

ЗМІСТ

С. Ф. Петренко, О. Г. Новаковський, В. С. Антонюк, Є. В. Скорина, Ю. Ю. Бондаренко. Особливості проведення досліджень мікрогеометрії та поверхневих властивостей діелектричних матеріалів для мікро- і нанoeлектроніки	5
В. І. Хотунов, І. П. Частокотенко, А. П. Марченко. Розробка веб-орієнтованого додатка firefighter.....	14
В. М. Рудницький, Л. А. Шувалова, О. Б. Нестеренко. Побудова примітивів строгого стійкого кодування мінімальної складності	21
В. А. Іванюк, О. О. Ситник, Ю. Стертен. Дослідження еквівалентних форм представлення динамічних моделей вимірювальних перетворювачів методом обчислювальних експериментів.....	27
С. М. Первунінський, В. В. Олексюк. Аналіз бінарного цифрового модема шумових сигналів з урахуванням впливу квадратичної складової демодулятора	35
К. В. Базіло. Дослідження електричного імпедансу п'єзoeлектричного диска з секторними електродами.....	41
V. I. Kunchenko-Kharchenko, O. M. Panasko. Information security in Ukraine. Context of normative legal supply.....	46
Т. О. Прокопенко, В. І. Крезуб. Моделювання інформаційних потоків в системах управління проектно-орієнтованими підприємствами	53
О. П. Плахотний. Підвищення точності розмірної електрохімічної обробки дрітним електродом на основі моделювання тривимірних електростатичних полів.....	60
Є. В. Ланських, С. В. Сисосенко. Дослідження математичної моделі двохоперандного групового матричного криптографічного перетворення.....	67
Л. Д. Мисник. Управління формуванням та реалізацією підготовки і проведення контролю знань при дистанційному навчанні студентів	75
Т. В. Савельєва, О. М. Панаско, О. М. Пригодюк. Аналіз методів і засобів для реалізації ризик-орієнтованого підходу в контексті забезпечення інформаційної безпеки підприємства	81
О. А. Тригуб, Л. А. Тарандушка, Б. Ю. Бичок. Алгоритмізація процесів роботи системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля.....	90
Т. П. Гончаренко, Л. І. Жицька. Аналіз і оцінка ризиків захворювання населення залежно від якості атмосферного повітря в місті Черкаси у 2017 році.....	97
Т. Є. Вуж. Інформаційна технологія аналізу просторово-хронологічного впливу на стан атмосферного повітря стаціонарних у просторі об'єктів за умов невизначеності.....	105
В. В. Туз, Т. Ю. Кісіль. Дослідження та вибір оптимальної схемотехнічної моделі біморфного п'єзоелемента динамічних тисків з двоконтуровим від'ємним зворотним зв'язком	114
Р. В. Трембовецька, В. В. Тичков, Ю. А. Петрушко. Дослідження багатокомпонентної оптичної системи для світло-лазерної терапії.....	122
S. V. Burmistrov, O. M. Panasco, N. V. Kovalska. Matrix method of parallel decomposition for minimization of symmetric Boolean functions in the form of extended polynomial	130
О. М. Мирошник. Технологія експертного визначення рівня техногенної безпеки житла у будинках підвищеної поверховості.....	136

