок» необхідне пересічення принаймні двох причинно-наслідкових ланцюгів: «утворення небезпечного виробничого фактору» і «вторгнення людини в небезпечну зону».

Таким чином, існуючі методи аналізу травматизму можна поділити на дві групи (за В. А. Ачиним):

Детерміністичні методи – методи, за якими аналіз проводиться з позиції потенційної небезпеки. Задаючись вихідними умовами (наприклад, за результатами обстежень), послідовно розглядають можливі відхилення кожного із факторів у даній

системі (крайні, несприятливі зміни) і вивчають ймовірні наслідки таких відхилень, кваліфікуючи їх як однозначну функцію від заданих крайніх значень факторів.

Детерміністичні методи включають: монографічний, моделювання, анкетування та метод експертних оцінок.

Згідно з ймовірно-статистичними методами – залежність між факторами системи праці і травматизмом встановлюється шляхом вивчення маси (множини) випадкових подій (нещасних випадків) у системі праці. До них відносяться статистичний, груповий та топографічний методи.

Кожній групі методів притаманні свої переваги й недоліки, і на практиці вони доповнюють один одного. Сфера використання методів обмежена, з її допомогою переважно здійснюється якісний аналіз причин травматизму, який дозволяє виявляти найбільш характерні причинно-наслідкові зв'язки між факторами системи праці та основними причинами травматизму, динаміку травматизму за деякий проміжок часу в цілому і за окремими прикметами. Ці методи дають досить задовільні результати для практичних цілей, які ставляться при вивченні причин травматизму на різних рівнях управління виробництвом.

Для більш поглибленого, математично точного кількісного аналізу встановлених якісних зв'язків між факторами системи праці і показниками травматизму використовуються, залежно від кількості досліджуваних факторів, або метод простої кореляції, або дисперсійний аналіз комплексу факторів.

Розглянемо детальніше основні методи аналізу виробничого травматизму. На практиці *статистичний метод* є найбільш поширений [3]. Статистичні дані і виведені на їх основі показники – єдиний засіб кількісної оцінки рівня виробничого травматизму, міра ефективності впровадження технічних та інших заходів, показник діяльності інженерних служб, а також органів нагляду в галузі охорони праці.

Обробка статистичних матеріалів з виробничого травматизму ймовірно-статистичними методами дозволяє обґрунтувати його прогнозування. Основу статистичного методу становить вивчення нещасних випадків за актами форми Н-1.

Абсолютна кількість нещасних випадків, у тому числі з тяжким чи смертельним наслідком, за певний період часу по галузі, організації, установи, окремому технологічному процесу, за професією і т.д., є загальною кількісною характеристикою травматизму. Вивчення абсолютної кількості нещасних випадків може виявитися самостійним завданням при обробці причин травматизму на дільниці чи на підприємстві, при цьому кількість нещасних випадків за аналізований період часу (місяць, квартал, рік) порівнюють з кількістю нещасних випадків, які мали місце в аналогічному попередньому періоді, виявляючи таким чином динаміку травматизму.

Однак числа, які характеризують дані травматизму, самі по собі, взяті окремо від інших виробничих показників, не можуть бути використані

для повної характеристики ступеня небезпеки робіт.

У більшості випадків показники виробничого травматизму, виражені абсолютними числами, не допускають порівняння ступеня небезпеки робіт, наприклад, між окремими організаціями чи технологічними процесами. Для цього абсолютні числа приводять начебто до одного знаменника, тобто відносять до однієї й тієї ж основи, яку становить кількість працівників чи кількість відпрацьованого часу всіма працівниками. Таким чином отримують відносні числа, що характеризують інтенсивність травмування працівників, чи, що є одне й те ж, інтенсивні показники (коефіцієнти) частоти.

Коефіцієнт частоти визначають за загальною кількістю нещасних випадків, пов'язаних з виробництвом, і за травматизмом зі смертельними, рідше з тяжкими наслідками. Однак, показник частоти не дає уявлення про характер травматизму. Тому для оцінки нещасних випадків за середньою тривалістю непрацездатності вираховують відповідний відносний показник - показник важкості.

Серед усіх зазначених статистичних показників немає, однак, такого, який міг би служити єдиним критерієм для оцінки рівня травматизму. Річ у тому, що показник важкості в тому вигляді, як він приймається, не враховує важкості травматизму з інвалідними і смертельними наслідками. Тому показник непрацездатності, у формулу якого входить показник важкості, також не враховує травматизму названих груп і не може служити єдиним критерієм при оцінці рівня травматизму. Такий аналіз не дозволяє виконати прогнозування травматизму для його подальшої профілактики. На нашу думку, для повної його характеристики слід додавати детерміністичні методи аналізу.

Груповий метод аналізу причин виробничого травматизму полягає в статистичній розробці матеріалів за нещасними випадками за окремими однорідними прикметами. Групування нещасних випадків дозволяє розчленити сукупність випадків, які мали місце за деяких проміжок часу, на групи з характерними існуючими прикметами, порівняти кількісні характеристики прикмет і встановити переважний вплив якої-небудь однієї чи декількох прикмет.

Прикметою може бути будь-який фактор і його компоненти, які впливають на безпеку праці. Кожна прикмета може послідовно ділитися на підприкмети залежно від поставленого завдання дослідження. Систематичний аналіз методом групування дозволяє виявити динаміку травматизму за кожною прикметою.

Аналіз травматизму груповим методом здійснюється за допомогою статистичних таблиць - простих, групових і комбінованих. Проста таблиця містить дані за будь-якою однією прикметою, наприклад, кількісний розподіл травм за технічними та організаційними причинами, за професіями, стажем роботи та ін.

Групова таблиця містить групування травм за двома прикметами. При цьому виявляється розподіл травматизму за прикметами залежно від зміни якоїсь

прикмети, наприклад, стажу роботи, при незмінних інших прикметах - професії, віку.

Комбінаційна таблиця використовується для розгляду зв'язків між декількома прикметами. Наприклад, розподіл потерпілих за професіями, виконуваною роботою і кількістю днів непрацездатності у зв'язку з будь-яким фактором травматизму.

Групування нещасних випадків за прикметами дозволяє оцінювати рівень окремих структурних складових травматизму, який не дає уявлення про тенденції його змін.

Топографічний метод є різновидністю групового. Він полягає в тому, що нещасні випадки розподіляються за місцем їх походження. На плані будівельного об'єкта (відділку), де позначені робочі місця і будівельні механізми, чи на плані цеху з позначеннями стаціонарного обладнання і робочих постів умовними індексами систематично позначають усі ті місця, де сталися нещасні випадки.

Зібрана таким чином за більш чи менш тривалий строк інформація служить основою для ретельного обстеження дільниць і робочих місць (особливо тих, де спостерігається зростання кількості випадків травматизму) з метою встановлення причин нещасних випадків і розробки технічних і організаційних заходів з їх усунення.

Метод передбачає однакові, які не змінюються за весь термін спостереження, положення обладнання і обслуговуючого персоналу, однаковий чи принаймні циклічний технологічний процес. Тому в галузях, де на об'єктах постійно змінюється топографія обладнання і робочих місць, його використання обмежене.

При *монографічному методі* передбачається, що фактори, які формують небезпечні й аварійні ситуації, знаходяться в детермінованій залежності. Об'єктом досліджень може бути окремий технологічний чи робочий процес, технологічний пост, робоче місце, окрема машина, верстат, інструмент, а також окремий випадок травмування чи аварії.

Суть методу полягає в тому, що, виходячи з певних конкретних даних і технологічного чи робочого процесу, виробничої обстановки і т.п., послідовно розглядаються можливі в заданих умовах найбільш несприятливі з погляду безпеки збіги цих факторів, які впливають на формування небезпечних і аварійних ситуацій. При аналізі окремих випадків травмування встановлюється несприятливий збіг цих факторів, виходячи із обстановки пригоди.

Аналіз окремих нещасних випадків здійснюється разом з ретельним дослідженням причин під час розслідування нещасного випадку. При монографічному методі аналізу використовується системний підхід. Він полягає в тому, що нещасний випадок розглядається як система, елементи якої - взаємопов'язані умови, обставини і причини події, що аналізується. Основним завданням при системному підході до аналізу окремого випадку травмування є визначення у взаємозв'язку факторів, що впливають на формування небезпечної ситуації, і виявлення на цій основі технічних і організаційних причин нещасного випадку.

В загальному вигляді взаємозв'язок факторів

травматизму при формуванні події «нещасний випадок» має такий вигляд:

- нещасний випадок - загальні відомості про час і місце пригоди;
- потерпілий - загальні відомості про потерпілого;
- професійна підготовленість;
- психофізіологічний фактор - стан потерпілого в момент нещасного випадку;
- соціальні фактори;
- морально-суб'єктивний фактор - поведінка потерпілого;
- небезпечний виробничий фактор;
- технічний фактор;
- природні фактори;
- організаційні фактори.

На підставі результатів аналізу розробляються заходи з ліквідації виявлених небезпек у даних виробничих умовах чи в аналогічних умовах.

Матеріали монографічних досліджень дають необхідні відомості для удосконалення технологічних і трудових процесів, уточнення принципів проектування машин, механізмів, інструментів, оснащення, огорож, а також монтажних конструкцій з погляду їх технологічності. Вони беруться за основу при складанні інструкцій, правил, плакатів і обов'язкових постанов з техніки безпеки.

Монографічний метод аналізу дозволяє найбільш повно виявити причини травматизму чи потенційної небезпеки і є одним із основних методів, які використовуються. Разом з тим, цей метод ускладнює комплексні дослідження аварійності та травматизму в цілому по господарству та галузі.

Метод анкетування чи письмового опитування дозволяє, по-перше, зібрати інформацію від безпосередніх виконавців про організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні і психофізіологічні фактори травматизму і, по-друге, дістати конкретні пропозиції про поліпшення умов праці від самих опитуваних робітників та інженерно-технічних працівників.

Як показує практика, метод анкетування служить також засобом залучення широких мас трудящих до виявлення й усунення організаційних і технічних недоліків і порушень з техніки безпеки. Опитування сприяє високій активності робітників у виявленні «вузьких місць», які стосуються подальшої механізації й автоматизації окремих операцій вузлів, трудомістких і небезпечних робіт, поліпшення умов праці.

Склад питань анкети залежить від поставленого завдання, специфіки виробництва, кількості опитуваних, методу обробки анкет.

Анкетування дозволяє досить швидко визначити потенційні причини травматизму, а також дає багато конкретних пропозицій щодо їх усунення. Проте, на нашу думку, для повноти аналізу цей метод повинен бути доповнений іншими методами аналізу травматизму.

Метод експертних оцінок (опитування спеціалістів). Використовується, якщо лише статистичних даних недостатньо чи їх неможливо дістати. Ці методи припускають роботу спеціалістів-

експертів з обговорення проблеми та випробування по ній рішення-рекомендації. Достовірність експертних оцінок ґрунтується на припущенні, що у випадку узгодження дій експерта достовірність оцінок гарантується.

Експертиза здійснюється груповим методом чи шляхом формування індивідуальних оцінок (думок) експертів. Індивідуальний метод являє собою анкетне опитування спеціалістів, яке проводиться в один тур шляхом одноразового заповнення анкет, і експертне опитування, яке проводиться в декілька турів шляхом багаторазового заповнення анкет експертами з метою послідовного уточнення оцінок.

Аналіз існуючих методів свідчить про те, що кожен з них має свої суттєві недоліки і не може вважатись універсальним. Але використання одночасно декількох методів дозволяє провести ефективний аналіз і здійснювати прогнозування травматизму.

Для покращення аналізу доцільно поєднувати статистичний метод з моделюванням причинних зв'язків, топографічним методами; груповий метод аналізу – з методом експертних оцінок.

Висновки. Аналіз травматизму, тобто пізнання й виявлення його причин, розширює коло інженерних, санітарно-гігієнічних, психофізіологічних і правових знань, дозволяє поглянути на звичний виробничий процес по-новому і відкрити в ньому певні закономірності прояву небезпек. Результати аналізу дозволяють шукати заходів, необхідних для попередження травматизму, що зрештою допомагає удосконалити окремі види робіт, технологічних ліній. У зв'язку з цим, важливо удосконалювати, розширювати загальні підходи і методи вивчення виробничого травматизму у відповідності до існуючих соціально-економічних умов.

Список літератури:

1. Дегтяренко, Г. Є. Стан невиробничого травматизму в Україні [Текст] / Г. Є. Дегтяренко, Н. В. Романенко, В. І. Лесковець // Вісник Національного науково-дослідного інституту охорони праці. – 2004. – № 7. – С. 33–35.
2. Єсипенко, А. С. Дослідження динаміки змін і тенденцій стану умов та безпеки праці в Україні [Текст] / А. С. Єсипенко, Т. Н. Таїрова // Проблеми охорони праці в Україні. – 2011. – Вип. 21. – С. 111–118.
3. Жидецький, В. Ц. Основи охорони праці [Текст] / В. Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2002. – 360 с.
4. Костенко, О. М. Удосконалення методів і засобів з комплексного аналізу, прогнозу та попередження виробничого травматизму у сільськогосподарському виробництві [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. М. Костенко. – Київ, 2002. – 24 с.
5. Мелік-Шахназаров, Л. Ш. Дослідження виробничого травматизму в Україні [Текст] / Л. Ш. Мелік-Шахназаров, Т. О. Попова // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – 2006. – Вип. 3. – С. 9–13.
6. Рибалка, К. А. Підвищення безпеки праці при реконструкції одноповерхових промислових будівель [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. А. Рибалка. – Дніпропетровськ, 2009. – 20 с.
7. Сліпко, О. О. Комплексний аналіз виробничого травматизму й заходів щодо упередження нещасних випадків на підприємствах вугільної, гірничорудної та нерудної промисловості України [Текст] / О. О. Сліпко, Ю. В. Дучкіна // Інформаційний бюлетень з охорони праці. – 2006. – Вип. 4. – С. 7–20.

8. Ткачук, К. Н. Прогнозування виробничого травматизму [Текст]: монографія / К. Н. Ткачук, О. Є. Кружилько. – К.: Основа, 2014. – 345 с.
9. Zaikina, D. Development of the unified technique for the monitoring of occupational hazards at Kryvbas mining enterprises (Ukraine) [Text] / D. Zaikina // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, Issue 10 (87). – P. 18–27. doi: [10.15587/1729-4061.2017.101657](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101657)
10. Осица, В. Геоінформаційна система оцінки еколого-туристичної ситуації в регіоні [Текст] / В. О. Осица, Ю. Форкун, Г. А. Білецька // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – Т. 2, № 6 (44). – С. 51–54. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2686/2492>
5. Melik-Shakhnazarov, L. Sh., Popova, T. O. (2006). Doslidzhennia vyrobnychoho travmatyzmu v Ukraini. Informatsiinyi biuleten z okhorony pratsi, 3, 9–13.
6. Rybalka, K. A. (2009). Pidvyshchennia bezpeky pratsi pry rekonstruktsii odnopoverkhovykh promyslovyykh budivel. Dnipropetrovsk, 20.
7. Slipko, O. O., Duchkina, Yu. V. (2006). Kompleksnyi analiz vyrobnychoho travmatyzmu y zakhodiv shchodo uperedzhennia neshchasnykh vypadkiv na pidpriemstvakh vuhilnoi, himychorudnoi ta nerudnoi promyslovosti Ukrainy. Informatsiinyi biuleten z okhorony pratsi, 4, 7–20.
8. Tkachuk, K. N., Kruzhylo, O. Ye. (2014). Prohnozuvannia vyrobnychoho travmatyzmu. Kyiv: Osнова, 345.
9. Zaikina, D. (2017). Development of the unified technique for the monitoring of occupational hazards at Kryvbas mining enterprises (Ukraine). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (10 (87)), 18–27. doi: [10.15587/1729-4061.2017.101657](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101657)
10. Osiyko, V. O., Forkun, Yu., Biletska, H. A. (2010). Geoinformation system of an estimation of ecological-touristic situation in region. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (6 (44)), 51–54. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2686/2492>

Bibliography (transliterated):

1. Dehtiarenko, H. Ye., Romanenko, N. V., Leskovets, V. I. (2004). Stan nevyrobnychoho travmatyzmu v Ukraini. Visnyk Natsionalnoho naukovo-doslidnoho instytutu okhorony pratsi, 7, 33–35.
2. Yesypenko, A. S., Tairova, T. N. (2011). Doslidzhennia dynamiky zmin i tendentsii stanu umov ta bezpeky pratsi v Ukraini. Problemy okhorony pratsi v Ukraini, 21, 111–118.
3. Zhydetskyi, V. Ts. (2002). Osnovy okhorony pratsi. Lviv: Afisha, 360.
4. Kostenko, O. M. (2002). Udoshkonalennia metodiv i zasobiv z

Надійшла (received) 11.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Виробничий травматизм: актуальні аспекти та методи аналізу причин/ Єрічева Т. Ю. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.131–135. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Производственный травматизм: актуальные аспекты и методы анализа причин/ Еричева Т. Ю. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.131–135. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Occupational injury: actual aspects and methods of causation analysis/ Yericheva T. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.131–135. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Єрічева Тамара Юрійівна – ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401; valeologiya406@mail.ru; tamarae.richeva@gmail.com.

Еричева Тамара Юрьевна – ГВУЗ «Переяслав-Хмельницький государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», старший преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ул. Сухомлинского, 30, г.Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401; valeologiya406@mail.ru; tamarae.richeva@gmail.com.

Yericheva Tamara – GVUZ «Pereyaslav-Khmel'nitskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet imeni Grigoriya Skovorody», starshiy prepodavatel' kafedry mediko-biologicheskikh distsiplin i valeologii, str. Sukhomlinskogo, 30, Pereyaslav-Khmel'nitskiy, Ukraina, 08401; valeologiya406@mail.ru; tamarae.richeva@gmail.com.

*О. М. МИЗДРЕНКО, Н. І. ГОДУН, Н. А. ХАРЧЕНКО***ПАРАМЕТРИ МІКРОКЛІМАТУ: ЇХ НОРМУВАННЯ ТА ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ**

Розглядається вплив параметрів мікроклімату на самопочуття людини в процесі виробничої діяльності. Зокрема, описано механізми фізичної та хімічної терморегуляції, як прояву адаптаційних можливостей організму. Визначено оптимальні та допустимі параметри мікроклімату робочої зони. Представлено методи нормування основних мікрокліматичних показників виробничого середовища для уникнення явищ, які негативно позначаються на здоров'ї працюючих. Охарактеризовано посилення негативного впливу шкідливих та небезпечних чинників на гігієнічні показники й санітарний стан умов праці людини.

Ключові слова: допустимий та оптимальний мікроклімат, температура, вологість, швидкість руху повітря, терморегуляція.

Рассматривается влияние параметров микроклимата на самочувствие человека в процессе производственной деятельности. В частности, описаны механизмы физической и химической терморегуляции, как проявления адаптационных возможностей организма. Определены оптимальные и допустимые параметры микроклимата рабочей зоны. Представлены методы нормирования основных микроклиматических показателей производственной среды во избежание явлений, которые негативно сказываются на здоровье работающих. Охарактеризованы усиления негативного влияния вредных и опасных факторов на гигиенические показатели и санитарное состояние условий труда человека.

Ключевые слова: допустимый и оптимальный микроклимат, температура, влажность, скорость движения воздуха, терморегуляция.

The influence of microclimate parameters on a person's well-being in the process of production activity is considered. In particular, the mechanisms of physical and chemical thermoregulation are described as manifestations of the adaptive capabilities of the organism. Optimum and admissible parameters of the microclimate of the working zone are determined. The methods of normalizing the main microclimatic indices of the production environment are presented to avoid phenomena that negatively affect the health of workers. The intensification of negative influence of harmful and dangerous factors on hygienic indicators and sanitary condition of human labor conditions is characterized. In the field of industrial sanitation, the normalization of microclimate parameters is very important. At enterprises for health, the state of human health is influenced by the microclimate of industrial premises, which is determined by the effect on the human body of temperature, humidity, air mobility and thermal radiation. The industrial microclimate, as a rule, is characterized by considerable variability, horizontal and vertical unevenness, a variety of combinations of temperature, humidity, air mobility, radiation intensity, depending on the features of production technology, climatic features of the terrain, constructions of structures, organization of air exchange with the external environment.