CONTENTS

S. F. Petrenko, A. G. Novakovskii, V. S. Antoniuk, E. V. Skorina, Yu. Yu. Bondarenko. Features of microgeometry response and surface properties of dielectric materials for micro- and nanoelectronics	5
V. I. Khotunov, I. P. Chastokolenko, A. P. Marchenko. Developing of the website firefighter	14
V. M. Rudnitsky, L. A. Shuvalova, O. B. Nesterenko. Creation of primitives of strict sustainable coding of minimal complexity	21
V. A. Ivanyuk, O. O. Sytnyk, Jo Sterten. Research of equivalent forms of representation of dynamic models of measuring converters by the method of computational experiments.....	27
S. M. Pervuninsky, V. V. Oleksjuk. Analysis of binary digital modem of noise signals taking into account the effect of demodulator quadratic component.....	35
C. V. Bazilo. Research of electrical impedance of piezoelectric disk with sector electrodes	41
V. I. Kunchenko-Kharchenko, O. M. Panasko. Information security in Ukraine. Context of normative legal supply	46
T. O. Prokopenko, V. I. Krezub. Modeling of information flows in management systems of project-oriented enterprises	53
O. P. Plakhotnyi. Enhancement of accuracy of dimensional electrochemical processing by a wire electrode on the basis of three-dimensional electrostatic field modeling	60
Ye. V. Lanskykh, S. V. Sysoienko. Study of mathematical model of two-operand group matrix cryptographic transformation	67
L. D. Mysnyk. Management by formation and implementation of training and knowledge control at distance learning of students	75
T. V. Savelieva, O. M. Panasko, O. M. Prigodyuk. Analysis of methods and means to implement a risk-oriented approach in the context of providing enterprise information security.....	81
O. A. Trigub, L. A. Tarandushka, B. Yu. Bichok. Algorithmization of the processes of the system of automatic ventilation of the car body.....	90
T. P. Honcharenko, L. I. Zhytska. Analysis and estimation of the risks of the population disease depending on the quality of atmospheric air in the city of Cherkasy in 2017.....	97
T. Ye. Vuzh. Information technology of the analysis of spatial-temporal influence on the state of atmospheric air of stationary in space objects under conditions of uncertainty	105
V. V. Tuz, T. Yu. Kisil. Investigation and selection of optimized circuit model of bimorph piezoelectric element of dynamic pressure with dual-circuit inverse feedback.....	114
R. V. Trembovetska, V. V. Tychkov, Yu. A. Petrushko. The research of multicomponent optical system for light-laser therapy	122
S. V. Burmistrov, O. M. Panasco, N. V. Kovalska. Matrix method of parallel decomposition for minimization of symmetric Boolean functions in the form of extended polynomial	130
O. M. Miroshnik. Technology of expert determination of technological security of housing in multi-storey buildings.....	136

С. Ф. Петренко¹, д.т.н., професор
НПК ТОВ «ЛИЛЕЯ», Київ, Україна

О. Г. Новаковський¹,

В. С. Антонюк¹, д.т.н., професор

Є. В. Скорина²,

Ю. Ю. Бондаренко², к.т.н., доцент

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна

²Черкаський державний технологічний університет

бульвар Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ МІКРОГЕОМЕТРІЇ ТА ПОВЕРХНЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ МІКРО- І НАНОЕЛЕКТРОНІКИ

У статті коротко розглянуті особливості проведення дослідження мікрогеометрії і поверхневих властивостей діелектричних матеріалів для мікро- і наноелектроніки із застосуванням методу АСМ. Показано переваги та обмеження застосування цього методу для дослідження поверхні і поверхневих властивостей діелектриків.

Ключові слова: мікрогеометрія, діелектрик, мікроелектроніка, наноелектроніка, атомно-силового мікроскопія.

Актуальність. Сучасні тенденції розвитку технологій виготовлення компонентів і пристроїв комп'ютерних мікросистем, які знаходять широке застосування як для наукових досліджень, так і в прикладній практиці, спрямовані в бік мініатюризації таких пристроїв аж до нанометричних розмірів. При цьому основною вимогою до таких технологій залишається дотримання високої ефективності і надійності виготовлених елементів комп'ютерних систем. Проте реалізація цього завдання неможлива без сучасних засобів і методів дослідження мікрогеометрії, механічних і фізичних властивостей поверхні матеріалів, з яких виготовлені ці елементи.

Як показав аналіз літературних та інформаційних джерел Інтернет [1–5], на сьогодні не існує універсального неруйнівного методу дослідження стану поверхні та її фізико-механічних властивостей, який мав би високу точність вимірювання і контролю цих параметрів і в той же час високу продуктивність і оперативність вимірювання.

Серед найбільш поширених методів дослідження поверхні (рис. 1) необхідно виділити мікроскопічні методи дослідження як такі, що разом з високими точністю, роздільною здатністю (близько 10^{-8} ... 10^{-10} м) і продуктивністю (час отримання одного знімка топогра-

ми поверхні – від декількох секунд до декількох хвилин) мають високу збіжність і достовірність результатів дослідження, а також дають можливість не тільки вимірювати мікрогеометрію поверхні, але й отримувати дані щодо хімічного складу, електричних і магнітних властивостей матеріалів, будови й структури їх поверхні.

Серед існуючих методів дослідження поверхні найбільш прогресивним та універсальним вважається метод атомно-силової мікроскопії (АСМ). АСМ не вимагає спеціальної підготовки досліджуваного зразка, при цьому метод є неруйнівним, має високу точність (до одиниць ангстрем) і чутливість дослідження ($\approx 10^{-8}$ Н).