Keywords: permissible and optimal microclimate, temperature, humidity, speed of air movement, thermoregulation.

Вступ. Під час праці людина перебуває під дією цілого ряду факторів, які можуть викликати небажані наслідки, наприклад, надмірне підвищення або зниження температури тіла, підвищення тиску. Для зменшення впливу таких факторів і забезпечення сталості значень характеристик життєдіяльності організму включаються механізми адаптації, що дає змогу людині пристосуватися до несприятливого впливу санітарно-гігієнічних факторів (звичайно, якщо вони не виходять за певні межі). Це досягається за допомогою додаткових витрат м'язової та нервово-психічної енергії, що в свою чергу призводить до відволікання внутрішніх ресурсів працюючого від основного трудового процесу, несприятливо впливає на психофізіологічний стан людини, її працездатність і, як наслідок, відбивається на техніко-економічних показниках підприємства.

Виробниче середовище в умовах сучасних методів господарювання характеризується посиленням негативним впливом шкідливих та небезпечних чинників на гігієнічні показники й санітарний стан умов праці, а відтак і на організм людини. Подолання цього явища веде до зниження рівня професійних захворювань, до зміцнення здоров'я працюючих, що забезпечується системою соціально-економічних заходів. У здійсненні цього завдання велику роль відіграє гігієна як профілактична наука та санітарія як її практичне втілення [2].

Сфера дії виробничої санітарії – запобігання професійної небезпеки, яка може призвести до професійних або професійно обумовлених захворювань в тому числі і смертельних при дії в процесі роботи таких факторів як випромінювання електромагнітних полів, іонізуючого випромінювання, шумів, вібрацій,

хімічних речовин, зниженої чи підвищеної температури, тощо.

Параметри, що визначають метеорологічні умови на кожному робочому місці, як окремо, так і в різних сполученнях, впливають на функціональну діяльність людини, її самопочуття, здоров'я і є одними з найважливіших показників санітарно-гігієнічних умов праці. Так, збільшення швидкості руху повітря зменшує несприятливий вплив високих але збільшує вплив низьких температур. Збільшення відносної вологості повітря вище нормативних значень збільшує негативну дію як зниженої, так і підвищеної температури [5].

Таким чином, сполучення різних значень параметрів мікроклімату робочої зони створює ряд метеорологічних умов, що по-різному позначаються на фізіологічних процесах протікання життєвих функцій організму людини. Нормальний перебіг фізіологічних процесів, а отже, і хороше самопочуття можливе лише тоді, коли тепло, що виділяється організмом людини, постійно відводиться в навколишнє середовище. Мікрокліматичні умови, які забезпечують цей процес, вважаються найкращими. У разі незадовільних мікрокліматичних умов у організмі людини починають відбуватися різні процеси, спрямовані на регулювання теплоутворення і тепловіддачі.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Санітарними нормами передбачені допустимі мікрокліматичні умови, за яких зміни функціонального стану організму і напруження реакцій терморегуляції не виходять за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. Дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття і зниження працездатності повинні швидко нормалізуватися і не призводити до погіршення здоров'я працівників. Вивчення цього питання набуває особливості

значимості в умовах сьогодення коли спостерігаються тенденції до погіршення стану здоров'я працюючих.

Вирішення цих проблем та перспективи їх вирішення неможливі без наукових досліджень у цьому напрямку. Питання нормування параметрів мікроклімату розглядається в ряді підручників з охорони праці, гігієни праці фізіології праці та виробничої санітарії за авторством М. П. Гандзюка [1], В. І. Заїченко [3], В. В. Зацарного [8], В. Ц. Жидецького [2], Я. В. Крушельницької [6], І. М. Трахтенберга [10], К. Н. Ткачука [9] та ін. Проте, сьогодні особливої актуальності набуває детальне вивчення цього питання як окремого фактору, що визначає не лише працездатність людини, а й стан її здоров'я в майбутньому.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення впливу мікроклімату на стан здоров'я працюючих. Завдання дослідження є обґрунтування дотримання оптимальних та допустимих параметрів мікроклімату для уникнення процесів порушення терморегуляції під час виробничої діяльності.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Описати основні параметри мікроклімату виробничих приміщень та визначити їх вплив на здоров'я працюючих;

2. Висвітлити основні методи нормування мікрокліматичних умов та заходи й засоби захисту працюючих при недопустимих параметрах мікроклімату.

Мікроклімат виробничих приміщень — це умови внутрішнього середовища цих приміщень. Як фактор виробничого середовища, мікроклімат впливає на теплообмін організму людини з цим середовищем і, таким чином, визначає тепловий стан організму людини в процесі праці. При виконанні роботи в організмі людини відбуваються певні фізіологічні (біологічні) процеси, інтенсивність яких залежить від загальних затрат енергії на виконання робіт і які супроводжуються тепловим ефектом і завдяки яким підтримується функціонування організму. Частина цього тепла споживається самим організмом, а надлишки тепла повинні відводитись в оточуюче організм середовище.

Значний вплив на організм людини, що працює, її працездатність створює мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях. Метеорологічні умови характеризуються температурою, відносною вологістю і швидкістю руху повітря, а також інтенсивністю теплового випромінювання (в приміщеннях і замкнутих просторах — нагрітих предметів, на відкритому повітрі — сонячної радіації). Метеорологічні умови, що відносяться до якої-небудь обмеженої території (населений пункт, цех, кабіна машини і т.п.), називають мікрокліматом. Мікроклімат виробничих приміщень — це умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням. Як фактор виробничого середовища, мікроклімат впливає на теплообмін організму людини з цим середовищем і, таким чином, визначає тепловий стан організму людини в процесі праці.

Несприятливе поєднання параметрів мікроклімату може викликати перенапруження механізмів терморегуляції, перегрів або переохолодження організму.

Терморегуляція — це здатність організму за мікрокліматичних умов, що змінюються, різної тяжкості праці, залежно від виду одягу регулювати теплообмін з навколишнім середовищем, підтримувати температуру тіла на постійному рівні ($36,6 \pm 0,5^\circ\text{C}$). Регулювання теплообміну здійснюється шляхом зміни кількості теплоти (хімічна терморегуляція), що виробляється в організмі, і шляхом збільшення або зменшення передачі її в навколишнє середовище (фізична терморегуляція). При пониженні температури збільшується вироблення тепла і зменшується тепловіддача, а при підвищенні — навпаки. В комфортних умовах кількість теплоти, що виробляється, за одиницю часу дорівнює кількості відданої теплоти. Такий стан називається тепловим балансом організму [5-6]. На зміну мікроклімату в першу чергу реагує фізична терморегуляція. Хімічна терморегуляція по своїх об'ємах невелика і підключається лише в тих випадках, коли фізична терморегуляція не забезпечує теплового балансу. Теплота виробляється всіма органами, але в основному печінкою і м'язами при виконанні фізичної роботи. Віддача теплоти здійснюється випромінюванням з відкритих ділянок шкіри і через одяг у напрямі холодніших предметів, конвекцією (безпосереднім нагрівом повітря шкірою людини), випаровуванням. Частина теплоти витрачається на нагрів повітря що вдихається, контактну теплопередачу (кондукцію) при зіткненні з холоднішими поверхнями. Кількість теплоти, що віддається випромінюванням, конвекцією і кондукцією, визначається різницею температур шкіри і навколишніх предметів, повітря: чим вище ця різниця, тим більше віддача. При рівності температур теплопередача припиняється, при негативній різниці (температура навколишнього середовища вища за температуру шкіри) відбувається не віддача, а прийом теплоти. В цих умовах єдиний шлях тепловіддачі — потовиділення [8].

При значних відхиленнях параметрів зовнішнього середовища від комфортних і їх тривалій дії межі терморегуляції можуть бути вичерпані і організм людини почне перегріватися або переохолоджуватися. Перегрів настає при високій температурі повітря (головний чинник), його низькій рухливості, високій відносній вологості, підвищеній тепловій радіації. Відносна вологість — це відношення абсолютної вологості повітря (г/м^3) до максимально можливої при даних температури і атмосферного тиску, виражене у відсотках. Вона збільшується з пониженням температури і підвищенням атмосферного тиску. Підвищена вологість (більше 75-80%) при високих температурах перешкоджає потовиділенню та приводить до перегріву організму. При перегріві частішають пульс, частота дихання, з'являються слабкість, головний біль, підвищується температура тіла (підвищення її на 1°C вже викликає побоювання, а на $3-4^\circ\text{C}$ і більше загрожує тепловим ударом). Перегрів супроводжується рясним потовиділенням. В організмі дорослої людини міститься 66-70% води. Втрата 1-2 % її викликає підвищену спрагу, 5% — затьмарення свідомості, галюцинації, 20-25 % — смерть. Виділення поту відбувається постійно. За добу людина навіть в стані спокою втрачає 0,7-1 л вологи. При важкій фізичній роботі та ви-

сокій температурі випаровування може досягати 1,7 л/ч (до 10–12 л за зміну). Разом з потом з організму виводяться солі натрію, калію, кальцію, фосфору (2,5–5,6 г/л), мікроелементи (мідь, цинк, йод), водорозчинні вітаміни В, В₁, В₂ та інші, знижується шлункова секреція [5]. Переохолодження може відбуватися при низькій температурі, особливо в поєднанні з високою вологістю і рухливістю повітря (підвищена вологість збільшує теплопровідність повітря, а висока швидкість його руху руйнує термоізоляційний прошарок повітря завтовшки 4–8 мм, існуючий між шкірою або одягом і зовнішнім середовищем, збільшуючи тепловіддачу організму). При переохолодженні знижується температура тіла, звужуються кровоносні судини, порушується робота серцево-судинної системи, можливі простудні захворювання. Параметри мікроклімату впливають на працездатність людини. Як при перегріві, так і при переохолодженні виникає швидке стомлення, знижується продуктивність праці. При низькій температурі продуктивність праці на деяких роботах знижується до 13 % [6]. Санітарними нормами встановлені оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості, швидкості руху повітря з урахуванням тяжкості виконуваної роботи і періодів року. Оптимальні мікрокліматичні норми характеризуються поєднанням таких параметрів, які забезпечують збереження нормального теплового стану організму без включення механізмів терморегуляції, створюють відчуття теплового комфорту і передумови високої працездатності. Допустимі мікрокліматичні норми характеризуються таким поєднанням значень параметрів мікроклімату, які можуть викликати зміну теплового стану організму, що супроводжується включенням механізмів терморегуляції, що не виходить за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому стан здоров'я не порушується, але можуть спостерігатися дискомфорт, погіршення самопочуття і пониження працездатності. Допустимі норми встановлюють в тих виробничих приміщеннях, в яких з технологічних, технічних і економічних причин неможливо забезпечити оптимальні норми. Нормативи встановлені для теплового (середньодобова температура повітря вище 10°C) і холодного (середньодобова температура повітря 10°C і нижче) періодів року. У деяких випадках значення параметрів мікроклімату на робочих місцях сільськогосподарських об'єктів, машин і знарядь виходять за межі не тільки оптимальних, але і допустимих. Для приведення їх до нормативних, використовують системи повітрообміну, опалювання, кондиціонування. Санітарно-гігієнічна і енергетична ефективність таких систем багато в чому залежить від правильного вибору схеми організації повітрообміну і способу розподілу повітря, що визначається типом повітророзподільного пристрою і місцем його розміщення. Вибір значення температури повітря, як параметра, безпосередньо пов'язаного з витратами теплоти та холоду на обробку повітря, залежить від способу розподілу повітря. Невдала організація повітрообміну на робочому місці, невдалий вибір повітророзподільних пристроїв, неправильний або невірний розрахунок при проектуванні зводить нанівець всі інженерні рішення за сис-

темою опалення, підвищує енергоспоживання, виключає досягнення основної мети – забезпечення комфортних умов для людей і необхідних параметрів для технологічного процесу при якнайменших матеріальних і енергетичних витратах [7,8].

Параметри мікроклімату нормуються в залежності від: періоду року; категорії робіт; технологічного процесу.

Для нормування параметрів мікроклімату календарний рік поділяється на два періоди:

- холодний період – період року, коли середньодобова температура зовні приміщення нижча за +10°C;

- теплий – коли середньодобова температура зовні приміщення становить +10°C і вище [4].

За важкістю та енерговитратами роботи класифікують на такі категорії:

I категорія – легка, роботи, що виконуються сидячи (I а), стоячи, або пов'язані із ходьбою, але не потребують систематичного напруження або піднімання та перенесення вантажів (I б); енерговитрати за таких робіт відповідно складають 105-140 Дж/с (I а) та 138-174 Дж/с (I б). Це роботи користувачів комп'ютерів, основні процеси точного приладобудування.

II категорія – роботи середньої важкості, що виконуються сидячи, стоячи, або пов'язані із ходьбою, але не потребують перенесення вантажів (II а) та роботи, пов'язані із ходьбою і перенесенням вантажів вагою до 10 кг (II б); енерговитрати відповідно складають 175–232 Дж/с (II а) та 232-290 Дж/с (II б). Це роботи у механоскладальних, механічних цехах.

III категорія – важкі роботи, пов'язані з перенесенням вантажів, вагою понад 10 кг і систематичним напруженням; енерговитрати – більше 290 Дж/с. Це роботи у ковальських цехах з ручною ковкою, немеханізовані роботи у ливарних цехах тощо [6].

Оптимальні умови мікроклімату, як правило, досягаються за умов використання промислових кондиціонерів. Оптимальні параметри мікроклімату повинні підтримуватись в приміщеннях, пов'язаних з виконанням нервово-емоційних робіт, що потребують підвищеної уваги (диспетчерські, приміщення, де працюють із комп'ютерами, кабінети діагностики, пульти управління технологічними процесами, хімічні лабораторії, бухгалтерії, конструкторські бюро і т.д.).

Для таких робіт оптимальна температура повітря – +22 – +24°C; його відносна вологість – 40-60%; швидкість руху – не більше 0,1 м/сек. Перелік інших виробничих приміщень, у яких повинні вимагатись оптимальні норми мікроклімату, визначається галузевими документами, погодженими із органами санітарного нагляду у встановленому порядку [2].

Допустимі значення показників мікроклімату встановлюються у випадках, коли за технологічними вимогами, технічними та економічними причинами не можна забезпечити оптимальні норми.

Виміри показників мікроклімату повинні проводитись на початку, в середині і в кінці холодного і теплого періодів року, не менше трьох разів за робочу зміну. При коливаннях показників мікроклімату, пов'язаних з технологічними процесами та іншими причинами, виміри необхідно проводити також при

найменших і найбільших значеннях термічних навантажень на працюючих, що мають місце протягом робочої зміни.

Вимірювання параметрів мікроклімату проводяться на робочих місцях і в робочій зоні на початку, в середині та в кінці робочої зміни. При коливаннях мікрокліматичних умов, пов'язаних з технологічним процесом та іншими причинами, вимірювання проводяться з урахуванням найбільших і найменших величин термічних навантажень протягом робочої зміни.

Вимірювання здійснюються не менше 2-х разів на рік (теплий та холодний періоди року) у порядку поточного санітарного нагляду, а також при прийманні до експлуатації нового технологічного устаткування, внесенні технічних змін в конструкцію діючого устаткування, організації нових робочих місць тощо.

При проведенні вимірювання в холодний період року температура зовнішнього повітря не повинна бути вищою за середню розрахункову температуру, в теплий період – не нижчою за середню розрахункову температуру, що приймається для опалення та кондиціонування за оптимальними та допустимими параметрами.

Вимірювання параметрів мікроклімату на робочих місцях проводяться на висоті 1,0 м (для сидячих робіт) і 1,5 м (для стоячих робіт) від підлоги, або робочого майданчика [2].

За наявності кількох джерел інфрачервоного випромінювання або джерел великої площі вимірювання інфрачервоного випромінювання на робочому місці проводиться у напрямку максимуму потоку від джерела. Вимірювання здійснюється через кожні 30 – 40° навколо робочого місця для визначення максимального опромінення (приймач приладу розташовується перпендикулярно падаючому потоку енергії).

Температура та відносна вологість повітря вимірюються приладами, дія яких ґрунтується на психрометричних принципах. Можливе використання тижневих і добових термографів і гігрографів.

Швидкість руху повітря вимірюється анеометрами ротаційної дії. Малі величини швидкості руху повітря (менше 0,3 м/сек.), особливо за наявності різноспрямованих потоків, вимірюються електроанеометрами, циліндричними або кульовими кататермометрами.

Температура поверхонь огорожувальних конструкцій (стін, стелі, підлоги) або обладнань (екранів і т.ін.), зовнішніх поверхонь технологічного устаткування вимірюються приладами, що діють за принципом термоелектричного ефекту [4, 6].

Інтенсивність теплового опромінення вимірюється приладами з чутливістю в інфрачервоному діапазоні, що діють за принципами термо-, фотоелектричного та інших ефектів, або визначається розрахунковим методом за температурою джерела.

За кількістю надлишкового тепла, що надходить у робочу зону від устаткування і впливає на зміну температури в робочій зоні, виробничі приміщення поділяються на холодні (рівень надлишкового тепла до 20 ккал/год на 1 м³ приміщення) і гарячі – рівень надлишкового тепла вище 20 ккал/год на 1 м³. У цих випадках виконується нормування параметрів мікрок-

лімату з урахуванням і температури тепловипромінюючих поверхонь.

У принципі, теплове опромінення працюючих не повинне перевищувати 35 Вт/м³. При більш високих рівнях опромінення повинні застосовуватися відповідні засоби захисту працюючих.

Заходи й засоби захисту працюючих при недопустимих параметрах мікроклімату поділяються на організаційні заходи та технічні колективні та індивідуальні засоби.

До організаційних заходів відносяться автоматизація, дистанційне керування технологічними процесами; кімнати реабілітації; чергування часу роботи й відпочинку, надбавки за роботу в умовах з недопустимими параметрами мікроклімату [9].

Як технічні колективні засоби захисту застосовують екрани, засновані на принципах відбиття, поглинання, тепловідведення; повітряні, водяні душі, завіси.

До індивідуальних засобів захисту відносяться спеодяг; окуляри з світлофільтрами, що відповідають спектрові ІЧ-випромінювань, який орієнтовно визначається за температурою випромінюючої поверхні/

Висновки. Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою комплексу заходів та способів, які включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні та інші заходи колективного захисту. Для профілактики перегрівань та переохолоджень робітників використовуються засоби індивідуального захисту, медико-біологічні тощо.

Нормовані параметри мікроклімату на робочих місцях повинні бути досягненні, в першу чергу, за рахунок раціонального планування виробничих приміщень і оптимального розміщення в них устаткування з тепло-, холоду та вологовиділеннями. Для зменшення термічних навантажень на працюючих передбачається максимальна механізація, автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами і устаткуванням.

У приміщеннях із значними площами застелених поверхонь передбачаються заходи захисту від перегрівання при попаданні прямих сонячних променів в теплий період року (орієнтація віконних прорізів схід-захід, улаштування жалюзі та ін.), від радіаційного охолодження – в зимовий (екранування робочих місць). При температурі внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, вище допустимих величин, робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

У виробничих приміщеннях з надлишком явного тепла використовують природну вентиляцію (аерацію). Аераційні ліхтарі та шахти розташовують безпосередньо над основними джерелами тепла на одній осі. У разі неможливості або неефективності аерації встановлюють механічну загально-обмінну вентиляцію. При наявності поодиноких джерел тепловиділень оснащують обладнання місцевою витяжною вентиляцією у вигляді локальних відсмоктувачів, витяжних зонтів та ін.

У замкнених і невеликих за об'ємом приміщеннях (кабіни кранів, пости та пульти керування, ізолювані бокси, кімнати відпочинку тощо) при виконанні операторських робіт використовують системи кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається.

При наявності джерел тепловипромінювання вживають комплекс заходів з теплоізоляції устаткування та нагрітих поверхонь за допомогою теплозахисного обладнання.

Вибір теплозахисних засобів обумовлюється інтенсивністю тепловипромінювання, а також умовами технологічного процесу.

При неможливості технічними засобами забезпечити допустимі гігієнічні нормативи опромінення на робочих місцях використовуються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) — спецодяг, спецвзуття, ЗІЗ для захисту голови, очей, обличчя, рук.