Значний науковий внесок у розвиток новітніх методів дослідження в галузях точного приладобудування, зокрема у метод атомно-силової мікроскопії, зробили багато вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема: Биков В. А., Бінніг Г., Брушан Б., Гербер К., Карбівський В. Л., Куейт К., Міронов В. Л., Рожицький М. М., Рорер Х., Свірдьонок А. І., Снежко Д. В., Чижик С. А. та інші [6–10]; а вирішенню задач підвищення точності вимірювання нанорельєфу та механічних характеристик поверхонь методом атомно-силової мікроскопії присвячені роботи: Дуба С. М.,

Жавнерка Г. К., Занавескіна М. Л., Кузнецової Т. А., Курільонка М. А., Литвин П. М.,

Магонова С. М., Свірідової О. В., Суслова А. А., Толстіхіної А. Л. та інших [11–15].

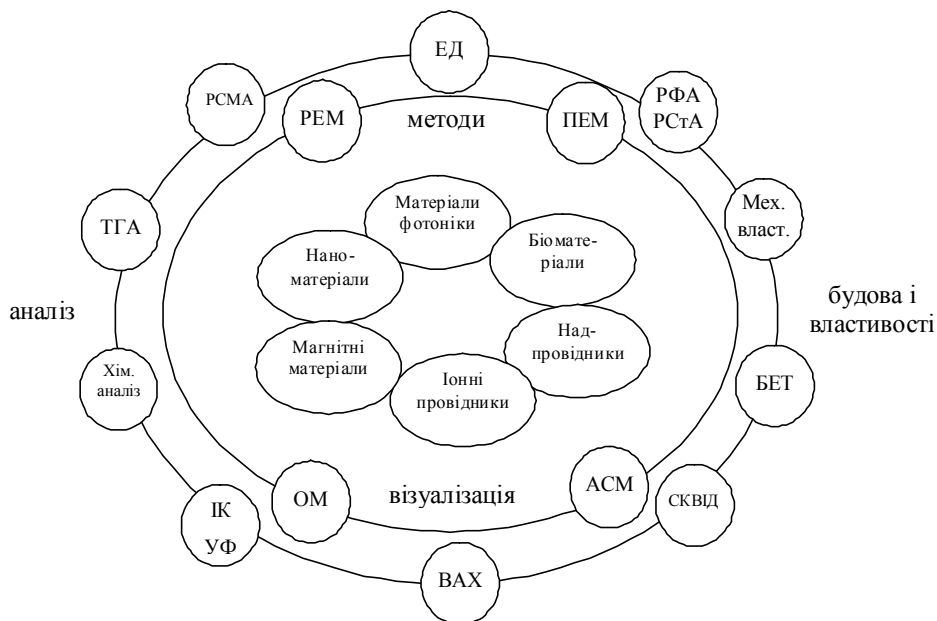


Рис. 1. Методи дослідження сучасних матеріалів:

ОМ – оптична мікроскопія, РЕМ – растрова електронна мікроскопія, ПЕМ – електронна мікроскопія, що працює на просвітлення, АСМ – атомно-силова мікроскопія, РСМА – рентгеноспектральний мікроаналіз,

РФА – рентгенофазовий аналіз, РСтА – рентгеноструктурний аналіз, ЕД – дифракція електронів,

ІЧ – спектроскопія в інфрачервоній області, УФ – спектроскопія у видимій і ультрафіолетовій областях,

ТГА – термічний аналіз, ВАХ – визначення вольт-амперних характеристик, СКВІД – вимірювання магнітних властивостей, БЕТ – визначення площі поверхні

Проте, незважаючи на бурхливий розвиток методу, проблема проведення дослідження мікрогеометрії і поверхневих властивостей діелектричних матеріалів із застосуванням методу атомно-силової мікроскопії є актуальною.

Метою статті є встановлення особливостей проведення дослідження мікрогеометрії та поверхневих властивостей діелектричних матеріалів методом атомно-силової мікроскопії, а також переваг і обмежень використання цього методу при дослідженні діелектричних матеріалів.

Принцип роботи та особливості проведення досліджень методом атомно-силової мікроскопії.

Принцип роботи атомно-силового мікроскопа полягає у взаємодії вимірювального інструмента АСМ із досліджуваною поверхнею за рахунок міжмолекулярних сил притягування і відштовхування [16, 17]. У міру наближення зонда до досліджуваної поверхні атоми вістря зонда і поверхні починають при-

тягуватися. Сила притягування буде збільшуватися доти, поки атоми не будуть настільки близькі, що їх електронні оболонки почнуть відштовхуватися під дією електростатичних сил. Згодом сили притягування і сили електростатичного відштовхування врівноважуються на відстані між зондом і поверхнею близько двох ангстрем. У цей момент сумарна сила взаємодії стає позитивною (силою відштовхування), що означає факт міжатомного контакту.

Подальше підведення зонду АСМ до досліджуваної поверхні веде до збільшення сили відштовхування внаслідок взаємодії ядер атомів об'єктів взаємодії. Таке збільшення сили відштовхування продовжується до моменту фізичного контакту зонду з поверхнею.

Розглянемо функціональну схему роботи атомно-силового мікроскопу (рис. 2) [18], а також проведемо дослідження принципів дії основних елементів та функціональних вузлів цих приладів.

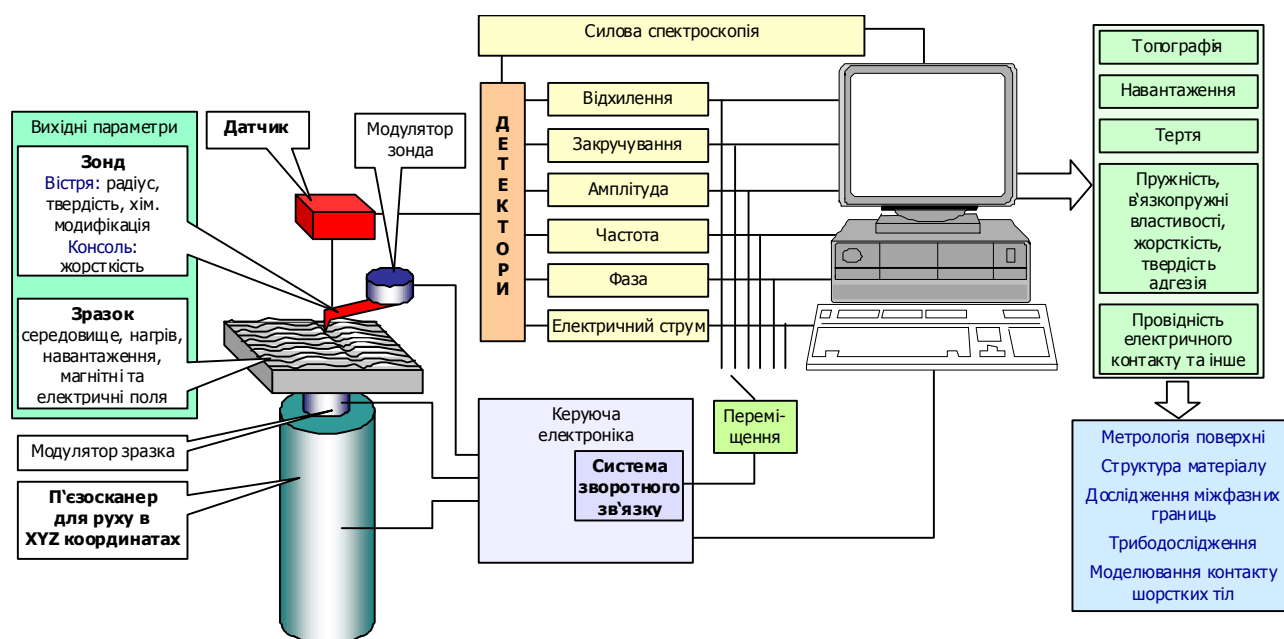


Рис. 2. Функціональна схема атомно-силового мікроскопу [18]

Вимірювальною системою АСМ є консоль, розташована на п'єзоелектричному чипі, на вільному кінці якої розташований зонд. У міру наближення зонда до досліджуваної поверхні між ними виникають сили взаємодії, які залежать від того, наскільки близько знаходиться досліджувана поверхня. Використання вимірювального блока дає змогу відстежити мікрогеометрію і механічні властивості поверхонь з високою точністю і чутливістю, що стає можливим шляхом використання сучасних методів мікроелектроніки і мікрооптики, проте останні обмежені технічними характеристиками матеріалів, з яких виготовлена вимірювальна система.