Доцільно в умовах підвищеної температури на робочих місцях працівникам вживати газовану підсолону (0,5 %) воду. Це запобігає втратам води організмом, а також необхідних для людини солей та мікроелементів. Одночасно, рекомендується підвищувати споживання білкової їжі. Ці заходи покращують самопочуття та працездатність робітників в умовах дії підвищеної температури на робочих місцях.

Список літератури:

1. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці [Текст]: підр. / М. П. Гандзюк, С. П. Желібо, М. О. Халімовський. – К.: Каравела, 2006. – 392 с.
2. Жидецький, В. Ц. Основи охорони праці [Текст]: навч. пос. / В. Ц. Жидецький. – К.: Основа, 2003. – 151 с.

3. Заїченко, В. І. Курс лекцій з дисципліни «Виробнича санітарія» [Текст] / В. І. Заїченко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 162 с.
4. Закон України «Про охорону праці» [Текст]. – К., 2002. – 46 с.
5. Керб, Л. П. Основи охорони праці [Текст]: навч. пос. / Л. П. Керб. – К.: КНЕУ, 2003. – 215 с.
6. Крушельницька, Я. В. Фізіологія і психологія праці [Текст]: підр. / Я. В. Крушельницька. – К.: КНЕУ, 2003. – 367 с.
7. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [Текст]. – Міністерство охорони здоров'я, 1999. – № 42.
8. Ткачук, К. Н. Виробнича санітарія [Текст]: навч. пос. / К. Н. Ткачук, С. Ф. Каштанов, В. В. Зацарний, К. К. Ткачук. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 323 с.
9. Ткачук, К. Н. Основи охорони праці [Текст]: підр. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний. – К.: Основа, 2006. – 444 с.
10. Трахтенберг, І. М. Гігієна праці та виробнича санітарія [Текст] / І. М. Трахтенберг, М. М. Коршун, О. В. Чебанова. – К.: Основа, 1997. – 464 с.

Bibliography (transliterated):

1. Handziuk, M. P., Zhelibo, Ye. P., Khalimovskiy, M. O. (2006). Osnovy okhorony pratsi. Kyiv: Karavela, 392.
2. Zhydetskiy, V. Ts. (2003). Osnovy okhorony pratsi. Kyiv: Osнова, 151.
3. Zaichenko, V. I. (2014). Kurs lekttsii z dystsypliny «Vyrobnycha sanitariia». Kharkiv: KhNUMH, 162.
4. Zakon Ukrainy «Pro okhoronu pratsi» (2002). Kyiv, 46.
5. Kerb, L. P. (2003). Osnovy okhorony pratsi. Kyiv: KNEU, 215.
6. Krushelnyska, Ya. V. (2003). Fiziologia i psikhologia pratsi. Kyiv: KNEU, 367.
7. Sanitarni normy mikroklimatu vyrobnychkykh prymyshchen DSN 3.3.6.042-99 (1999). Ministerstvo okhorony zdorovia, No. 42.
8. Tkachuk, K. N., Kashtanov, S. F., Zatsarniy, V. V., Tkachuk, K. K. (2009). Vyrobnycha sanitariia. Kyiv: NTUU «KPI», 323.
9. Tkachuk, K. N., Khalimovskiy, M. O., Zatsarniy, V. V. (2006). Osnovy okhorony pratsi. Kyiv: Osнова, 444.
10. Trakhtenberh, I. M., Korshun, M. M., Chebanova, O. V. (1997). Hihiena pratsi ta vyrobnycha sanitariia. Kyiv: Osнова, 464.

Надійшла (received) 17.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Параметри мікроклімату: їх нормування та вплив на здоров'я людини/ Миздренко О. М., Годун Н. І., Харченко Н. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.136–141. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Параметры микроклимата: их нормирование и влияние на здоровье человека/ Миздренко О. М., Годун Н. И., Харченко Н. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.136–141. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Parameters of microclimate: their normalization and influence on human health/ Mizdrenko O., Godun N., Kharchenko N. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.136–141. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Миздренко Оксана Миколаївна – кандидат історичних наук, старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401; valeologiya406@ukr.net.

Годун Наталія Іванівна – кандидат історичних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401.

Харченко Наталія Анатоліївна – викладач кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401.

Миздренко Оксана Николаевна – кандидат исторических наук, старший преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401; valeologiya406@ukr.net.

Годун Наталья Ивановна – кандидат исторических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401.

Харченко Наталья Анатольевна – преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий Киевской обл., Украина, 08401.

Godun Natalia – PhD, associate professor of the department of medical and biological disciplines and valeology, State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnitsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda", st. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnitsky, Kyiv region, Ukraine, 08401; valeologiya406@ukr.net.

Mizdrenko Oksana – PhD, Senior Lecturer of the Department of Medical and Biological Disciplines and Valeology, State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnitsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda", st. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnitsky, Kyiv region, Ukraine, 08401.

Kharchenko Natalia – teacher of the department of medical and biological disciplines and valeology, State Pedagogical University "Pereyaslav-Khmelnitsky State Pedagogical University named after Gregory Skovoroda", st. Sukhomlynsky, 30, m. Pereyaslav-Khmelnitsky, Kyiv region, Ukraine, 08401.

УДК 504 (477)

І. В. МОСКАЛЮК, Н. Н. САКУН, В. Ф. НАГОРНИЮК

ЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ В УКРАЇНІ

Україна – одна із найурбанізованіших країн – у містах мешкає майже 70% населення. Висока концентрація техногенних об'єктів сприяє забрудненню довкілля, знижує комфортність життя. Основними джерелами забруднення атмосфери міста є транспорт, енергетичні системи та промисловість. Розвиток промисловості супроводжується професійним травматизмом працівників. Реальні виробничі умови є причиною виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які призводять до матеріальних і моральних втрат та негативно позначаються на рівні життя населення.

Ключові слова: аварії, катастрофи, екологічна ситуація, статистика, надзвичайні ситуації, природне, техногенне середовище.

Украина - одна из самых урбанизованных стран - в городах проживает почти 70% населения. Высокая концентрация техногенных объектов способствует загрязнению окружающей среды, снижает комфортность жизни. Основными источниками загрязнения атмосферы города являются транспорт, энергетические системы и промышленность. Развитие промышленности сопровождается профессиональным травматизмом работников. Реальные производственные условия являются причиной возникновения вредных и опасных производственных факторов, которые приводят к материальным и моральным потерям и негативно отражаются на уровне жизни населения.

Ключевые слова: аварии, катастрофы, экологическая ситуация, статистика, чрезвычайные ситуации, природная, техногенная среда.

Ukraine – one of industrial countries – a 70 % population lives in cities almost. The high concentration of technogenic objects assists contamination of environment, reduces the comfort of life. The basic sources of contamination of atmosphere of city are a transport, power systems and industry. Noise, oscillation and electromagnetic contamination of cities is formed as a result. Development of industry and expansion of production are in the whole world accompanied by the professional traumatism of workers as a result of violation of accident, neglect of facilities of individual defence, unperfection of technologies, machines, mechanisms and instruments prevention, and also in connection with unsatisfactory organization of productive process. Before the origin of accidents and professional diseases absence and failure to observe of the physiology modes of labour lead also. The real productive terms are reason origins of harmful and dangerous productive factors, the consequence of that is professional diseases, accidents and traumatism, that result in material and moral losses and negatively designated at the level of life of population. A problem of forming of ecological consciousness for Ukrainian society is urgent, and in the nearest decades she must become the major factor of his development. People must deeper go deep and educe main reasons that resulted in the threatening state of environment of Ukraine, and educe consequences that are a result mainly careless relation of humanity, namely in our state, to the environment.

Keywords: accidents, catastrophes, ecological situation, statistics, emergencies, natural, technogenic environment.

Вступ. На фоні політичної і економічної ситуації, яка склалася в Україні, проблема стосунків з природним оточенням відкладається в побутовій свідомості на задній план. Найбільшу увагу привертають такі аспекти загострення екологічної ситуації, як погіршення якості життя в результаті забруднення довкілля і наслідки антропогенних катастроф, перш за все – наслідки аварії на ЧАЕС. Тому для українського суспільства проблема формування екологічної свідомості є нагальною, і у найближчих десятиліттях вона повинна стати

найважливішим фактором його розвитку. Мета статті полягає в тому, щоб як можливо глибше вникнути і довести до слухачів головні причини, що призвели до загрозливого стану довкілля України, та виявити наслідки, які є результатом в основному недбалого відношення людства, а саме в нашій державі, до навколишнього середовища [1–5].

Аналіз літературних даних. В якості інформаційних джерел ми використовували мережу Internet. Була проведена робота, в результаті якої нами

були знайдені: велика кількість статистичних даних, що стосуються показників рівня забруднення навколишнього середовища (водних ресурсів, повітряних, земельних, радіаційне забруднення, забруднення токсичними відходами тощо) в Україні[3]; незворотні зміни, які вже сталися з довколишнім середовищем (кліматичними умовами, фауністичними ресурсами та флорою тощо), на цей час, що являються досить загрозливими для здоров'я і генетики людини на даний момент та прогресують рік від року [6]; багато екологічних ресурсів в мережі, де розміщені електронні газети та журнали з тематики екологічних проблем України, в яких містяться статті з найсвіжішими показниками щодо екологічної статистики; останні новини щодо екологічних проблем України, шляхів та заходів, що приймаються для вирішення, пом'якшення цих проблем і можливості запобігання їх подальшого виникнення та розвитку [7–9].

Дані про надзвичайні ситуації в Україні реєструються з 1992 року. Діяльність Міністерства надзвичайних ситуацій, створеного наприкінці 1996 року спрямована на систематизацію, констатацію та аналіз надзвичайних ситуацій і надання невідкладної допомоги при їх виникненні [10].

В Україні в період з 2000 року до кінця 2010 року в різних надзвичайних ситуаціях загинуло близько 50 тисяч чоловік, з них у 2000 році більш 11 тисяч чоловік.

За цей період зареєстровано близько 6,4 тисяч надзвичайних ситуацій, у тому числі більш 2000 – техногенного характеру і майже 1000 – природного характеру. Матеріальні збитки від дій надзвичайних ситуацій (НС) складають 3,1 млрд. грн., з них: 2,9 млрд. грн. (93 %) – збитки від природних надзвичайних ситуацій, і 0,2 млрд. грн. (7 %) – від техногенних [3].

За даними Всесвітньої метеорологічної організації, що діє в рамках ООН, 2000 рік виявився одним із самих теплих за останні півтора сторіччя, а погодні умови характеризуються як екстремальні. Вчені попереджували, що кліматична ситуація може ще погіршитися в наступних роках.

Дослідження екологічного стану України. З огляду на географічне положення України, самими небезпечними регіонами, в який можливі стихійні і небезпечні метеоявища, є Крим і Закарпаття. Відлиго - морозні явища найбільш ймовірні в Південному регіоні, Донбасі, Вінницькій, Хмельницькій, Кіровоградській, Дніпропетровській областях. Небезпечні і стихійні рівні вітру можливі на більшій території України, але найбільш ймовірні вони в Західному і Південному регіонах. Найбільша кількість смерчей за останні 40 років спостерігалось в Київській, Черкаській, Запорізькій, Миколаївській областях, а в Криму і Херсонській області - один раз у п'ять років. За прогнозами вчених високих паводків варто очікувати на ріках Західного регіону, басейні рік Прип'ять, Десна, Сіверський Донець, Нижній Дунай Південний Буг.

До регіонів найбільш схильних повеням відносять Захід України і Дніпропетровськ. Велика

кількість населених пунктів попадають під вплив селевих потоків. У Карпатах виявлено 219 селевих водозборів. В Україні в цілому 9/10 території попадає під дію небезпечних геологічних процесів. По сейсмічному районуванню території України близько 120 тисяч квадратних кілометрів її з населенням близько 11 млн. чоловік знаходиться в зоні можливих землетрусів силою 6 – 9 балів (по 12 бальній шкалі MSK).

Крім того, за даними фахівців, підтоплення, селі і карсти призводять до підвищення сейсмічності на 1–3 бали. На 60 % території України розвиваються процеси карстоутворення, у тому числі на 27% виявляється відкритий карст (лійки, колодязі, прірви, обриви). Зрушення характерні для зон тектонічних утворень, високих терас, ухилів ерозійних систем, рік і водоймищ. Торік найбільш втрати від зрушень понесли Дніпропетровська (35 млн.грн.), Луганська (22 млн. грн.) і Чернівецька (близько 20 млн. грн.) області. Абразивним процесам підвержено 2630 км морських берегів і 1200 км берегів водосховищ, що призводить до втрати щорічно сотень гектарів коштовних замілин.

В Україні підтоплено 900 тис. гектарів земель (15% території) через глобальне потепління та існування сухих і вологих періодів: втрати води з водоносних комунікацій, неорганізований поверхневий стік, ліквідація чи погіршення фільтраційних властивостей ґрунтів, зменшення випарів у зв'язку з асфальтуванням, і т.д. Підйому ґрунтових вод сприяє система водосховищ Дніпровського каскаду, що призводить до підтоплення прилягаючих територій. Основною причиною підтоплення сільськогосподарських угідь стало будівництво дренажних споруджень: у зоні впливу Північно-Кримського каналу – підтоплено 96 тис. гектарів, Каховської зрошувальної системи – 5,1 тис. гектарів, Каланчацької – 9,1 тис. гектарів. Підтоплення значних територій України є результатом безгосподарного відношення до них, а це призводить до забруднення вод, підвищення вологості і погіршенню санітарного стану територій, засоленню і заболоченню ґрунтів, зниженню врожайності сільських угідь, виникненню зрушень, осідання, карст, обвалів.

Більш 10 млн. гектарів території України займають ліси і торфовища, а щорічно виникає 3,5 тисячі природних пожеж, що знищують більш 5 тис. гектарів лісу. Близько 90 % лісових пожеж виникають у 10 - кілометровій приміській зоні, з них 60 % – у 5-кілометровій зоні, у 90 % випадків причиною яких є необережність чи зловмисність людини.

На значній території України існує небезпека виникнення інфекцій через їх здатність десятки років існувати в навколишньому середовищі, передаючи збудників хвороб людині через тварин, воду, ґрунт.

В Україні існує високий рівень радіаційної небезпеки, обумовленої розміщенням на її території чотирьох атомних станцій із тринадцятьма атомними реакторами, двох дослідних ядерних реакторів і більш трьох тисяч підприємств і організацій, що використовують радіоактивні речовини і випускають радіоактивні відходи. Протягом останніх 4 років на АЕС

Україні відбулося 131 надзвичайна ситуація через незаплановану зупинку реакторів.

В Україні функціонує близько 2 тисяч хімічно небезпечних виробництв, де зберігається чи використовується 300 тисяч тонн сильнодіючих отруйних речовин (СДОР). За останні чотири роки в Україні відбулася 51 надзвичайна подія через викиди СДОР. У табл. 1 приведена статистика надзвичайних ситуацій, які відбувалися на атомних електростанціях в межах України (тут приводяться дані щодо всіх електростанцій).

У господарствах України існує більш 1200 вибухо- і пожежонебезпечних об'єктів, в яких зосереджено більш ніж 13,6 млн. тонн твердих і рідких вибухо- і пожежонебезпечних речовин: хімічні, нафто- і газопереробні, коксохімічні, металургійні і машинобудівні підприємства, мережа нафто-, газо-, аміако-

проводів, вугільні шахти. У таблиці 2 приведені дані про кількості надзвичайних ситуацій, зв'язаних з пожежами і вибухами в промисловості впродовж останніх чотирьох років.

Таблиця 1 – Статистика надзвичайних ситуацій

АЕС	Кількість надзвичайних ситуацій
Запорізька	53
Ровенська	35
Південно - Українська	24
Чорнобильська	12
Хмельницька	7

Таблиця 2 – Надзвичайні ситуації в промисловості

Назва надзвичайної ситуації	Кількість	Загибло людей	Постраждало людей
Пожежі і вибухи в шахтах, підземних і гірських видобутках	132	262	148
Пожежі і вибухи в спорудженнях, ко-мунікаціях і технологічному устаткуванні	136	53	117
Пожежі і вибухи на об'єктах розвідки, видобутку, переробки, транспортування і збереження паливних і вибухонебезпечних речовин, що легко займаються	62	9	114
Пожежі на радіаційно-, хіміко- і біологічно небезпечних об'єктах	13	7	2

Аварії на магістральних газопроводах, довжина яких більш ніж 35 тисяч кілометрів, і нафтопроводах, довжина яких більш ніж 4 тисячі кілометрів; компресорних нафтопереробних (31 шт.) і газопереробних (89 шт.) станціях, продуктопроводах (3,3 тис. км) в основному через злочинні uszkodження призводять до значного негативного впливу на навколишнє середовище. За останні чотири роки відбулося 136 аварій, особливо багато у Львівській області. Загальна площа сховищ виробничих відходів в Україні перевищує 30 тисяч гектарів, вони постійно горять і забруднюють повітряне середовище газом і пилом.

Україна має 2300 гідроспоруджень для збереження відходів хімічних, металургійних, ТЕЦ, промислових агропромислового комплексу. Усе це негативно впливає на стан навколишнього середовища і забруднює території і підземні води. Сьогодні фіксується тривожна тенденція зниження рівня надійності гідротехнічних споруджень Дніпровського каскаду. Довжина Якого складає 120 км. Досвід експлуатації гребель показує, що після 50 років збільшується ймовірність аварій, у тому числі й руйнування їхнього тіла. У 1994–1995 роках за пропозицією Світового банку приведена експертиза робочого стану дніпровської ГЕС, що визначила необхідність реконструкції її.

При руйнуванні 1 Дніпровського каскаду ГЕС можливе затоплення близько 60 тисяч гектарів земель, руйнування 80 мостів, зупинка роботи енергосистем, виведення з ладу до 2000 км ЛЕП, вихід з ладу газового, водяного господарства, порушення транспортного сполучення. Основними шляхами проникнення на територію України небезпечних хімічних речовин, особливо сильнодіючих отруйних речовин, є

перенесення їх атмосферним повітрям і поверхневими водами. Сучасний період розвитку суспільства характеризується все більш зростаючими розбіжностями людини і навколишньої природного середовища. Промислові регіони є зонами з надзвичайно високим ступенем ризику виникнення аварій і катастроф техногенного походження.

Цей ризик постійно зростає внаслідок збільшення кількості застарілих технологій і устаткування, зниження темпів поновлення і модернізації виробництва (зношеність основних фондів усіх галузей промисловості складає 50 %, у середньому). У багатьох випадках антропогенна діяльність приводить до усе більшої залежності об'єктів господарювання від дії природних факторів. У країні нараховується 24 міста з населенням понад 250 тис. челоівок, де проживає 46 % міського населення. Найвищий рівень урбанізації характерний для Донецької області – 90,3 %, Луганської – 86,4; Дніпропетровської – 83,6; Харківської – 78,6 %. З таким рівнем концентрації населення зв'язане зосередження промислового виробництва (у тому числі і потенційно небезпечного), що спричиняє погіршення екологічної ситуації.

Потенційно небезпечні виробництва мають велику питому вагу в структурі промислового виробництва. У цілому по країні на них приходить 42,8 % вартості основних промислових фондів, 33,8 % обсягів виробництва і 21 % працюючих. Особливо велика частка потенційно небезпечних виробництв у Луганської, Донецької, Дніпропетровської, Івано-Франківської, Київської областях. У середньому по країні на 1 км² території приходить 2,6 чоловік промислово-виробничого персоналу, зайнятого на техногенно небезпечних об'єктах. По областях цей

показник розподіляється в такий спосіб: до 0,5 чол. – Тернопільська, Херсонська; від 0,5 до 1 чол. – Автономна Республіка Крим, Вінницька, Волинська, Житомирська, Закарпатська, Миколаївська, Одеська, Полтавська, Рівненська, Хмельницька, Чернігівська, Чернівецька; від 1,1 до 2,6 чол. – Запорізька, Івано-Франківська, Київська, Кіровоградська, Сумська, Харківська, Черкаська; 2,7 чол. – Львівська; 6,1 чол. – Дніпропетровська; 10,8 чол. – Луганська; 19,9 чол. – Донецька. Надзвичайно забруднені території площею 61 тис. км², де забруднене повітря в 20–250 разів перевищує нормативи, води – у 5–45, ґрунту – у 2–10 разів, знаходяться в районах Наддніпрянщини, Донбасу, східної частини Причорномор'я, Чорнобильської АЕС. Обсяги скидань забруднених стічних вод у природні об'єкти є одним з параметрів, що характеризують промисловий вплив на навколишнє середовище. Так у цілому по Україні за останні роки ситуація погіршилася.