Залежно від відстані між досліджуваним зразком і зондом розрізняють такі режими роботи АСМ: контактний режим, безконтактний режим, а також напівконтактний режим («tape-mode»), що є проміжним режимом між першими двома.

При контактному режимі (відомому також як режим відштовхування) вістря зонда приходить в контакт із досліджуваною поверхнею. Сила відштовхування врівноважує практично будь-яку силу, яка намагатиметься зблизити атоми. Для АСМ це означає, що, якщо вимірювальна консоль притискає вістря зонда до досліджуваної поверхні, то скоріше відбудеться згинання консолі, аніж цій силі вдасться наблизити зонд до поверхні.

Для контактного режиму сила відштовхування врівноважується капілярними силами

(які виникають при дослідженні зразка на повітрі). Рельєф досліджуваної поверхні формується, як правило, або в режимі постійної висоти, або в режимі постійної сили. У першому випадку консоль рухається в горизонтальній площині, а значення відштовхування реєструється в кожній точці. В іншому випадку, за допомогою системи зворотного зв'язку, на постійному рівні підтримуються відхилення консолі, тобто сила взаємодії його із зразком. Переміщення зразка або консолі здійснюється за допомогою п'єзоелектричного маніпулятора.

У безконтактному режимі, також відомому як режим притягування, АСМ відстежує сили Ван-дер-Ваальса між вістрям зонда і зразком. Відстань між вістрям і зразком в цьому режимі становить близько 5-10 нм. На такій відстані електронні орбіталі атомів вістря зонда починають синхронізуватися з електронними орбіталями атомів зразка. В результаті виникає слабе притягування, оскільки в будь-який момент атоми зонда і зразка поляризуються в одному напрямку. У вільному просторі ці атоми будуть наближатися доти, поки сильне електричне відштовхування, описане раніше, не стане переважаючим. У безконтактному режимі роботи АСМ сумарна сила між зондом і зразком становить приблизно 10^{-12} Н. Це є перевагою для дослідження м'яких і пружних зразків, а також зразків із кремнію, які не забруднюються при контакті з зондом.

У напівконтактному режимі система АСМ моделює механічні коливання консолі на частоті, близькій до резонансної (30–300 кГц), з амплітудою в декілька нанометрів. Величина резонансної частоти залежить від зовнішньої прикладеної сили, і тому в процесі наближення вістря зонда до поверхні зразка частота змінюється, оскільки при цьому змінюється сила Ван-дер-Ваальса. Відштовхуюча

сила стабілізує пружну реакцію консолі і збільшує резонансну частоту, тоді як дія сил притягування – зменшує резонансну частоту. При роботі в напівконтактному режимі система зворотного зв'язку переміщує пристрій вгору та вниз, зберігаючи амплітуду або резонансну частоту консолі постійною.

Особливості режимів, їх переваги та недоліки наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння основних режимів роботи АСМ

Режим сканування Режим роботи АСМ		Статичний	Динамічний
Контактний	+	Високий латеральний дозвіл. Можливість визначення взаємної деформації в системі «вістря – поверхня»	Можливість визначення площі контакту і модуля пружності. Високий силовий дозвіл ($\sim 10^{-12}$ Н). Незначний температурний дрейф
	–	Висока ймовірність пошкодження поверхні. Низький силовий дозвіл ($\sim 10^{-9}$ Н). Схильність до температурного дрейфу	Висока ймовірність пошкодження поверхні. Модуляція порушує адгезійну взаємодію між вістря і поверхнею
Безконтактний	+	Робота без пошкодження поверхні	Робота без пошкодження поверхні. Високий силовий дозвіл. Незначний температурний дрейф
	–	Низький силовий і просторовий дозвіл. Схильність до температурного дрейфу	Низька просторова роздільна здатність ($\sim 10^{-9}$ м)

У той же час особливістю атомно-силового мікроскопа є не тільки можливість дослідження нанопрофілю і топографії поверхні. АСМ також може використовуватися для різних фізичних і механічних вимірювань поверхневих властивостей на нанорівні. Детальніша інформація про вимірювання, які можуть проводитися за допомогою АСМ, наведена нижче.

Дослідження топології поверхні. Дослідження наногеометрії поверхні – найбільш затребуваний метод АСМ. Разом з високою роздільною здатністю він дозволяє відобразити мікрорельєф поверхні з точністю по висоті близько 0,1–0,2 нм.