Найбільш забрудненими областями є Донецька, Луганська, Дніпропетровська, Запорізька, у яких у природні поверхневі водні об'єкти скидається забруднюючих речовин, відповідно, 33,34 %; 12,64; 7,99 і 4,31 % від загального обсягу скидань (див. табл. 1). Економічна криза обумовила спад промислового виробництва, що спричинило за собою скорочення обсягів споживання ресурсів і зменшення викидів шкідливих речовин. Так, у 2016 р. у порівнянні з 2015 р. у країні обсяги викидів стаціонарними джерелами забруднення атмосфери зменшилися на 901,6 тис. т., чи на 5,8%. Хоча в Запорізькій області і Києві – зросли, відповідно, на 5,3 тис. (1,97 %) і 8,8 тис. (16,51 %). Це зв'язано з експлуатацією застарілого устаткування, його зносом, із загальним технологічним руйнуванням виробництва. По показнику обсягів викидів в атмосферу процентне співвідношення між найбільш забрудненими областями (за станом на 2010 р.) наступне: Донецька – 40,2 %, Дніпропетровська – 17,43, Луганська – 11,12, Запорізька – 5,7, Івано-Франківська – 3,7 %.

Найгірша ситуація склалася в електроенергетиці, вугільної, металургійної промисловості, що дають, відповідно, 32,3%, 27, 23,1 % від загальної кількості промислових викидів.

За станом на 2011 р. повітряний басейн нашої держави був найбільш забруднений викидами, що містять: бензапирен (максимальне перевищення ПДК по разовій щільності – у Маріуполі (у 33 рази), а по середньорічній щільності – у Донецьку (у 11 разів); сірководень (максимальне перевищення ПДК по разовій щільності – у Дніпропетровську (у 4,9 рази); фенол (відповідно, у Донецьку (у 4,9 рази) і у Єнакієвому (у 4,2 рази); двоокис азоту (відповідно, у Донецьку (у 9,5 рази) і в Єнакієвому (у 3,2 рази); аміак (відповідно, у Донецьку (у 4,9 рази) і в Горлівці (у 3,4 рази). Причиною віднесення даних домішок до групи основних виступає їхня висока токсичність, тривалі терміни перебування в атмосфері, що обумовлює їхній перенос на великі чи відстані нагромадження в об'єктах середовища.

Підсумовуючи короткий аналіз техногенної ситуації регіонів України, можна зробити висновок, що

сучасне екологічне положення критичне. У деяких регіонах (Донбас, Придніпровський) деградація має незворотній характер, і в цьому випадку правомірно застосовувати термін «екологічне нещастя». Зростаюча інтенсивність експлуатації природних ресурсів і криза в економіці, що супроводжуються підвищенням частки застарілих технологій і устаткування, зниженням рівня модернізації і відновлення основних фондів, збільшують ризик виникнення техногенних катастроф, вимагають розробки оптимальної еколого-економічної стратегії подальшого розвитку господарства, що розширить можливості керування рівнем техногенно-екологічної безпеки. Основними причинами виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру в Україні є: незадовільний стан і порушення вимог технологій виробництва; низький рівень культури виробництва; незадовільний стан збереження, утилізації і поховання відходів, особливо високо-токсичних, радіоактивних і побутових; ігнорування екологічних факторів, вимог, стандартів і т.д.; низький рівень застосування прогресивних ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій; низький рівень екологічного навчання і підготовки фахівців; зростаючий дефіцит кваліфікованих кадрів; відсутність моніторингу природного середовища, незалежної екологічної експертизи.

Останнім часом усі великі міста України збільшили забруднення атмосфери викидами транспорту (його частина в загальному забрудненні складає від 55 до 82%).

В Україні металургійна промисловість викидає біля третини забруднювачів атмосфери і природних вод. Наприклад, «Запоріжсталь» щорічно викидає більш 150 тисяч тонн шкідливих речовин в атмосферу (більш 50% викидів міста). Сьогодні через низький рівень технології виробництва і відсутності ефективного газо – пило - уловлюючого устаткування, місто Запоріжжя перетворилося в одне з найбільш брудних міст в Україні, з великою кількістю професійних захворювань, погіршення здоров'я населення, особливо дітей, підвищення смертності. Крім шкідливих газів: окису вуглецю, двоокису сірки і т.д., «Запоріжсталь» викидає щорічно в повітря декілька сот тонн такої канцерогенної речовини, як бензопропілен.

По кількості промислового забруднення на душу населення Україна займає одне з перших місць у Європі, що і визначає середню тривалість життя – 66 років, тоді, як у Японії, Швейцарії, Ісландії і США – 75–79 років, 15% території України є зоною екологічного лиха. В Україні функціонує 1700 шкідливих виробництв, 1000 з них, хімічні, є особливо екологічно небезпечними, а майже третина знаходяться в реакційних зонах. За масштабами дитячої смертності Україна займає перше місце в Європі, як і по показниках кількості онкологічних захворювань. На площі більш 3 млн. гектарів необхідно вилучити з користування через підвищений зміст токсичних речовин, у більшості це ділянки землі уздовж доріг.

Сьогодні в Україні виявлена безліч районів з перевищенням гранично допустимих концентрацій нафтопродуктів у воді, повітрі і ґрунтах. Це райони аеродромів, нафтобаз, нафтоховищ, нафтоперероб-

них заводів, нафтових шпар, автостоянок, автозаправок, ділянки нафтопроводів. Критичною стала ситуація через забруднення нафтопродуктами в Лисичанському і Херсонському нафтопереробних заводах, військових аеродромах Білої Церкви й Узини, Борислава, Долини у Прикарпаття, Шебелинки на Полтавщині. Ці регіони відомі уже всій Україні і за її межами, а нафта потрапила не тільки в повітря, а сконцентрована в колодязях, ярах, підземних водах і стала не тільки отруйною, але і пожежонебезпечних.

Для вирішення екологічних проблем та поліпшення його стану потрібно:

- визначення граничнодопустимих значень шкідливих для навколишнього середовища викидів;
- економії енергії;
- сприяння використанню відходів тепла;
- утилізація старих матеріалів, а також відходів;
- підтримання здоров'я лісів та природної сили самоочищення водою;
- впровадження автомобілів з мінімальною кількістю відпрацьованих газів і бензинів без вмісту свинцю;
- заохочення бережливого ставлення споживачів до навколишнього середовища.

Потрібні певні заходи щодо поліпшення довкілля, а саме:

- 1) технологічні – розробка і впровадження нових технологій, очисних споруд, видів палива;
- 2) архітектурно-планувальні – озеленення населених пунктів, організація санітарно-захисних зон, раціональне планування підприємств і житлових масивів;
- 3) інженерно-організаційні - зниження інтенсивності руху транспорту на перевантажених автомагістралях, організація екологічно-патрульного контролю;
- 4) економічні - вкладання коштів у розвиток нових, ресурсозбережуваних технологій;
- 5) правові – прийняття і додержання законодавчих актів щодо підтримання якості атмосфери, водойм, ґрунту; 6) освітньо-виховні - формування екологічної культури, насамперед у молоді. Важливими вимогами є:

- уникання будь-якої інтенсифікації використання;
- обмеження розмірів, широкі смуги околиць;
- розширення сівозмін з місцевими видами та сортами замість централізовано вирощуваних високопродуктивних видів;
- скорочення застосування добрив;
- недопущення виливання рідкого гною на сільськогосподарські площі, замість цього - кругообіг органічних відходів;
- підтримка природних методів господарювання;
- перехід від грошової допомоги виробництву до допомоги, пов'язаної з певними місцями;
- врахування досягнень сільського господарства для забезпечення природного балансу.

В Україні головними причинами, що призвели до загрозливого стану довкілля та виникненню багатьох екологічних катастроф є:

- застаріла технологія виробництва та обладнання,

- висока енергомісткість та матеріаломісткість, що перевищують у два-три рази відповідні показники відповідних країн;

- високий рівень концентрації промислових об'єктів;

- несприятлива структура промислового виробництва з високою концентрацією екологічно небезпечних виробництв,

- відсутність належних природоохоронних систем (очисних споруд, оборотних систем водозабезпечення тощо);

- низький рівень експлуатації існуючих природоохоронних об'єктів;

- відсутність належного правового та економічного механізмів, які б стимулювали розвиток екологічно безпечних технологій та природоохоронних систем;

- відсутність належного контролю за охороною довкілля.

Через засоби масової інформації лунають попередження про неминучі, екологічні лиха. Забруднюється повітря і вода. Їжа отруєна пестицидами. Кислотні дощі загрожують озерам та лісам. Ерозія призводить до втрат ґрунтів.

Руйнується захисний озоновий шар, котрий зберігає все живе на Землі. Клімат теплішає через надмірне виділення двоокису вуглецю при спалюванні різних видів палива – це парниковий ефект. Воді, якою ми користуємося, загрожує забруднення, або вона вже містить токсичні відходи. Дика природа зубожіє: тисячі видів наближаються до межі вимирання, а сотні вже перейшли цю межу. Багато ресурсів виснажені надмірним використанням.

Висновок. Наші теперішні взаємостосунки з довкіллям дуже далекі від стійкості. Наші дії призводять до її виснаження та деградації. Якщо так буде продовжуватися й надалі, середовище в решті решт стане непридатним для життя.

Існує давнє китайське прислів'я, яке несе за своєї простоти глибокий зміст: «якщо не отримуваш бажаного – змieni свої дії». Але як показує досвід, не маючи ефективно функціонуючих державних структур в галузі охорони довкілля в Україні, і маючи переважно громадські (а інколи навіть просто аматорські) структури, реалізація зазначеної проблеми не досягає бажаних результатів. У своїй роботі ми прагнули розкрити основні проблеми у стосунках «людина-природа», і базуючись на цьому, спробувати пов'язати усі сторони нашого повсякденного життя, як то економічні, політичні й юридичні, у контексті екологічної свідомості суспільства, а також сформулювати модель адміністративних державних органів влади і недержавних місцевих структур у сфері захисту довкілля.

Список літератури:

1. *Юрченко, Л. І.* Екологія [Текст] / *Л. І. Юрченко.* – К.: Професіонал, 2009. – 304 с.
2. *Туниця, Т. Ю.* Збалансоване природокористування [Текст] / *Т. Ю. Туниця.* – К.: Знання, 2006. – 300 с.
3. *Потіш, А. Ф.* Екологія: теоретичні основи і практикум

- [Текст] / А. Ф. Потіш, В. Г. Медвідь, О. Г. Гвоздецький, З. Я. Козак. – Л.: Магнолія, 2006. – 324 с.
4. Павлова, Е. И. Экология транспорта [Текст] / Е. И. Павлова. – М.: Транспорт, 2000. – 248 с.
 5. Виговська, Т. В. Науково-популярний екологічний журнал «Екологічний вісник» № 2 (54) [Текст] / Т. В. Виговська. – К.: Всеукраїнська екологічна ліга, 2009.
 6. Коробкин, В. И. Экология [Текст] / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов-на-Дону: Еникс, 2001. – 602 с.
 7. Коваленко, А. Пути преодоления кризиса твердых бытовых отходов в Украине [Текст] / А. Коваленко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 2, № 6 (50). – С. 38–41. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1807/1703>
 8. Крижановський, Є. Розробка біоцентрично-мережевої структури екологічної мережі міста Вінниця з використанням геоінформаційних технологій [Текст] / Є. Крижановський, А. Нагорна // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 6, № 10 (72). – С. 8–12. doi: [10.15587/1729-4061.2014.29275](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29275)
 9. Накашидзе, Л. Оцінка енергетичної безпеки при впровадженні технологій використання енергії відновлюваних джерел [Текст] / Л. Накашидзе, Т. Гільорме // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 4, № 8 (76). – С. 54–59. doi: [10.15587/1729-4061.2015.46577](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46577)
 10. Трофімов, І. Оцінка впливу відходів побутового походження на екологічний стан України [Текст] / І. Трофімов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 2, № 10 (68). – С. 25–29. doi: [10.15587/1729-4061.2014.22427](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22427)
- Bibliography (transliterated):**
1. Yurchenko, L. I. (2009). Ekolohiia. Kyiv: Profesional, 304.
 2. Tunytsia, T. Yu. (2006). Zbalansovane pryrodokorystuvannia. Kyiv: Znannia, 300.
 3. Potish, A. F., Medvid, V. H., Hvozdet'skyi, O. H., Kozak, Z. Ya. (2006). Ekolohiia: teoretychni osnovy i praktykum. Lviv: Mahnoliia, 324.
 4. Pavlova, E. I. (2000). Ehkologiya transporta. Moscow: Transport, 248.
 5. Vyhovska, T. V. (2009). Naukovo-populiarnyi ekolohichnyi zhurnal «Ekolohichnyi visnyk» Issue 2 (54). Kyiv: Vseukrainska ekolohichna liha.
 6. Korobkin, V. I., Peredel's'kiy, L. V. (2001). Ehkologiya. Rostov-na-Donu: Eniks, 602.
 7. Kovalenko, A. (2011). Ways of domestic solid waste crisis overcoming in Ukraine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (6 (50)), 38–41. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1807/1703>
 8. Kryzhanovskiy, Ye., Nahorna, A. (2014). Development of biocentric-network structure of vinnitsia environmental network using geoinformational technologies. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (10 (72)), 8–12. doi: [10.15587/1729-4061.2014.29275](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29275)
 9. Nakashydz, L., Hilorme, T. (2015). Energy security assessment when introducing renewable energy technologies. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (8 (76)), 54–59. doi: [10.15587/1729-4061.2015.46577](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46577)
 10. Trofimov, I. (2014). Impact assessment of municipal wastes on the ecological state of Ukraine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (10 (68)), 25–29. doi: [10.15587/1729-4061.2014.22427](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22427)

Надійшла (received) 10.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Екологічна ситуація в Україні/ Москалюк І. В., Сакун Н. Н., Нагорнюк В. Ф. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.141–147. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Экологическая ситуация в Украине/ Москалюк И. В., Сакун Н. Н., Нагорнюк В. Ф. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.141–147. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Ecological situation in Ukraine/ Moskaliuk I., Sakun N., Nahorniuk V. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241).– P.141–147. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Москалюк Інна Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри Механізації та автоматизації сільськогосподарського виробництва, секція безпеки життєдіяльності, Одеський державний аграрний університет, вул. Пантелеймонівська, 13, г. Одеса, Україна, 65012.

Сакун Микола Миколаєвич – кандидат технічних наук, доцент кафедри Механізації та автоматизації сільськогосподарського виробництва, завідувачий секцією безпеки життєдіяльності, Одеський державний аграрний університет, вул. Пантелеймонівська, 13, г. Одеса, Україна, 65012.

Нагорнюк Володимир Федорович – кандидат військових наук, доцент кафедри Механізації та автоматизації сільськогосподарського виробництва, секція безпеки життєдіяльності, Одеський державний аграрний університет, вул. Пантелеймонівська, 13, г. Одеса, Україна, 65012.

Москалюк Інна Вікторівна – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, секция безопасности жизнедеятельности, Одесский государственный аграрный университет, ул. Пантелеймоновская, 13, г. Одесса, Украина, 65012.

Сакун Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, заведующий секцией безопасности жизнедеятельности, Одесский государственный аграрный университет, ул. Пантелеймоновская, 13, г. Одесса, Украина, 65012.

Нагорнюк Владимир Федорович – кандидат военных наук, доцент кафедры механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, секция безопасности жизнедеятельности, Одесский государственный аграрный университет, ул. Пантелеймоновская, 13, г. Одесса, Украина, 65012.

Moskaliuk Inna – PhD, Associate Professor, Department of Mechanization and Automation of Agricultural Production, Department of Safety of Life, Odessa State Agrarian University, st. Panteleimonovskaya, 13, Odessa, Ukraine, 65012.

Sakun Mykola – PhD, Associate Professor of Mechanization and Automation of Agricultural Production, Head of the Department of Life Safety, Odessa State Agrarian University, st. Panteleimonovskaya, 13, Odessa, Ukraine, 65012.

Nagornyuk Volodymyr – PhD, Associate Professor of Mechanization and Automation of Agricultural Production, Department of Safety of Life, Odessa State Agrarian University, st. Panteleimonovskaya, 13, Odessa, Ukraine, 65012.

УДК502.175(477)

О. А. ПАЛІЄНКО

АНАЛІЗ І ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

В даній статті розглядаються аспекти і підходи трансформації екологічного світогляду в умовах глобалізації, проведено аналіз екологічної кризи в Україні та світі, проаналізовані наукові та статистичні дослідження стану екологічної безпеки, рівень захворювань населення України, охарактеризовані причини погіршення екологічної ситуації, з'ясовані шляхи вирішення проблеми охорони здоров'я та безпеки життєдіяльності населення, обґрунтована необхідність формування екологічної свідомості як найважливішого фактора вирішення екологічних проблем.

Ключові слова: екологічна безпека, загроза життя, екологічна криза, захворювання, працездатність населення, забруднення території.

В данной статье рассматриваются аспекты и подходы трансформации экологического мировоззрения в условиях глобализации, проведен анализ экологического кризиса в Украине и мире, проанализированы научные и статистические исследования состояния экологической безопасности, уровень заболеваний населения Украины, охарактеризованы причины ухудшения экологической ситуации, определены пути решения проблемы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности населения, обоснована необходимость формирования экологического сознания как важнейшего фактора решения экологических проблем.

Ключевые слова: экологическая безопасность, угроза жизни, экологический кризис, заболевание, работоспособность населения, загрязнение территории.

In this article aspects and approaches of transformation of ecological world view are examined in the conditions of globalization, the analysis of ecological crisis is conducted in Ukraine and world, scientific and statistical researches of the state of ecological safety, level of diseases of population of Ukraine, described reasons of worsening of ecological situation, are analysed, from ways of decision of problem of guard healthy and safety of vital functions of population, reasonable necessity of forming of ecological consciousness as a major factor decision ecological problem.

The study of ecological safety is conditioned as a social need in the study of the spiritual foundations and social regulators of the doctrine of ecological safety of Ukraine, the need for development of which has long been overdue, and the need for practical solution to the problem. A factor that actualizes the problem is the social and spiritual need for shaping the values of the ecological consciousness as a form of social consciousness, the cultivation of an ecological world outlook as the basis of an environmentally safe society.

Keywords: ecological safety, threat of life, ecological crisis, disease, capacity of population, contamination of territory.

Вступ. Головне місце серед численних соціально значущих проблем всіх жителів Землі на початку третього тисячоліття, пов'язаних з діяльністю і способом життя людини, займає проблема виживання всього живого на планеті. За словами Ауреліо Печчеї, першого президента Римського клубу, «людина стала сама для себе ахіллесовою п'ятою, вона – точка відліку, в ній всі початки і кінці». Спосіб життя людини, – це зліпок соціальних відносин у суспільстві в цілому, показник того, як особистість реалізує навколишні умови життєдіяльності в інтересах свого здоров'я» [9]. Спосіб життя розглядається як біосоціальна категорія, яка інтегрує уявлення про певний тип життєдіяльності людини і характеризується його професійною (навчальною) діяльністю, побутом, способом задоволення матеріальних і духовних потреб [1].

Україна є однією з найбільш неблагонадійних в екологічному відношенні країн Європи. Адже економіка країни формувалась без урахування об'єктивних потреб та інтересів населення, в той час як фінансування природоохоронних заходів здійснювалось за залишковим принципом. Внаслідок цього її економіка перенасичена хімічними, металургійними та гірничорудними виробництвами із застарілими технологіями і значним руйнівним впливом на навколишнє середовище. Створені гігантські центри надмірного зосередження промисловості, які характеризуються високим антропогенним впливом на

природне середовище, серед яких насамперед Донбас і Придніпров'я. Це найбільш забруднені регіони в Європі. Вони займають 18 % території з 28 % населення України, виробляється 40 % загального обсягу промислової продукції. Недосконалі технології видобування та переробки мінеральної сировини, незадовільне вирішення питання комплексного освоєння родовищ призводить до того, що в надрах залишається і втрачається: розвіданих запасів нафти – 70 %, солей – 50 %, вугілля – 40 %, металів – 25 %. Відходи видобутку і переробки корисних копалин майже не використовуються в народному господарстві і займають при цьому десятки тисяч гектарів сільськогосподарських угідь, ускладнюючи екологічну ситуацію.

Аварія на Чорнобильській АЕС ускладнила радіологічну ситуацію в Україні. Починаючи з 1986 р., на забруднених територіях виконується комплекс хімічних, агротехнічних і організаційних заходів щодо зниження надходження радіонуклідів у продукцію. Але екологічна ситуація в Україні з метою її оздоровлення потребує мобілізації зусиль усіх урядових і неурядових організацій, вчених, виробників, господарських і контролюючих органів, громадськості. Громадяни України мають право на екологічну безпеку. Це право забезпечується комплексом юридичних, економічних, технологічних і гуманітарних чинників.

© О. А. Палієнко. 2017

В Декларації про незалежність України проголошені основи екологічної безпеки, на конституційному рівні – в Конституції України, ст. 16 проголошено, що екологічна безпека і екологічна рівновага на території України, збереження генофонду народу – обов'язок держави; статті 49 та 50, гарантують право кожній людині на охорону здоров'я, медичну допомогу, безпечне для життя і здоров'я природне середовище і у випадку порушення цього права, компенсацію нанесеної шкоди.

Тому стратегія природокористування в Україні має бути однією з фундаментальних складових процесу розбудови правової демократичної держави з розвиненою ринковою економікою. В контексті цього стан здоров'я населення України сьогодні розглядається як показник цивілізованості держави, що відображає соціально-економічне становище суспільства. Згідно з резолюцією ООН № 38/54 від 1997 р. здоров'я населення вважається головним критерієм доцільності й ефективності всіх без винятку сфер господарської діяльності. Середня тривалість життя громадян України на 10-12 років менша, ніж у країнах ЄС. За оцінками фахівців, близько 75 % хвороб у населення є наслідком умов праці і способу життя. Такі показники свідчать про низький або малоефективний рівень соціально-економічних, просвітницьких та оздоровчих заходів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Актуальність дослідження екологічної безпеки обумовлюється як соціальною потребою в дослідженні духовних основ і соціальних регуляторів доктрини екологічної безпеки України, необхідність розробки якої давно вже назріла, так і необхідністю практичного вирішення поставленої проблеми. Фактором, який актуалізує проблему, виступає соціальна і духовна потреба у формуванні ціннісних основ екологічної свідомості як форми суспільної свідомості, виховання екологічного світогляду як основи екологічно безпечного соціуму.

Вирішення цих проблем та перспективи їх вирішення неможливі без наукових досліджень здоров'я і працездатності населення країни та їх зв'язок зі екологічним станом в Україні. З огляду на цю проблему були присвячені праці В. О. Лисичкіна, Л. О. Шелепіна, Б. В. Боева, Г. В. Осипова, Муравова І. В., Булича Е. Г., Брехмана І. І., Бакка М. Т., Мельничука А. С., Сівко В. І., Коцур Н. І., Язловецького В. С. та ін.

Виклад основного матеріалу. Екологічна безпека створює умови, при яких не порушується екологічна комфортність життя, реалізується здатність протистояти загрозам життю, здоров'ю людині, включаючи її благополуччя, права на безпечне середовище життя, на джерела життєзабезпечення, природні ресурси. Екологічна безпека окремої людини, нації, цивілізації залежить від дій як окремої людини, так і всього суспільства.

Глобальні негативні зміни навколишнього середовища Хартією європейської безпеки (Стамбул, 1999), визначені як новий загальний виклик і віднесені до серйозних факторів, що впливають на європейську безпеку. Від того, якою буде відповідь люд-

ства на цей виклик, залежить безпека ХХІ століття і ймовірність виживання всього живого.

Науковці вважають, що необхідність рішення глобальних екологічних проблем припускає істотну переорієнтацію економічних, політичних, соціальних, науково-технічних парадигм, зорієнтованих на цінності екологічної безпеки, як духовні і соціокультурні регулятори соціуму [4].

Екологічна криза другої половини ХХ ст., є загрозою руйнування природних систем життєзабезпечення і саморегуляції біопроектів планети. Її відмінною рисою є антропогенний характер походження. Порушення процесів самоорганізації і самовідновлення біосфери, руйнування озонового шару і критичне забруднення середовища, катастрофічне виснаження природних ресурсів, теплового криза, розширення епідемічних захворювань і погроза руйнування генома людини ставлять людство на межу виживання. Ця криза має якісно іншу природу порівняно з усіма попередніми кризами. Вона охопила всю планету і повністю спричинена не природними процесами, а діяльністю людини. Темпи зміни параметрів біосфери, виявились у сотні і тисячі разів вищими за темпи природної еволюції. Розпочалася загальна глобальна деградація природного середовища проживання. За даними експертів ВООЗ, 80 % захворювань людей зумовлені несприятливим станом навколишнього середовища і незадовільними умовами життя у промислових центрах. Підраховано, що у ХХ ст. збільшилися: швидкість зв'язку – у 100 млн. разів; швидкість записування інформації – в 1 млн. разів; вироблення енергії – в 1 тис разів; швидкість пересування – у 100 разів; вироблення товарів – в сотні разів. Для такого росту технічного прогресу знадобилося мільярди тон нафти, вугілля, різних видів руди, мільйони тон металу, сотні тисяч нових хімічних продуктів і багато іншого. Так виник і щороку зростає вплив речовин, чужорідних для самої людини – ксенобіотиків.

Отже, всі види техногенної діяльності людини призвели до – гігантського хімічного та фізичного пресингу на все живе. З'явилися не лише професійні захворювання, але й екологічні патології та екологічні хвороби. Адаптаційні можливості людського організму значні, але не безмежні. Під впливом ксенобіотиків постійно відбуваються непомітні, невиражені зміни (порушення, перетворення, трансформації) в органах і тканинах, у структурах з високим метаболізмом, перехід до патології на молекулярному та клітинному рівнях, а згодом і на макрорівні.

Екологічна криза залишає людству обмежений часовий інтервал на рішення проблеми свого виживання, рішенням якої може бути нова парадигма соціального розвитку, заснована на пріоритетах і цінностях екологічної безпеки на особистісному, національному, регіональному і глобальному рівнях.

Тому, основною метою суспільства, його стійкого розвитку є досягнення екологічної безпеки. У системі цінностей такого суспільства екологічна безпека повинна виступати як пріоритетна цінність вищого гатунку. Констатація глобальної екологічної кризи і усвідомлення суспільством необхідності адекватних заходів, спрямованих на запобігання екологічної ката-

строфи, виявились провідними факторами осмислення феномена екологічної безпеки як однієї із пріоритетних цінностей глобалізованого суспільства. Підставою для осмислення безпеки як ціннісного феномену служить її зміст, який виражає результати акту оцінювання різних сторін процесу взаємин природи і суспільства, що характеризується відсутністю або максимальним зниженням екологічних загроз і ризиків [5].

Узагальнення і аналіз вищенаведених підходів до екологічної безпеки дозволяє виділити такі основні її змісти. Екологічна безпека – це система «природа-суспільство», що характеризується стійкістю і гармонійністю, захищеністю природного середовища від руйнуючого антропогенного впливу і збереження здатності до самовідновлення екосистем, захищеністю суспільства від екологічних загроз і стихійних лих і забезпечення «здорових природних умов життєдіяльності суспільства».

Прагнення, бажання та інтерес людини до безпечного існування в умовах наростаючої екологічної кризи дозволяє визначити стан екологічної безпеки як явище, що має загальнолюдську цінність. На I Всесвітньому конгресі «Наука безпеки» В. Гейзен сформулював визначення науки про безпеку як «взаємодію між людиною, технологією і навколишнім середовищем, яка направлена на створення урівноваженого симбіозу цих трьох елементів», відзначаючи, що «громадяни розглядають безпеку як суб'єктивну цінність, що відповідає по суб'єктивних поняттях цінності і базується на суб'єктивній вигоді. У дійсності, ризик є нормальною ситуацією і зменшення ризику до прийнятного рівня повинне розглядатися як «благо», за яке суспільство повинне платити» [3].

Екологічна безпека сьогодні є фундаментальною потребою людства, умовою його виживання і цивілізованого розвитку, значимість якого усе більше зростає. Про це свідчить висновок учених про вступ цивілізації в епоху екологічних війн. На 7-й сесії Комісії ООН по стійкому розвитку в доповіді В. Данилова-Данильяна був зроблений висновок про те, що в Югославії вперше в історії Цивілізації проводилася спланована масштабна екологічна війна з використанням екологічних видів зброї, що впливають на радикальну трансформацію навколишнього середовища [8].

Фактором підвищення значимості екологічної безпеки є біологічний тероризм, який не визнає національних границь і використовує для терактів біотехнології. Проблема біологічного тероризму останнім часом були присвячені низка міжнародних конференцій і наукових статей. Свідченням серйозної стурбованості суспільства і урядів про збереження генома людини є факт створення Міжвідомчої комісії з питань біологічної і генетичної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України і розробки проекту відповідної державної програми. Все це дозволяє зробити висновок про статусну зміну ціннісного характеру екологічної безпеки. Виступаючи найважливішим фактором «збереження самоорганізаційної здатності планетарної цивілізації», екологічна безпека

придбала статус цінності загальноцивілізаційного, глобального рівня.

Екологічна безпека на відміну від інших видів безпеки є усвідомлення не тільки ціннісного характеру безпеки існування самого суспільства, але й осмислення виняткової значимості для людства самої природи як умови і передумови соціального буття. Тобто, природа ніби «наділяється статусом суб'єкта» екологічної безпеки як самоорганізована система, яка має «свої інтереси» і «потребуюча» етичного до себе відношення. Саме така оцінка і дозволяє розглядати екологічні кризи як «включення запобіжних систем» природи у відповідь на антропогенний і техногенний впливи.

Аналіз статистичних даних щодо рівня здоров'я населення України свідчать про те, що він бажає бути кращим – зростає рівень смертності, особливо серед працездатних, збільшується інвалідизація, скорочується народжуваність. Так, на сьогодні неінфекційні захворювання є причиною 86 % випадків смерті та 77 % хвороб в Європейському регіоні, більшість з них становлять серцево-судинні захворювання [6]. Беручи до уваги зростаючі обсяги витрат та масштаб проблем, пов'язаних з хронічними захворюваннями, всі країни, в тому числі й наша, розробляють комплексний план боротьби з цією проблемою. Оскільки більшість хронічних захворювань залежить від способу життя, та усунення поведінкових факторів ризику, згідно з проведеними оцінками, дало б можливість уникнути 80 % випадків хвороб серця, інсульту, цукрового діабету 2-го типу та 40 % онкологічних захворювань. Без розширення спектра дій галузі охорони здоров'я та участі в профілактиці серцево-судинних захворювань різних секторів суспільства, самого населення, смертність від хвороб щорічно зростатиме, а середня тривалість життя зменшуватиметься [2].

Соціально-економічна криза, що охопила суспільство, негативно впливає на відтворення населення України. Коефіцієнти народжуваності і смертності продовжують змінюватися в такому ж напрямку, як і в попередні роки, тобто спостерігається негативний приріст населення, смертність перевищує народжуваність, щорічно чисельність населення зменшується на 0,8–1 %. Починаючи з 1991 р., показник природного приросту в Україні є від'ємним: у 2001 та 2003 рр. він становив – 7,5 %, у 2002 – 7,6 %, у 2004 – 7,0 %, у 2005 р. – 7,6 %. За останні 10 років середня тривалість життя чоловіків знизилась на 4,5 роки, жінок – на 2 роки і складає близько 62 роки (для порівняння – у Японії люди живуть на 15 років довше), тобто, можна говорити про депопуляцію і вимирання українського народу, коли 50 % чоловіків і 40 % жінок не доживають до пенсійного віку [7].

Кількість пологів зменшилося приблизно на 40 %, відносно частіше, ніж раніше, спостерігаються пологи в матерів у віці до 14–18 років (при цьому діти народжуються, як правило, з порушеннями здоров'я). Дитяча смертність – на одному з перших місць у світі. Материнська смертність при пологах зросла в 2 рази. З 4-х вагітностей лише одна протікає без ускладнень, мертвонароджуваність у 2–3 рази більша, ніж у Європі, кількість недоношених дітей збільшилася в 5

разів. Кожна 17-а жінка продуктивного віку має психоневрологічні порушення, кожен 6-ий чоловік – хронічний алкоголік.

За останні роки захворюваність населення України (за даними офіційної статистики) збільшилася на 27,3 %. Основними захворюваннями є:

- пухлини (80% з них обумовлені хімічними канцерогенами з навколишнього середовища) – 23,8 %;
- серцево-судинні (інфаркт міокарда й ін.) – 19,6 %;
- органів дихання – 17,5 %;
- нервової системи і органів чуттів – 10,2 %;
- органів травлення – 9,1 %;
- кістково-м'язової системи та сполучної тканини – 5,6 %;
- сечостатевої системи – 4,6 %, травми та отруєння – 4,5 %;
- хвороби ендокринної системи – 2,9 %;
- захворювання органів травлення – 2,2 %.

Така ситуація значною мірою пояснюється недостатньою профілактикою захворювань, слабкою пропагандою здорового способу життя, низькою якістю диспансерного обслуговування та амбулаторного лікування. Це підтверджується даними, одержаними в ННЦ "Інститут кардіології ім. М.Д. Стражеска" АМН України. У нашій країні курять 51,1 % чоловіків та 20,5 % жінок, що мешкають у містах, надлишкову масу тіла реєструють у 22,1 % дорослого населення. Порушення обміну ліпідів згідно з результатами епідеміологічних досліджень, проведених в Україні, реєструють у 27,5 % населення працездатного віку.

Про свою хворобу знають 62 % хворих, одержують лікування 23 %, причому ефективно лікуються 12,8 %. Необхідно зазначити, що рекомендації щодо профілактики захворювання та здорового способу життя одержують тільки 10% хворих. Привертає увагу стійка тенденція до зростання поширеності гіпертонічної хвороби [10].

Аналіз поширеності захворювань по регіонах України (серед дорослих та підлітків) свідчить, що найвищим цей показник є в Центральному, Південно-Східному та Північно-Східному регіонах. Найбільш високі показники хвороб системи кровообігу спостерігаються в Центральному та Північно-Східному регіонах, патології органів травлення у Центральному та Західному регіонах, травми та отруєння найчастіше трапляються у Південно-Східному регіоні, хвороби ендокринної системи найбільше спостерігаються в Центральному регіоні, новоутворення у Південно-Східному та Південному регіонах, найвищий рівень хвороб крові та кровотворних органів у Центральному та Західному регіонах.

Висновки. Оцінка медико-соціальної ситуації в Україні свідчить про необхідність з одного боку в активізації роботи первинної ланки охорони здоров'я щодо своєчасного виявлення хворих з чинниками ризику і початковими факторами хвороби, вдосконалення підходів до лікування і експертизи тимчасової чи постійної втрати працездатності; з іншого боку – популяризація здорового способу життя, усвідомлення керівництвом держави проблем профілактики захворювань,

що ставить збереження здоров'я населення на один щабель із збереженням суверенітету країни, підвищенням добробуту населення та іншими національними інтересами держави.

Здоров'я, за визначенням ВООЗ, це не лише відсутність хвороб та фізичних вад, а й стан повного фізичного, духовного і соціального благополуччя. На жаль, більшість українців сьогодні не можуть похвалитися добрим здоров'ям, як, власне, і довгим життям. За прогнозами вчених до 2020–2050 років може початися стрімке руйнування цивілізації, або її болісне відродження шляхом переходу на нові пріоритети і принципи організації своєї життєдіяльності на основі реальної, а не декларативної гармонії усередині соціумів, між ними і природою. Пошук і реалізація дійсного механізму цієї гармонізації, впровадження відповідних норм життєдіяльності в суспільну свідомість і підсвідомість Людства є надією на рятування від погрози глобальної катастрофи в XXI столітті.

Список літератури:

1. Бредіхіна, Н. Орієнтації населення на здоровий спосіб життя: регіональний аспект [Текст] / Н. Бредіхіна. – Челябинськ, 2006. – 153 с.
2. Гайдаєв, Ю. О. Стан здоров'я населення України та забезпечення надання медичної допомоги [Текст] / Ю. О. Гайдаєв, В. М. Коваленко, В. М. Корнацький. – К., 2007. – 97 с.
3. Geysen, W. J. The Structure of Safety Science: Definitions, Goals and Instruments [Text] / W. J. Geysen. – 1st World Congress on Safety Science: Living in Safety. Teil 1 Koln, 1990.
4. Екологічна безпека [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.novaecologia.org/voecos-2057-3.html>
5. Екологія як один з чинників впливу на здоров'я людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.novaecologia.org/voeco-697.html>
6. Коваленко, В. М. Стан серцево-судинної патології та шляхи його покращання в Україні [Текст]: метод. пос. / В. М. Коваленко, В. М. Корнацький, А. П. Дорогой та ін. – К., 2003. – 45 с.
7. Коваленко, В. М. Сучасний стан здоров'я народу та напрямки його покращання в Україні [Текст] / В. М. Коваленко, В. М. Корнацький, Т. С. Манойленко, О. І. Прокопишин. – К., 2005. – 141 с.
8. Лисичкин, В. А. Закат цивилизации, или Движение к ноосфере: (Экология с разных сторон) [Текст] / В. А. Лисичкин, Л. А. Шелепин, Б. В. Боев. – М.: ТОО «ИЦ-гарант», 1997. – 345 с.
9. Печей, А. Людські якості [Текст] / А. Печей. – М.: Прогрес, 1980. – 321 с.
10. Смирнова, І. П. Результати реалізації програми профілактики і лікування артеріальної гіпертензії [Текст] / І. П. Смирнова, І. М. Горбась // Нова медицина. – 2004. – № 4. – С. 12–14.

References

1. Bredikhina, N. (2006). Oriientatsii naselennia na zdorovyi sposib zhyttia: rehionalnyi aspekt. Cheliabinsk, 153.
2. Haidaiev, Yu. O., Kovalenko, V. M., Kornatskyi, V. M. (2007). Stan zdorov'ya naselennia Ukrainy ta zabezpechennia nadannia medychnoi dopomohy. Kyiv, 97.
3. Geysen, W. J. (1990). The Structure of Safety Science: Definitions, Goals and Instruments. – 1st World Congress on Safety Science: Living in Safety. Teil 1 Koln.
4. Ekolohichna bezpeka. Available at: <http://www.novaecologia.org/voecos-2057-3.html>
5. Ekolohiia yak ody z chynnykiv vplyvu na zdorov'ya liudyny. Available at: <http://www.novaecologia.org/voeco-697.html>
6. Kovalenko, V. M., Kornatskyi, V. M., Dorohoi, A. P. et. al. (2003). Stan sertsevo-sudynnoi patolohii ta shliakhy yoho pokrashchannia v Ukraini. Kyiv, 45.
7. Kovalenko, V. M., Kornatskyi, V. M., Manoilenko, T. S., Prokopyshyn, O. I. (2005). Suchasnyi stan zdorovia narodu ta napriamky yoho pokrashchannia v Ukraini. Kyiv, 141.

8. Lisichkin, V. A., Shelepin, L. A., Boev, B. V. (1997). Zakat civilizatsii, ili Dvizhenie k noosfere: (Ehkologiya s raznyh storon). Moscow: TOO «IC-garant», 345.
9. Pechchei, A. (1980). Liudski yakosti. Moscow: Prohres, 321.
10. Smyrnova, I. P., Horbas, I. M. (2004). Rezultaty realizatsii prohramy profilaktyky i likuvannya arterialnoi hipertenzii. Nova medytsyna, 4, 12–14.