У процесі реалізації методу модуляції сили одночасно зі скануванням зразка в режимі постійної висоти зонд (або зразок) здійснює вертикальні періодичні коливання. У момент торкання зондом поверхні консоль деформується пропорційно нерівностям поверхні зразка. При цьому тиск зонда на поверхню

зразка не залишається постійним, а містить періодичну (зазвичай, синусоїдальну) компоненту. Відповідно до локальної жорсткості зразка величина відповідних нерівностей буде змінюватися в процесі сканування. На жорстких ділянках поверхні зразка поглиблення, пов'язані з деформаційним впливом зонда, будуть менш виразними, ніж на м'яких ділянках. При цьому, відстеження рельєфу поверхні зразка проводиться з використанням усередненого вигину консолі в системі зворотного зв'язку.

Серед обмежень методу АСМ в дослідженні топології поверхні слід зазначити високу чутливість методу до змін фізичних параметрів досліджуваного зразка: його хімічного складу, твердості, адгезії, що ускладнює отримання та інтерпретацію даних топографії для ряду матеріалів. Ще одна проблема, яка обмежує використання цього методу, – артефакти на поверхні зразка при його дослідженні в динамічному режимі і низька збіжність

вимірювань в результаті зношуваності зонда в контактному режимі. Також слід відмітити таку не вирішену досі проблему, як неточність та «тремор» зображення поверхні при скануванні ділянок, менших за 1 нм (рис. 3), що пов'язано з температурним дрейфом, мікровібрацією навколишнього середовища і механічною інерцією самої системи.

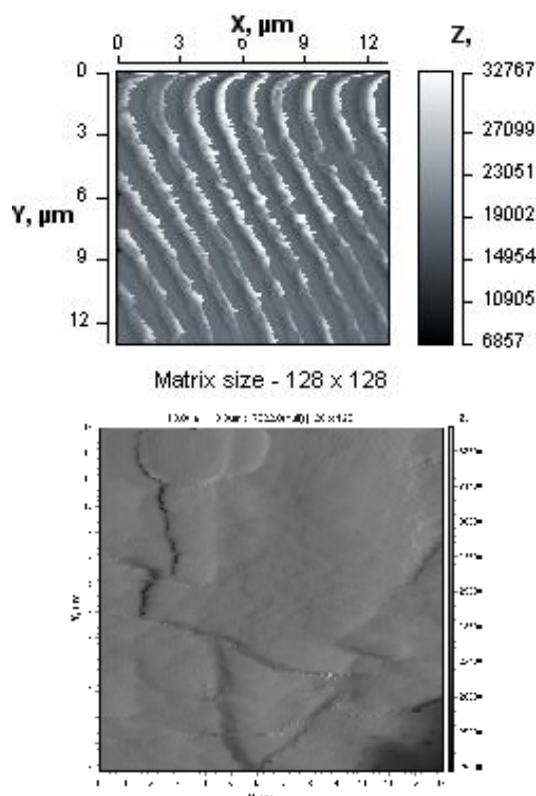


Рис. 3. Топограма поверхні ділянки дифракційної решітки, сформованої на оптичному склі K8 методом низькоенергетичної електронно-променевої мікрообробки (вгорі) і ділянки поверхні кремнієвої пластини під виробі мікроелектроніки після хімічного травлення (знизу). На профілі дифракційної решітки чітко простежуються сліди «тремору» внаслідок дії мікровібрацій у приміщенні, де експлуатується атомно-силовий мікроскоп

Механічні вимірювання. Динамічна силова і латеральна силова спектроскопія, які можуть бути реалізовані в методі АСМ, дозволяють отримувати дані про силову і молекулярну взаємодію між зондом АСМ і досліджуваною поверхнею (рис. 4).

Використання цих методів відкриває нові перспективи при дослідженні розподілу сил тертя між двома поверхнями, що труться, в різноманітних мікроелектромеханічних пристроях і системах [18, 19].