Надійшла (received) 10.05.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз і шляхи вирішення проблем екологічної безпеки в Україні/ Палієнко О. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.147–151. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Анализ и пути решения проблем экологической безопасности в Украине / Палиенко О. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.147–151. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Analysis and ways of solving environmental safety problems in Ukraine/ Palienko O. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241). – P.147–151. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Палієнко Ольга Адольфівна – кандидат історичних наук, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди», доцент кафедри медико-біологічних дисциплін і валеології, вул. Сухомлинського, 30, м. Переяслав-Хмельницький, Київської обл., Україна, 08401; olgapalienko03@gmail.com.

Палиенко Ольга Адольфовна – кандидат исторических наук, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», доцент кафедры медико-биологических дисциплин и валеологии, ул. Сухомлинского, 30, г. Переяслав-Хмельницкий, Киевской обл., Украина, 08401; olgapalienko03@gmail.com.

Paliyenko Olga – candidate of historical Sciences, state higher educational institution «Pereyaslav-Khmelnitsky state pedagogical University named after Hryhoriy Skovoroda», associate Professor of biomedical Sciences and valeology, str., 30, Pereyaslav-Khmelnitsky, Kiev region, Ukraine, 08401; olgapalienko03@gmail.com.

УДК 658.382.3(075) 614.8(075)

В. М. САВЧЕНКО, Н. М. ЦИВЕНКОВА, Л. Г. САВЧЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ, ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ ТА ПРОФЗАХВОРЮВАНOSTІ В ГАЛУЗІ ТВАРИННИЦТВА УКРАЇНИ

Розглянуто рівень професійних ризиків, виробничого травматизму та профзахворюваності в галузі тваринництва України та здійснено їх розподіл за сферами діяльності. Представлено структуру уражень працівників тваринництва, типів захворювань на виробництві та розподіл первинно виявлених профзахворювань і отруєнь за тривалістю впливу на працюючих основних негативних виробничих факторів. Зазначене свідчить про необхідність: дотримання трудової дисципліни; підвищення професійного рівня з техніки безпеки при роботі з машинами, обладнанням та під час обслуговування тварин з метою усунення причин і джерел травмування; підвищення якості навчання та атестації працівників галузі.

Ключові слова: галузь тваринництва, виробничий травматизм, професійний ризик, рівень виробничого травматизму, профзахворювання.

Рассмотрены уровень профессиональных рисков, производственного травматизма и профзаболеваемости в области животноводства Украины и осуществлено их распределение по сферам деятельности. Представлена структура поражений работников животноводства, типов заболеваний на производстве и распределение первично выявленных профзаболеваний и отравлений по продолжительности воздействия на работающих основных негативных производственных факторов. Указанное свидетельствует о необходимости: соблюдения трудовой дисциплины; повышения профессионального уровня по технике безопасности при работе с машинами, оборудованием и при обслуживании животных, с целью устранения причин и источников травмирования; повышения качества обучения и аттестации работников отрасли.

Ключевые слова: отрасль животноводства, производственный травматизм, профессиональный риск, уровень производственного травматизма, профзаболевания.

This article researches the degree of professional risks, occupational injuries and professional sickness in the field of animal husbandry in Ukraine, and their distribution by areas of activity. The structure of occupational injuries of workers of animal husbandry, the types of professional diseases, and a distribution of a primary identified occupational diseases and poisoning effect by the duration of influence on workers of main negative production factors are given. The above mentioned points on necessity of: respecting the technological and labor discipline; improving the level of accident prevention when working with machinery, equipment and during animal care, to exclude the reasons and sources of injury; improving quality of training and certification of workers.

Keywords: animals husbandry, occupational injuries, professional risk, level of production traumatism, professional sickness.

© В. М. Савченко, Н. М. Цивенкова, Л. Г. Савченко. 2017

Вступ. Агропромисловий комплекс посідає третє місце в Україні за рівнем виробничого травматизму. За даними Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки України за 2015 р. в даній галузі травмовано 602 людини, загинуло – 84 [3]. Вищі показники стану виробничого травматизму спостерігаються у працівників вугільної промисловості та соціально-культурної сфери і торгівлі, де травмовано 752 та 898, а загинуло – 19 і 64 людини відповідно. За період 2014-2015 рр. на виробництві АПК загинуло 194 особи, що складає 11,63 % від загальної кількості загиблих на виробництві в Україні [10].

За рівнем нещасних випадків виробничого характеру зі смертельними наслідками агропромисловий комплекс України посідає перше місце, і провідною, за вище зазначеними показниками, є галузь тваринництва. Останнім часом спостерігається тенденція до зменшення числа травмованих в галузі тваринництва, однак ці зміни відбувається на тлі зменшення загальної чисельності працівників галузі та зменшення поголів'я тварин. Так, за ці роки поголів'я великої рогатої худоби зменшилось – на 14,72 %, поголів'я свиней – на 8,83 %, поголів'я овець і кіз – на 11,66 %. Отже, розробка заходів для зниження існуючого рівня виробничого травматизму працівників галузі тваринництва є комплексною задачею, що потребує вирішення шляхом проведення спеціальних наукових досліджень в цьому напрямку.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Проблематика виробничого травматизму, методи оцінки професійних ризиків розкриті в наукових працях вітчизняних та закордонних вчених: Бегуна В.В., Брауна Девіда Б., Водяника А.О., Войналовича О.В., Гогіташвілі Г.Г., Гражданкіна О.І., Кружилка О.С., Лапіна А.П., Лесенка Г.Г., Лехмана С.Д., Полянського О.С., Репіна М.В., Таірової Т.М., Ткачука К.Н., Хенлі Е. Дж., Шкрабака В.С. та ін. [1–10].

Однак праці всіх цих учених переважно висвітлювали рівень виробничого травматизму та умови праці працівників важкої промисловості, атомної енергетики, транспортної галузі. Натомість, майже відсутні роботи, присвячені проблематиці виробничого травматизму аграрного сектору загалом, та галузі тваринництва зокрема, а існуючі наукові праці розкривають питання загального характеру: систему управління охороною праці, соціальний захист працівників та ін.

У наукових працях, в яких аналізуються види небезпечних ситуацій на виробничих процесах аграрного сектору із застосуванням мобільних засобів виробництва, не представлено ґрунтовних досліджень причин та видів виробничого травматизму, не вивчено їх кількісний вплив на настання травмонебезпечних ситуацій.

Отже, існує нагальна проблема дослідження кількісних та якісних показників травматизму тваринницької галузі та здійснення комплексної оцінки ризику травмування на виробництві з урахуванням ймовірності настання нещасного випадку та тяжкості його наслідків для підприємств аграрного сектору.

До недавнього часу в якості показників ризику для галузей аграрного сектору використовувалися

лише коефіцієнти частоти та важкості виробничого травматизму, аналіз яких дозволяв складати ті чи інші прогнози на майбутнє та впроваджувати попереджувальні заходи. Сьогодні показники ризику майже для всіх професій, задіяних у виробничих процесах агропромислового комплексу загалом, та тваринницької галузі зокрема, відсутні, відсутня також класифікація професій за критеріями ризику травмування та захворюваності на виробництві.

Метою роботи є дослідження рівня виробничого травматизму та професійної захворюваності в галузі промислового тваринництва.

Матеріали та методи дослідження. Аналіз виробничого травматизму здійснюється із застосуванням імовірісно-статистичних та детерміністичних методів аналізу. У статті більшою мірою застосовується статистичний метод аналізу травматизму, який базується на вивченні травматизму за документами і звітами. Для оцінки рівня травматизму використовують відносні статистичні коефіцієнти (показники). Використання таких показників дає можливість оцінити динаміку травматизму та професійних захворювань в цілому у галузі промислового тваринництва.

Результати дослідження рівня професійного ризику, виробничого травматизму та профзахворюваності в галузі тваринництва України. Щорічно, в середньому, внаслідок нещасних випадків галузь втрачає близько 700 тис. грн., з яких близько 67 % припадає на виплати потерпілим, членам їх сімей та утриманням померлих, здійснених за рахунок коштів підприємств, інші 33 % припадають на оплату перших п'яти днів тимчасової непрацездатності потерпілих. Близько 5 тис. грн. сплачують підприємства у вигляді штрафів за порушення вимог законодавства про охорону праці, ще близько 22 тис. грн. щорічно витрачається внаслідок псування устаткування, інструменту [10].

Високий рівень травматизму галузі тваринництва зумовлений складністю та особливостями виробничого процесу, серед яких слід відмітити певну циклічність у виконанні робіт, експлуатацію застарілої матеріально-технічної бази, відсутність засобів безпеки, збільшення частки праці з фізичним перенапруженням, низький рівень професійної кваліфікації працівників та робота в несприятливих макро- і мікрокліматичних умовах [6]. До особливостей виробничих процесів в тваринництві відносяться участь в них не тільки людей, а й тварин, а також присутність кормів різного фізико-хімічного складу, різноманітного обладнання. У деяких процесах ще застосовують ручну працю, особливо на допоміжних і вантажно-розвантажувальних операціях. У зв'язку з цим виробниче обладнання часто встановлюють в суміжних невиробничих приміщеннях, внаслідок чого на працівників тваринництва впливають значні фізичні навантаження, тривале перебування в незручній робочій позі, зараження повітря робочої зони мікроорганізмами і сумішшю газів (сірководень, аміак), несприятливий мікроклімат. Сукупний вплив цих факторів викликає перебудову діяльності нервової системи і призводить до появи специфічних і неспецифічних її порушень [4].

Найбільшу групу постраждалих складають скотарі, пастухи, доярки, телятниці, свинарі, конюхи, техніки-осеменатори (на їх частку припадає 39,7 % нещасних випадків в тваринництві). До другої групи (34,2 %) входять працівники, пов'язані з транспортними роботами і обслуговуванням сільськогосподарського обладнання (агрегатів гноєвидалення, парових та водогрійних котлів): механізатори, водії, слюсарі, що обслуговують обладнання тваринницьких ферм і комплексів. На гноєтранспортерах може стати-

ся захват людей елементами похилого транспортера через відсутність огорож, а також травмування електричним струмом при доторканні до корпусу транспортера (за умови експлуатації живильного дроту з пошкодженою ізоляцією на вході у клемну коробку двигуна) [8]. Серед постраждалих також багато сторожів, які гинуть при контакті з тваринами, у пожежах та ін. (рис. 1). Майже 45 % всіх випадків травматизму в тваринництві пов'язано з перебуванням постраждалих у стані алкогольного сп'яніння [10].

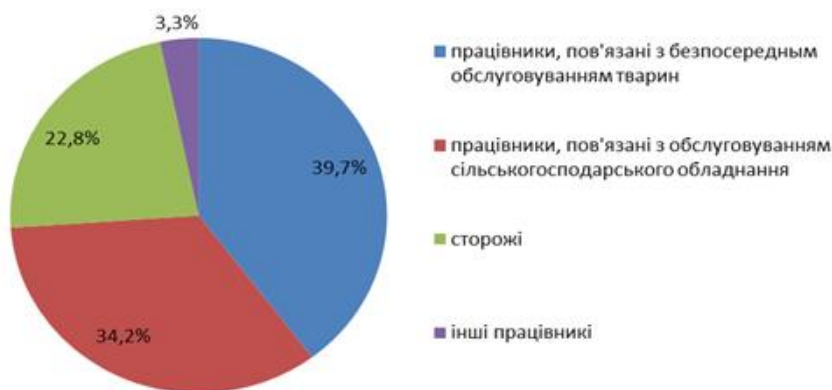


Рис. 1 – Розподіл травматизму та професійних захворювань в галузі тваринництва за сферами діяльності, %

Постійно доводиться констатувати, що допускаються порушення вимог нормативно-правових актів з охорони праці, трудової і виробничої дисципліни на всіх етапах виробництва. Так, на багатьох підприємствах не забезпечується системний підхід до вирішення проблем безпеки праці, управління існуючими ризиками травмування працівників.

Як і раніше вимагає вдосконалення робота з розробки організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки праці при організації та проведенні масових робіт. Більшість порушень, виявлених на підприємствах галузі тваринництва, є наслідком порушень вимог безпеки праці, викладених у нормативно-правових актах, в тому числі технічних, що діють в галузі. При цьому незадовільна організація праці обумовила 67 % нещасних випадків. Нерідкі випадки, коли до виконання робіт з підвищеною небезпекою допускаються працівники, які не пройшли інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці. Так, внаслідок порушення правил безпеки сталося 7,84 % від загальної кількості нещасних випадків. У ряді підприємств галузі відзначаються випадки допуску до експлуатації технічно-несправних тракторів, причепів і складної сільськогосподарської техніки, що не пройшли щорічного технічного огляду. Саме експлуатація несправних машин призвела до 3,69 % травм, що виникли безпосередньо на виробництві.

Основними галузевими актами з охорони праці, що встановлюють вимоги з охорони праці в тваринництві та є основою для створення локальних нормативних актів з охорони праці, є правила, розроблені для різних підгалузей тваринництва (наприклад, «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві» НПАОП 01.1-1.01-00; «Правила охорони праці у тваринництві. Свинарство» НПАОП 01.2-1.09-05; «Правила охорони праці у тваринництві. Ве-

лика рогата худоба» НПАОП 01.2-1.10-05; «Правила охорони праці в птахівництві» НПАОП 01.2-1.03-08; «Правила охорони праці для господарств звірівництва» ДНАОП 2.1.20-1.04-98). Вони є обов'язковими до виконання як роботодавцями, так і працівниками, втім, на більшості підприємствах галузі, ними нехтують [5].

Санітарно-гігієнічні умови роботи в сільському господарстві країни відрізняються тим, що, залежно від типу вентиляції, мікробна забрудненість повітря коливається в межах 34,8 до 155,4 тис.м.т./м, пилова – від 9,6 до 23,2 млн. часток, що в 1,9 рази вище санітарної норми. Це пояснюється тим, що жодна з досліджуваних систем вентиляції не забезпечує рівномірного розподілу свіжого і видалення забрудненого повітря в приміщенні.

Тривожним є і те, що за результатами дослідження ГДК речовин 1-ї і 2-ї груп небезпеки виявилось, що ГДК цих речовин є набагато вищою за порогові значення, а саме: для парів та газу – на 69,7 %; для пилу і аерозолів – на 23,8 %. І при роботі в цих умовах не вирішені питання забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) та спецодягом.

Бактеріальна забрудненість повітря навіть при повітрообміні 35,0 м³/год. виявилася в 7 разів вище нормованої. Встановлено, що вентиляційні системи не забезпечують якість повітряного середовища за бактеріальним складом, забруднюють навколишнє середовище своїми викидами і енергоємні. Енергоспоживання цих систем досягає до 70 % загального споживання енергії в тваринництві.

Істотним недоліком хімічних способів обробки повітряного середовища є те, що після їх здійснення і заселення приміщень тваринами та птицею бак-

теріальна забрудненість швидко досягає гранично-допустимого рівня.

Типи професійних захворювань в тваринництві та їх симптоми розподіляться на групи відповідно до виду контакту між тваринами і людьми (табл. 1). Кон-

такт може відбуватися за допомогою прямої фізичної взаємодії або через будь-яке органічне або неорганічне середовище. Захворювання, характерні для різних галузей тваринництва, можуть групуватися за галузевим принципом.

Таблиця 1 – Типи захворювань, пов'язаних з тваринництвом [9]

Порушення здоров'я після прямого фізичного контакту	Алергічний контактний дерматит, алергічний риніт, укуси, удари, розчавлювання, укуси комах і можлива гіперчутливість, астма, подрипини, травми.
Порушення здоров'я, пов'язані з впливом органічних агентів	Агрохімічне отруєння, стійкість до антибіотиків, хронічний бронхіт, контактний дерматит, алергії від залишкового впливу лікарського харчування, захворювання, що передаються через корми, хвороба фермерського легкого, пневмонії гіперчутливості, подразнення слизової оболонки, професійна астма, синдром отруєння органічним пилом (ODTS), алергії від дії медикаментів, зоонотичні захворювання.
Порушення здоров'я, пов'язані з фізичними агентами	Втрата слуху, травматизм, пов'язаний з машинами і устаткуванням, виділенням метану і парниковим ефектом, кістково-м'язові порушення, стрес.

У структурі професійної захворюваності працівників тваринництва перше місце належить хворобам сенсомоторної системи від функціонального перенапруження: частіше діагностуються хронічні попереково-крижові радикулопатії, ураження опорно-рухового апарату. Виражене напруження нервово-м'язового апарату рук доярок, однотипність рухів, охолодження їх при митті, роздачі кормів і прибирання є причиною розвитку захворювання «працюючої руки». Вібраційна хвороба знаходиться на третьому місці, поступаючись професійним захворюванням бронхолегеневої системи. Вібраційна хвороба частіше розвивається у трактористів, водіїв, що страждають, в більшості випадків, хронічною попереково-крижовою

радикулопатією. Професійні захворювання у працівників тваринництва відрізняються затяжним перебігом, зниженням працездатності на багато років, формуванням складних поєднаних форм уражень [2].

З паразитарних хвороб широко поширені шкірні, викликані шкідливими членистоногими, що різко знижують продуктивність тварин, а часом і викликають їх загибель. Для захисту тварин від комах широко використовують широкий спектр пестицидів, що відрізняються за хімічним складом і напрямком дії. Це призводить до отруєння людей, особливо працівників ветеринарно-санітарних служб, на частку яких припадає до 10 % від усіх професійних захворювань цієї категорії працівників.



Рис. 2 – Структура професійних уражень працівників тваринництва за 2015 р., %

Відзначимо також, що за питомою вагою хронічних професійних захворювань і отруєнь працівники ветеринарно-санітарних служб знаходяться на третьому місці (4,4-5,8 % від усіх категорій працюючих в АПК). Пов'язано це з тим, що оператори з ветеринарно-санітарної обробки тварин до 80-85 % робочого часу знаходяться в контакті з пестицидами і тваринами, коли виникають основні небезпечні ситуації (особливо в момент приготування робочого розчину та обробки тварин). Щільність робочого часу на всіх операціях (при обстеженні або обробці за зміну до 300 голів великої рогатої худоби або до тисячі голів овець) досягає 85-90 %. Такі умови дають підставу віднести працю працівників

ветеринарно-санітарних служб до помірно-напруженої, середньої тяжкості II, а по шкідливості і небезпеці – до класу 3.1 [7]. Роботи з лікарськими, дезінфекційними речовинами, інсектоакарицидними препаратами ведуть до збільшення професійного ризику. Ступінь відхилення в стані здоров'я працюючих, що переходить в захворюваність, залежить від способу обробки тварин, дози речовини, експозиції, складу речовини, фізіологічного стану оператора, наявності та відповідності ЗІЗ, умов навколишнього середовища. Первинно виявлені випадки професійних захворювань у функції тривалості впливу шкідливого фактора наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Розподіл первинно виявлених професійних захворювань і отруєнь за тривалістю впливу на працюючих основних несприятливих виробничих факторів, % [1]

Шкідливі виробничі чинники	Тривалість дії факторів, років								
	До року	1–4	5–9	10–14	15–19	20–24	25–29	30–34	35 і більше
Пестициди	38,1	7,1	4,8	21,4	7,1	7,1	7,1	4,8	2,5
Аміак	59,6	8,5	7,7	7	6,5	4,2	2,3	2,1	2,1
Пил, оксид кремнію	0,6	3,1	8,5	18,4	16,2	19,4	14,1	11,5	8,2
Біологічні	13,7	17,1	15,8	13	12	11	6,6	6,3	4,5
Фізична напруга	-	1	6,6	11,5	15,8	21,3	17,1	17,1	9,6

Як видно, на перший рік контакту з пестицидами припадає найбільший відсоток професійних захворювань, викликаних отруєннями пестицидами. Причина тому – низький рівень професіоналізму працюючих з пестицидами і специфічні дії шкідливих речовин на організм, а також адаптаційні властивості організму. Відмітимо і те, що забезпеченість побутовими приміщеннями, в яких працюють з пестицидами, становить менше 72 % (значна частина з них не відповідає необхідній номенклатурі – відсутні душові, гардеробні, кімнати відпочинку). Такий стан веде до збільшення ризику виникнення професійних захворювань, при цьому, оскільки до професійної патології схильні, як правило, особи працездатного віку, соціально-економічна значимість проблеми є високою.

Хронічні форми професійної патології найчастіше виявляються у працівників у віці 50 років і старше, а гострі форми захворювань і отруєнь – в 30-45 років. Середній вік хворих з, вперше встановленим діагнозом, становить 40-44 роки.

Висновки. Отже, основною причиною травмування працівників є порушення організації трудового процесу, тобто допуск до роботи без проведення інструктажу, без професійної підготовки, відсутність інструкцій з охорони праці, тощо. Наведені відомості змушують звернути увагу, перш за все, на необхідність дотримання технологічної і трудової дисципліни, на підвищення професійного рівня в частині вимог техніки безпеки при роботі з машинами та обладнанням, при обслуговуванні тварин, на усунення причин і джерел травмування, на підвищення якості навчання та атестації працівників і підвищення вимогливості під час атестації. Це стосується, в рівній мірі, як підготовки фахівців (з охорони праці, в тому числі) в навчальних закладах, так і перепідготовки на виробництві.

Список літератури:

1. Баранов, Ю. Н. Методология обеспечения безопасности на животноводческих комплексах [Текст] / Ю. Н. Баранов, Р. В. Шкрабак, Ю. Н. Брагинцев; под ред. В. С. Шкрабака. – СПб.: Изд-во ООО «Литера», 2013. – 502 с.
2. Баранов, Ю. Н. Снижение травматизма работников животноводства [Текст] / Ю. Н. Баранов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 10. – С. 16–19.
3. Відомості про стан виробничого травматизму за дванадцять місяців 2015 рік [Електронний ресурс]. – Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України. – Режим доступу: <http://www.dnpp.gov.ua/index.php/uk/operativna-informatsiya/travmatizm/11245-vidomosti-pro-stand>

4. [virobnichogo-travmatizmu-za-dvanadtsyat-misyatsiv-2015-rik](#) Марчишина, Є. І. Ризик виникнення травматизму для окремих виробничих процесів та професій у тваринництві [Текст] / Є. І. Марчишина, О. М. Губернюк, Т. М. Тайрова // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2010. – Вип. 144. – С. 348–353.
5. Новак, Т. С. Охорона праці в тваринництві: недоліки правового забезпечення [Текст] / Т. С. Новак // Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України. – 2012. – № 4. – С. 114–120.
6. Пістун, І. П. Охорона праці в галузі сільського господарства (тваринництво, птахівництво) [Текст]: навч. пос. / І. П. Пістун, А. П. Березовецький, С. А. Березовецький. – Суми: Університетська книга, 2012. – 504 с.
7. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [Текст]. – Міністерство охорони здоров'я України, 2014. – № 248. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>
8. Рудницький, Б. О. Аналіз травматизму і професійних захворювань в галузі тваринництва та заходи по їх запобіганню [Текст] / Б. О. Рудницький, А. В. Спірін, В. Б. Туровська, В. Б. Рудницький // 36. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2014. – Вип. 1. – С. 118–124.
9. Тваринництво. На допомогу спеціалісту з охорони праці [Текст]. – 2012. – № 6. – С. 28–38.
10. Травматизм на виробництві у 2014–2015 рр. [Електронний ресурс]. – Державна служба статистики України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

Bibliography (transliterated):

1. Baranov, Yu. N., Shkrabak, R. V., Bragincev, Yu. N.; Shkrabak, V. S. (Ed.) (2013). Metodologiya obespecheniya bezopasnosti na zhivotnovodcheskih kompleksah. SPb.: Izd-vo ООО «Litera», 502.
2. Baranov, Yu. N. (2006). Snizhenie travmatizma rabotnikov zhivotnovodstva. Mekhanizatsiya i ehlektrifikatsiya sel'skogo hozyaystva, 10, 16–19.
3. Vidomosti pro stan vyrobnychoho travmatyzmu za dvanadtsiat misyatsiv 2015 rik. Derzhavna sluzhba hirnnychoho nahliadu ta promyslovoi bezpeky Ukrainy. Available at: <http://www.dnpp.gov.ua/index.php/uk/operativna-informatsiya/travmatizm/11245-vidomosti-pro-stand-virobnichogo-travmatizmu-za-dvanadtsyat-misyatsiv-2015-rik>
4. Marchyshyna, Ye. I., Hubermyuk, O. M., Tairova, T. M. (2010). Ryzik vynykennia travmatyzmu dlia okremykh vyrobnychkh protsesiv ta profesii u tvarynnystvi. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy, 144, 348–353.
5. Novak, T. S. (2012). Okhorona pratsi v tvarynnystvi: nedoliky pravovoho zabezpechennia. Naukovi zapysky Instytutu zakonodavstva Verkhovnoi Rady Ukrainy, 4, 114–120.
6. Pistun, I. P., Berezovetskyi, A. P., Berezovetskyi, S. A. (2012). Okhorona pratsi v haluzi sil'skoho hospodarstva (tvarynnystvo, ptakhivnytstvo). Sumy: Universytetska knyha, 504.
7. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihienichna klasyfikatsiia pratsi za pokaznykamy shkidlyvosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychoho seredovyscha,

- vazhkosti ta napruzhenosti trudovoho protsesu» (2014). Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy, No. 248. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>
8. Rudnytskyi, B. O., Spirin, A. V., Turovska, V. B., Rudnytskyi, V. B. (2014). Analiz travmatyzmu i profesiinykh zakhvoriuvan v haluzi tvarynnystva ta zakhody po yikh zapobihanniu. Zb. nauk. prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky, 1, 118–124.
 9. Tvarynnystvo. Na dopomohu spetsialistu z okhorony pratsi (2012). 6, 28–38.
 10. Travmatyzm na vyrobnytstvi u 2014–2015 rr. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Available at: <http://www.ukrstar.gov.ua/>

Надійшла (received) 23.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження рівня професійного ризику, виробничого травматизму та профзахворюваності в галузі тваринництва України/ Савченко В. М., Цивенкова Н. М., Савченко Л. Г. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.151–156. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Исследование уровня профессионального риска, производственного травматизма и профзаболеваемости в отрасли животноводства Украины/ Савченко В. М., Цивенкова Н. М., Савченко Л. Г. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 19(1241). – С.151–156. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Researching the level of professional risk, production traumatism and professional sickness in the field of animals husbandry of Ukraine/ Savchenko V., Tsyvenkova N., Savchenko L. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241).– P.151–156. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Савченко Василь Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем факультету інженерії та енергетики, Житомирський національний агроекологічний університет; Старий бульвар, 7, м. Житомир, Україна, 10008; e-mail: dgs-ua@ukr.net.

Савченко Василь Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем факультету інженерії та енергетики, Житомирський національний агроекологічний університет; Старий бульвар, 7, м. Житомир, Україна, 10008; e-mail: dgs-ua@ukr.net.

Vasyl Savchenko – PhD, Associate Professor, Head of Department of machines usage and services of technological systems of the Faculty of Engineering and Energetic, Zhytomyr National Agroecological University, Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, Ukraine, 10008; dgs-ua@ukr.net.

Цивенкова Наталія Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри механіки та інженерії агроєкосистем факультету інженерії та енергетики, Житомирський національний агроекологічний університет; Старий бульвар, 7, м. Житомир, Україна, 10008; e-mail: nataliyatsyvenkova@gmail.com.

Цивенкова Наталья Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и инженерии агроэкоосистем факультета инженерии и энергетики, Житомирский национальный агроэкологический университет; Старый бульвар, 7, г. Житомир, Украина, 10008; e-mail: nataliyatsyvenkova@gmail.com.

Nataliya Tsyvenkova – PhD, Associate Professor of the Department of mechanics and agroecosystems engineering of the Faculty of Engineering and Energetic, Zhytomyr National Agroecological University, Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, Ukraine, 10008; e-mail: nataliyatsyvenkova@gmail.com.

Савченко Людмила Григорівна – кандидат історичних наук, асистент кафедри механіки та інженерії агроєкосистем факультету інженерії та енергетики, Житомирський національний агроекологічний університет; Старий бульвар, 7, м. Житомир, Україна, 10008; e-mail: dgs-ua@ukr.net.

Савченко Людмила Григорьевна – кандидат исторических наук, ассистент кафедры механики и инженерии агроэкоосистем факультета инженерии и энергетики, Житомирский национальный агроэкологический университет; Старый бульвар, 7, г. Житомир, Украина, 10008; e-mail: dgs-ua@ukr.net.

Lyudmyla Savchenko – PhD, Assistant of the Department of mechanics and agroecosystems engineering of the Faculty of Engineering and Energetic, Zhytomyr National Agroecological University, Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, Ukraine, 10008; e-mail: dgs-ua@ukr.net.

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 658.562.012.7

Г. О. ОБОРСЬКИЙ, Л. М. ПЕРПЕРІ, Г. М. ГОЛОБОРОДЬКО

ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ОСВІТНІХ ПРОГРАМ

Розглянуто підходи до оцінювання компетентностей та вимірювання результатів навчання на рівнях освітніх програм та окремих освітніх компонент за допомогою використання побудов дерев для аналізу співвідношення: компетентності – програмні результати навчання – результати навчання освітніх компонент. Запропоновано матрицю оцінювання відповідності результатів навчання, яка може бути використана в якості ефективного інструменту для оцінювання якості результатів навчання на етапі розробки освітніх програм.

Ключові слова: освітні програми, компетентнісна модель, результати навчання, якість, оцінювання.

Рассмотрены подходы к оценке компетентностей и измерению результатов обучения на уровнях образовательных программ и отдельных образовательных компонент посредством использования построенных деревьев для анализа соотношения компетентности – программные результаты обучения – результаты обучения образовательных компонент. Предложена матрица оценивания соответствия результатов обучения, которая может быть использована в качестве эффективного инструмента для оценки качества результатов обучения на этапе разработки образовательных программ.

Ключевые слова: образовательные программы, компетентностная модель, результаты обучения, качество, оценивание.

The issues related to the development of approaches to the evaluation of competencies and the measurement of training results at the levels of educational programs and individual educational components are discussed through the use of logical trees for the analysis of the relationship: competence - program training results - training results of educational components. As a result of the research it is established that the competence training model is built on the results of training in the context of the activity of internal quality assurance systems of higher education institutions should be aimed at ensuring the requirements of all stakeholders, namely: that the results of education are prescribed at the level of educational programs and educational components; can reach a certain level and be evaluated as a result of the use of controls at those stages in which they are planned. The proposed matrix for assessing the conformity of training results can be used as an effective tool for assessing the quality of training results at the stage of developing educational programs.

Keywords: educational programs, competency model, learning outcomes, quality, evaluation.

Вступ. В умовах переходу підготовки здобувачів вищої освіти за компетентнісними моделями перед вітчизняними ВНЗ постає завдання реалізації компетентного підходу до розробки освітніх програм та розробки нових методів навчання, викладання з метою забезпечення досягнення студентами запланованих програмних результатів навчання, які мають відображати рівень засвоєння компетентностей.

У відповідності до визначень у Законі «Про вищу освіту»: компетентність – динамічна комбінація знань, вмінь і практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних і громадянських якостей, морально-етичних цінностей, яка визначає здатність особи успішно здійснювати професійну та подальшу навчальну діяльність і є результатом навчання на певному рівні вищої освіти; результати навчання – сукупність знань, умінь, навичок, інших компетентностей, набутих особою у процесі навчання за певною освітньо-професійною, освітньо-науковою програмою, які можна ідентифікувати, кількісно оцінити та виміряти [1]. У відповідності до визначення Національної рамки кваліфікацій (НРК): результати навчання – компетентності (знання, розуміння, уміння, цінності, інші особисті якості), які набуває та/або здатна продемонструвати особа після завершення навчання [2].

При формулюванні компетентностей та результатів навчання у контексті освітньо-професійних та освітньо-наукових програм необхідно залучати всіх стейкхолдерів (зацікавлених сторін – майбутніх роботодавців, експертів професійного середовища, акаде-

мічної спільноти, здобувачів освіти) до співпраці при їх розробці. Така співпраця дозволить розробити освітні програми, які відповідатимуть сучасним вимогам у сфері професійної діяльності майбутніх фахівців з урахуванням потреб ринку праці. Залучення студентів при розробці програм з метою реалізації моделі студентоцентрованого навчання і викладання надасть змогу стимулювати їх мотивації в освітньому процесі [3, 4]. При цьому нові освітні технології та методи викладання запропоновані академічною спільнотою для забезпечення досягнення студентами запланованих програмних результатів навчання, можна розглядати як спосіб формування компетентностей. Але постає ще одне важливе питання – це оціночні засоби, та інструменти вимірювання, які необхідні для доказу (визначення) рівня сформованості компетентностей та вимірювання результатів навчання.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Сучасний підхід до реалізації освітніх програм та провадження студентоцентрованого навчання регламентується вимогами і критеріями Стандартів і рекомендацій щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (ESG). Освітні програми знаходяться у центрі місії ВНЗ та мають відповідати цілям та інституційній стратегії [5]. Політика ВНЗ повинна визначати керівні принципи підходів вищу до оцінювання. Оцінювання, по-перше, повинно сприяти залученню здобувачів освіти до процесу навчання і повинно заохочувати і підтримувати їх.

© Г. О. Оборський, Л. М. Перпері, Г. М. Голобородько. 2017

По-друге, заходи оцінювання досягнення результатів навчання мають надавати докази задоволення критеріїв якості засвоєння програми, наприклад, при акредитації освітньої програми. Успішне засвоєння програми залежить від ефективної організації процесів при реалізації освітньої програми, побудованої на основі компетентнісної моделі. Це дозволить здобувачам демонструвати результати навчання та випускати вищим конкурентоспроможних фахівців, здатних використовувати отримані знання, вміння та володіти сучасними технологіями в рамках отриманих спеціальностей [6-8]. Тому актуальним завданням для ВНЗ є визначення принципів ефективного оцінювання компетентностей і гарантування того, що існує узгодженість між цілями навчання і провадженням освітньої діяльності спрямованої на досягнення запланованих результатів навчання.

Ціль та задачі дослідження. Метою є розробка підходів до системи оцінювання компетентностей та вимірювання результатів навчання в рамках діяльності внутрішньої системи забезпечення якості ВНЗ.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Визначити методику оцінювання якості засвоєння освітньої програми.
2. Розробити інструменти для чіткого визначення як результати навчання представлені на рівні освітньої програми та інтегровані в освітніх компонентах.

Матеріали та методи дослідження. Формування компетентностей здобувачів здійснюється впродовж навчання в процесі вирішення завдань практичного і дослідницького характеру на основі отриманих теоретичних знань та при генеруванні нових ідей. Між компетентностями та результатами навчання освітньої програми існує співвідношення: компетентність як сукупність результатів навчання, необхідних для визначення рівня її сформованості.

Оцінювання результатів навчання під час самоаналізу або проходження процедури акредитації освітньої програми має здійснюватися за освітніми компонентами, тобто окремими дисциплінами, практиками, індивідуальними дослідницькими завданнями тощо. Цей процес безпосередньо пов'язаний з діяльністю професорсько-викладацького персоналу, перед якими постає завдання розробити програми дисциплін, практик та ін., з використанням відповідних методів навчання, викладання, критеріїв оцінювання для забезпечення досягнення студентами очікуваних результатів навчання.

Для реалізації освітньої програми, побудованої на основі компетентнісної моделі, необхідно розробити нову систему оцінювання, наразі не існує загальновизнаних методів оцінювання компетентностей та вимірювання результатів навчання. Це завдання кожний ВНЗ має вирішувати самостійно у контексті діяльності внутрішньої системи забезпечення якості. Ця система повинна бути спрямована на оцінювання не з метою контролю, як було раніше, а на оцінювання з метою розвитку. Оцінювання можна розглядати, як потужний стратегічний інструмент для викладачів, яке буде направляти здобувачів до ефективних під-

ходів вивчення і відповідно до покращення результату. Проблемним питанням стає реалізація вимірюваності результатів навчання, яка носить більш практичний характер та пов'язана з необхідністю розробки нового інструментарію достовірного кількісного вираження (оцінювання), засобів контролю, які мають носити уніфікований характер в рамках діяльності університету.

Для вирішення цього питання необхідно визначити співвідношення між компетентністю та результатами навчання окремих освітніх компонент. Рівень сформованості компетентності може визначатися при засвоєнні, як однієї так і декількох дисциплін, проходженні практик, виконанні індивідуальних дослідницьких завдань тощо. У відповідності до Закону України «Про вищу освіту» результати навчання мають бути ідентифіковані. Для забезпечення ідентифікації при описі результатів навчання окремих освітніх компонент доцільно використовувати класифікацію за Б. Блумом. Результати навчання мають бути діагностичними, тобто повинні мати об'єктивні ознаки їх досягнення чи недосягнення, кількісно оціненими та вимірюваними. Засобами і методами вимірювання і оцінювання та предметною областю оцінювання займається така наука як – кваліметрія. Методи кваліметричного аналізу застосовують у випадках, коли потрібно дати кількісну оцінку якості будь-якого об'єкта [9, 10]. Для того щоб здійснити процес оцінювання якості необхідно розробити методику оцінювання якості, яка має відповідати на два питання: Що оцінювати? Як оцінювати? Для того щоб відповісти на перше питання проаналізуємо з чого складається якість засвоєння освітньої програми. Якість освітньої програми можна розглядати як ієрархічну сукупність властивостей, котра представляє інтерес для споживачів цієї програми для забезпечення їх конкурентоспроможності на ринку праці. Рівень якості засвоєння освітньої програми здобувачами освіти можна оцінювати за комплексною властивістю, в якості якої може виступати – інтегральна компетентність за відповідним кваліфікаційним рівнем НРК. Інтегральна компетентність, як комплексна властивість якості розглядається на найнижчому рівні ієрархічної сукупності властивостей (0 рівень), а його складові, менш узагальнені властивості на більш високому рівні (n рівень). Кількість рівнів залежить від ступені деталізації властивостей. Інтегральна компетентність складається з сукупності загальних та спеціальних компетентностей. В свою чергу загальні компетентності, за методологією Tuning [11], розподіляються на інструментальні, міжособистісні та системні, а спеціальні – на предметні, фахові та інноваційні. Кожна окрема група компетентностей визначається програмними результатами навчання, сформульованими у дескрипторах НРК, а саме – знання (З), уміння (У), комунікація (К), автономія та відповідальність (АВ). Кількість програмних результатів навчання сформульовані з використанням конкретних дескрипторів НРК залежить від приналежності компетентності до групи. Графічно цей взаємозв'язок між компетентностями і програмними результатами навчання може бути представлений у

вигляді неповного дерева, який можна використувати для аналізу співвідношення: інтегральна компетентність → загальні компетентності → спеціальні компетентності → результати навчання при розробці освітніх програм, представлено на рис. 1.

Комплексне оцінювання якості можна розглядати як поетапний процес: від оцінки простих властивостей до складних властивостей якості з переходом до якості в цілому. Програмні результати навчання можуть бути оцінені за сукупністю результатів навчання освітніх компонент. Для визначення ще більш простих властивостей необхідно перейти до формування піддерев за якими можна визначити взаємозв'язок з результатами навчання окремих освітніх компонент. На рис. 2, в якості прикладу, представлені піддерева для реалізації співвідношення інструментальної компетентності (а) та предметної компетентності (б) з програмними результатами навчання та результатами навчання окремих освітніх компонент при розробці їх навчальних програм.

Набір результатів навчання окремих освітніх компонент (в дескрипторах НРК – З, У, К, АВ) залежить від властивостей конкретної компетентності. Найбільш значущі компетентності, які мають комплексний характер і належать до предметної області або безпосередньо пов'язані з спеціальними знаннями в цій області та визначають профіль програми мають бути розкриті в дескрипторах НРК – З, У, К, АВ. При

цьому компетентності які сприяють розвитку творчих здатностей та знаходять відображення в способах вирішення задач міждисциплінарного характеру спеціальності мають бути розкриті в дескрипторах НРК – У, АВ.

Формування результатів навчання кожної освітньої компоненти мають відповідати наступним вимогам: відповідати завданням і змісту освітньої компоненти; не повинні бути надлишковими по відношенню до кількості кредитів; відповідати запланованим видам навчальної діяльності та освітнім технологіям; бути діагностованими до відповідних компетентностей та вимірюваними в результаті використання засобів контролю на тих етапах, на яких вони заплановані.

Програмні результати навчання мають бути узгоджені з цілями та змістом освітньої програми, оцінені на відповідність стандартам вищої освіти за спеціальністю. При співставленні програмних результатів навчання з освітніми компонентами необхідно визначитися з освітніми технологіями, із змістом та методами реалізації навчального процесу, які забезпечать досягнення запланованих результатів навчання. Контрольно-вимірювальні засоби мають відповідати задачам оцінювання для конкретних результатів навчання на рівні освітньої програми. Для визначення відповідності програмних результатів навчання можна користуватися матрицею оцінювання відповідності (табл. 1).

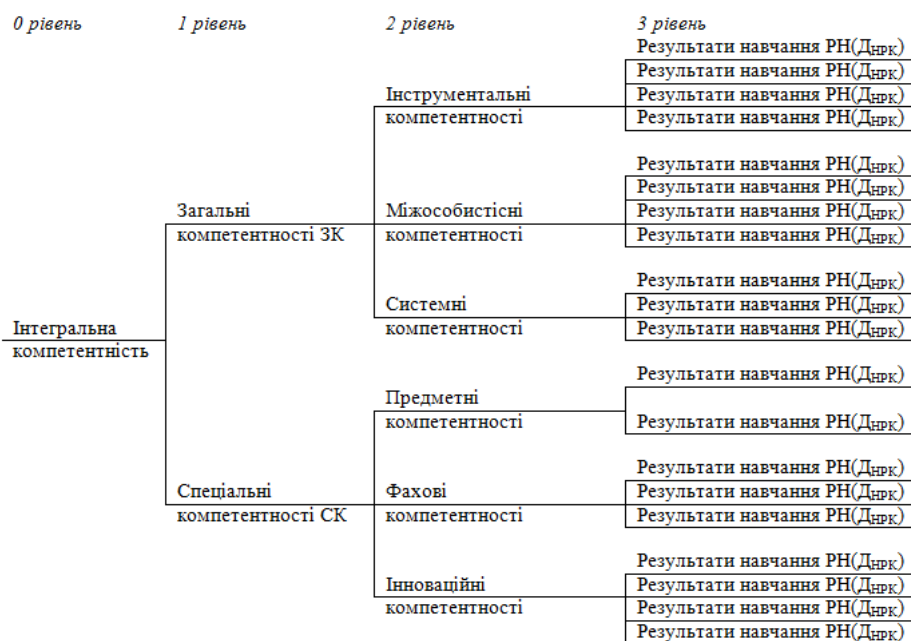


Рис. 1 – Неповне дерево для аналізу співвідношення: інтегральна компетентність → загальні компетентності → спеціальні компетентності → результати навчання у дескрипторах НРК (ДНРК) при розробці освітніх програм

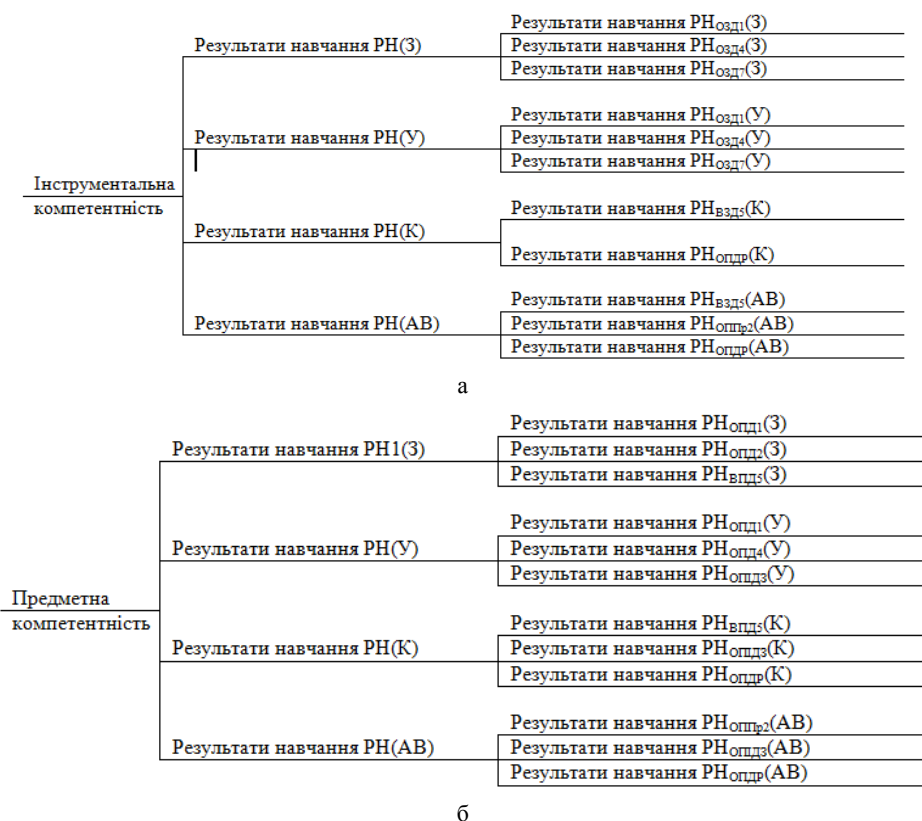


Рис. 2 – Піддерева для аналізу співвідношення компетентність → програмні результати навчання → результати навчання при розробці програм окремих освітніх компонент: а – інструментальної; б – предметної компетентностей; О – обов’язкова частина; В – вибіркова частина; З – загальна підготовка; П – професійна підготовка; Д – дисципліна; Пр – практика; ДР – дипломна робота; ІДЗ – індивідуальне дослідницьке завдання

Таблиця 1 – Матриця оцінювання відповідності програмних РН

РН на рівні освітньої програми	Відповідність з РН стандарту вищої освіти за спеціальністю та потребами регіону (вимоги майбутніх роботодавців)	Освітня компонента; Освітні технології (ОТ); Методи викладання (МВ)	Контрольно-вимірювальні засоби (КВЗ)
РН1.	РНі (нормативний зміст стандарту)	Освітня компонента (дисципліна Д _{ОЗ} . ОТ: МВ:	КВЗ _ж .
.....			
РН25.	РНп (фахове спрямування за спеціалізацією)	Освітня компонента (дисципліна Д _{ВП} . ОТ: МВ:	КВЗ _ж
		Освітня компонента (практика Пр _{ОП} . ОТ: МВ:	КВЗ _ж

Обговорення результатів дослідження. В результаті проведених досліджень необхідно відмітити, що компетентісна модель навчання побудована на результатах навчання в контексті діяльності внутрішніх систем забезпечення якості ВНЗ має бути спрямована на забезпечення вимог всіх стейкхолдерів, а саме в тому що: результати навчання прописані на рівні освітніх програм та освітніх компонентів у відповідності до національної рамки кваліфікацій; можуть досягати певного рівня та бути оціненими в результаті використання засобів контролю на тих етапах, на яких вони заплановані; інформація стосовно результатів навчання при засвоєнні

освітніх програм має бути оприлюднена та знаходитись у вільному доступі.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Побудова дерев для аналізу співвідношення: інтегральна компетентність → загальні компетентності → спеціальні компетентності → результати навчання при розробці освітніх програм та для аналізу співвідношення: компетентність → програмні результати навчання → результати навчання при розробці програм окремих освітніх компонент, надає змогу обрати із всіх можливих найкращий варіант, з урахуванням різних критеріїв

щодо особливостей освітніх програм (практично-орієнтованих, дослідницьких та ін.)

2. Запропонована матриця оцінювання відповідності результатів навчання може бути використана в якості ефективного інструменту при визначенні узгодження з цілями та змістом освітньої програми, співставленні програмних результатів навчання з освітніми компонентами, інтеграції результатів навчання при визначенні послідовності освітніх компонент та необхідні для цього освітні технології, зміст та форми навчання з використанням відповідних контрольно-вимірних засобів.

Список літератури:

1. Закон України «Про вищу освіту» [Текст]. – Верховна Рада України, 2014. – № 1556-VII. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18/page>
2. Постанова КМУ «Про затвердження Національної рамки кваліфікацій» [Текст]. – Кабінет Міністрів України, 2011. – № 1341. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF>
3. Bers, T. H. The role of institutional assessment in assessing student learning outcomes [Text] / T. H. Bers // New Directions for Higher Education. – 2008. – Vol. 2008, Issue 141. – P. 31–39. doi: [10.1002/he.291](https://doi.org/10.1002/he.291)
4. Healey, M. Reflections on engaging students in the process and product of strategy development for learning, teaching, and assessment: an institutional case study [Text] / M. Healey, K. Mason O'Connor, P. Broadfoot // International Journal for Academic Development. – 2010. – Vol. 15, Issue 1. – P. 19–32. doi: [10.1080/13601440903529877](https://doi.org/10.1080/13601440903529877)
5. Стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (ESG) [Текст]. – К.: ТОВ «ЦС», 2015. – 32 с.
6. Adamson, L. Quality assurance and learning outcomes [Text] / L. Adamson, M. Becerro, P. Cullen, L. González-Vega, J. J. Sobrino, N. Ryan. – European Association for Quality Assurance in Higher Education, ENQA Workshop report, 2010.
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. Розвиток системи забезпечення якості вищої освіти в Україні: інформаційно-аналітичний огляд [Текст] / ред. С. Калашнікова, В. Луговий. – Київ: ДП «НВЦ «Пріоритети»,

2015. – 84 с.

9. Азгальдов, Г. Г. Квалиметрия для всех [Текст]: уч. пос. / Г. Г. Азгальдов, А. В. Костин, В. В. Садовов. – М.: ИД ИнформЗнание, 2012. – 165 с.
10. Мурашев, Ю. Г. Квалиметрический анализ [Текст]: уч. пос. / Ю. Г. Мурашев, А. А. Гайков-Алехов. – СПб., 2006. – 108 с.
11. Вступне слово до проекту Тьонінг – гармонізація до освітніх структур у Європі. Внесок університетів у Болонський процес [Текст]. – Socrates – Tempus, 2006. – 108 с.

Bibliography (transliterated):

1. Zakon Ukrainy «Pro vyshchu osvitu» (2014). Verkhovna Rada Ukrainy, No. 1556-VII. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18/page>
2. Postanova KМУ «Pro zatverdzhennya Natsional'noyi ramky kvalifikatsiy» (2011). Kabinet Ministriv Ukrainy, No. 1341. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF>
3. Bers, T. H. (2008). The role of institutional assessment in assessing student learning outcomes. New Directions for Higher Education, 2008 (141), 31–39. doi: [10.1002/he.291](https://doi.org/10.1002/he.291)
4. Healey, M., O'Connor, K. M., Broadfoot, P. (2010). Reflections on engaging students in the process and product of strategy development for learning, teaching, and assessment: an institutional case study. International Journal for Academic Development, 15 (1), 19–32. doi: [10.1080/13601440903529877](https://doi.org/10.1080/13601440903529877)
5. Standarty i rekomendatsiyi shchodo zabezpechennya yakosti v Yevropeys'komu prostori vyshchoyi osvity (ESG) (2015). Kyiv: TOV «TsS», 32.
6. Adamson, L., Becerro, M., Cullen, P., González-Vega, L., Sobrino, J. J., Ryan, N. (2010). Quality assurance and learning outcomes. European Association for Quality Assurance in Higher Education, ENQA Workshop report.
7. Gugin, V. P., Goloborod'ko, A. M., Perperi, L. M., Glushkova, E. N. (2014). Monitoring, izmerenie i ocnka kachestva professional'noy podgotovki specialistov. Shlyakhy realizatsiyi kredytno-modul'noyi systemy orhanizatsiyi navchal'noho protsesu i testovykh form kontrolyu studentiv, 9, 14–17.
8. Kalashnikova, S., Luhovy, V. (Eds.) (2015). Rozvytok systemy zabezpechennya yakosti vyshchoyi osvity v Ukraini: informatsiyno-analitychnyy ohlyad. Kyiv: DP «NVTs «Priorytety», 84.
9. Azgal'dov, G. G., Kostin, A. V., Sadovov, V. V. (2012). Kvalimetriya dlya vsek. Moscow: ID InformZnaniye, 165.
10. Murashev, Yu. G., Gaykov-Alekhov, A. A. (2006). Kvalimetricheskiy analiz. Sankt-Peterburg, 108.
11. Vstupne slovo do proektu Tyuninh – harmonizatsiya do osvitykh struktur u Yevropi. Vnesok universitetiv u Bolons'ky protses (2006). Socrates – Tempus, 108.

Надійшла (received) 10.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Підходи до оцінювання компетентностей та вимірювання результатів навчання освітніх програм/ Оборський Г. О., Перпери Л. М., Голобородько Г. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.157–162. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Подходы к оцениванию компетентностей и результатов обучения образовательных программ/ Оборский Г. О., Перпери Л. М., Голобородько А. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.157–162. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Approaches to assessment of the competences and measurement of learning outcomes of the educational programs/ Oborskyi H., Perperi L., Goloborodko G. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – No 19 (1241). – P.157–162. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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. Шевченка, 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.

Пернері 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: imp.mvms@ukr.net.

Пернери Людмила Михайловна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, консультант центра по обеспечению качества высшего образования, доцент кафедры металлорежущих станков, метрологии и сертификации ; пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: imp.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: imp.mvms@ukr.net.

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. Шевченка, 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

Прихна Т. А., Барвицкий П. П., Дуб С. Н., Свердун В. Б., Карпец М. В., Мощиль В. Е., Муратов В. Б., Васильев О. О. Синтез, спекание, структура и свойства материалов на основе AlB_{12}	3
Жданюк Н. В., Биков О. І. Характеристика структури органофілізованого палигорськиту і його спорідненість по відношенню до хроматів	11
Богатирчук А. С., Романенко В. М. Визначення напруженого стану навколо отворів в циліндричній оболонці із композитного матеріалу	16
Рудик О. Ю. Іонне-азотування: регулювання фізико-механічних властивостей	22
Білошицька О. К., Клименко Т. А. Дослідження показників епілептичних ЕЕГ-сигналів за допомогою методів нелінійної динаміки	30
Ащепкова Н. С. Моделювання та аналіз точності позиціювання маніпулятора	34
Максименко В. Б., Шлыков В. В., Данилова В. А. Обнаружение тепловых неоднородностей для последовательности изображений в видео термограмм	42
Адоньєв Є. О., Верещага В. М. Принципи геометричної кореляції при побудові моделей багатofакторних ситуацій і процесів	48
Ганзя Р. С. Вдосконалення методу нормування в кільці р-адичних чисел	53
Святний В. А., Мірошкін О. М., Гриша В. В. Реалізація зв'язку з системою АСКОВЕ через GSM-мережу	64
Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Управление роспуском составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями	72
Мошноріз М. М. Автоматизована система водопостачання, яка складається з двох насосних агрегатів	80
Порван, А. П. Высоцкая, Е. В. Новикова, И. В. Макайда С. В. Моделирование структуры данных информационной системы выявления ранних признаков нарушения механизмов гомеостаза биологической системы в экстремальных условиях	86
Броварець О. О. Математичні моделі для визначення площі контактів робочих електродів технічної системи оперативного моніторингу варіабельності агробіологічного стану ґрунтового середовища сільськогосподарських угідь	94
Подостроєць К. О. Дослідження впливу дестабілізуючих факторів на вимірювання еталонних базисних відстаней геодезичного полігону	103
Федоров Н. В., Хренов А. М. Оптимизация технологических режимов работы локальных подсистем инженерной сети	107
Фешанич Л. І., Олійник А. П. Метод виявлення явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів	114
Баженов В. Г., Шиндерук Т. Д. Аналіз можливостей кореляційного методу визначення джерела акустичної вибухової хвилі	119
Годун Н. І., Кебкало Т. Г., Миздренко О. М., Харченко Н. А., Буц М. А. Сучасні тенденції викладання основ безпеки життєдіяльності у педагогічних ВНЗ в умовах модульно-рейтингової системи	124
Єрічева Т. Ю. Виробничий травматизм: актуальні аспекти та методи аналізу причин	131
Миздренко О. М., Годун Н. І., Харченко Н. А. Параметри мікроклімату: їх нормування та вплив на здоров'я людини	136

Москалюк І. В., Сакун Н. Н., Нагорнюк В. Ф. Екологічна ситуація в Україні	141
Палієнко О. А. Аналіз і шляхи вирішення проблем екологічної безпеки в Україні	147
Савченко В. М., Цивенкова Н. М., Савченко Л. Г. Дослідження рівня професійного ризику, виробничого травматизму та профзахворюваності в галузі тваринництва України	151
Оборський Г. О., Перпері Л. М., Голобородько Г. М. Підходи до оцінювання компетентностей та вимірювання результатів навчання освітніх програм	157

CONTENTS

Prikhna T., Barvitskyi P., Dub S., Sverdun, V. Karpets M., Moshchil V., Muratov V., Vasiliev O. Synthesis, sintering, structure and properties of AlB_{12} -based materials	3
Zhdanyuk N., Bykov O. Characteristics of organofilized palygorskite and of its affinity toward chromates	11
Bogatyrchuk A., Romanenko V. Determination of the stress state around holes in a cylindrical shell made of a composite material	16
Rudyk A. Ion-nitriding: regulation of physical and mechanical properties	22
Biloshytska O., Klymenko T. Analysis of the parameters of EEG signals with epileptic activity using nonlinear methods	30
Aschepkova N. Modeling and analysis of the manipulator accuracy	34
Maksymenko V., Shlykov V., Danilova V. Detection of thermal inhomogeneities for a sequence of images in video thermograms	42
Adoniev Y., Vereshchaga V. Principles of geometric correlation in the construction of models of multifactorial situations and processes	48
Hanzia R. Improving of methods of norm computation in the ring of p-adic numbers	53
Svjatniy V., Miroshkin A., Hrysha Realization of connection with automated system of commercial electricity metering through the GSM- network	64
Kozachenko D., Grevtsov S., Bolvanovska T. Handling of the trains' breaking-up process on the sorting humps with non-mechanized target braking positions	72
Moshnoriz M. Automated water supply system consisting of two pump units	80
Porvan, A. Vysotska, O. Novikova, I. Makayda S. Modeling of data structure of the information system for detecting early appearance of a violation biological systems' homeostasis mechanisms under extreme conditions	86
Brovarets O. Mathematical models for determining the contact area of the working electrodes of the technical system of operational monitoring of the variability of the agrobiological state of the soil environment of agricultural land	94
Podostroets K. Investigation of the influence of destabilizing factors on measurements of standard reference base lines of a geodesic polygon	103
Fedorov N, Khrenov A. Optimization of technological modes of operation of local subsystems of an engineering network	107
Feshanych L., Olijnyk A. The method of detecting the surging phenomenon in centrifugal blowers of gas pumping units	114
Bazhenov V., Shynderuk T. Analysis of possibilities of correlation method for determining the source of acoustic blast	119

Godun N., Kebkalo T., Mizdrenko O., Kharchenko N., Buzz M. Modern tendencies for the foundation of life safety in pedagogical high schools in conditions modular rating system	124
Yericheva T. Occupational injury: actual aspects and methods of causation analysis	131
Mizdrenko O., Godun N., Kharchenko N. Parameters of microclimate: their normalization and influence on human health	136
Moskaliuk I., Sakun N., Nahorniuk V. Ecological situation in Ukraine	141
Palienko O. Analysis and ways of solving environmental safety problems in Ukraine	147
Savchenko V., Tsyvenkova N., Savchenko L. Researching the level of professional risk, production traumatism and professional sickness in the field of animals husbandry of Ukraine	151
Oborskyi H., Perperi L., Goloborodko G. Approaches to assessment of the competences and measurement of learning outcomes of the educational programs	157

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

№ 19(1241) 2017

Наукові редактори: д-р техн. наук, проф. Д. О. Дьомін
д-р техн. наук, проф. О. В. Акімов
Технічний редактор П. С. Пензев

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

Обл.-вид. №10-17

Підп. до друку 09.06.2017р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 8. Облік.вид.арк. 8,75.
Наклад 100 прим. Зам. № 19-17. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи
ДК №3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Друкарня "Технологічний Центр"
Свідоцтво про державну реєстрацію №1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4, тел. (057)750-89-90