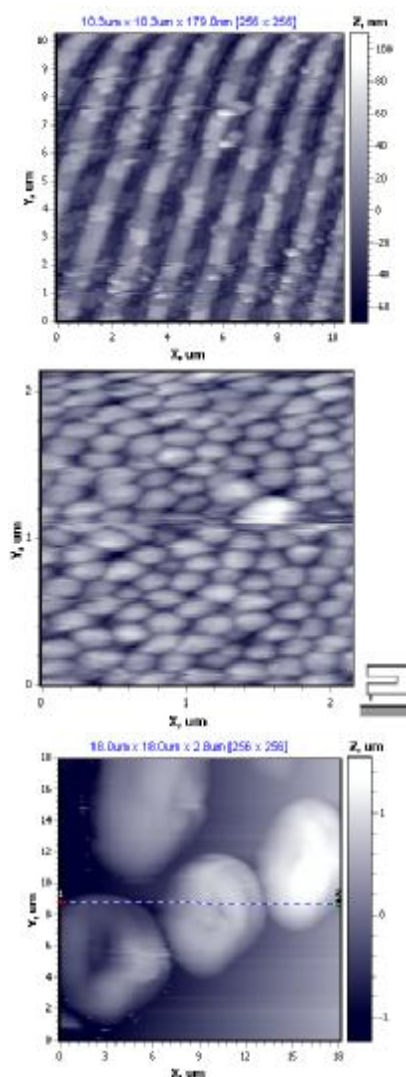


Рис. 4. Приклади розподілу сил тертя, отриманих динамічною силовою спектроскопією на неоднорідних діелектричних поверхнях

Ще одним прикладом застосування методу АСМ для досліджень механічних властивостей поверхні є осцилююча мікротрібометрія, яка дозволяє проводити дослідження на зношуваність окремих фаз і структурних утворень матеріалів (рис. 5), в результаті чого можна проводити аналіз тертя і зношення діелектричних поверхонь на мікро- і нанорівнях. Прикладні застосування цього методу відкривають широкі перспективи для його використання при дослідженні трибометричних характеристик діелектричних поверхонь.

Аналогом скануючої тунельної спектроскопії для АСМ є можливість отримувати залежності сили взаємодії зонда з поверхнею зразка від відстані між ними – так звані криві підведення чи відведення.

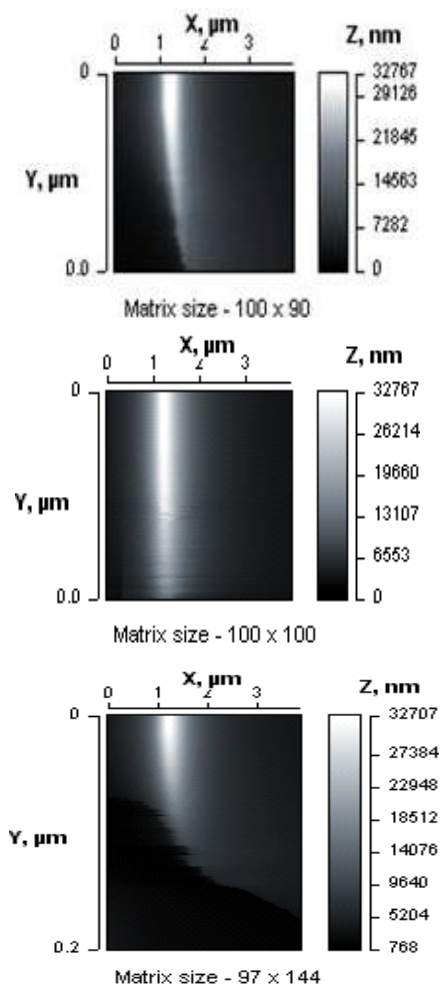


Рис. 5. Карта амплітудно-частотної візуалізації процесу тертя зонда АСМ по поверхні кремнієвої пластини до очищення (вгорі), після хімічного травлення (в центрі) та після очищення і подальшого змащування (знизу) (метод осцилюючої мікротрибометрії)

Ці криві важливі для вимірювання вертикальної сили, що прикладається до поверхні з боку вістря в процесі сканування. Крім того, аналізуючи зміни форми цієї кривої, можна оцінювати в'язкість забруднення поверхні, товщину в'язкого шару різних рідин, адсорбованих на поверхні діелектрика, а також місцеві варіації пружних властивостей поверхні.

Серед методик проведення механічних вимірювань слід виділити метод наноіндентування як такий, що з досить високою точністю дозволяє отримувати інформацію про нанотвердість окремих нанометричних ділянок досліджуваної поверхні. Наноіндентування проводиться шляхом аналізу механічного відгуку поверхні зразка на вдавлювання наносенсорів АСМ (рис. 6).

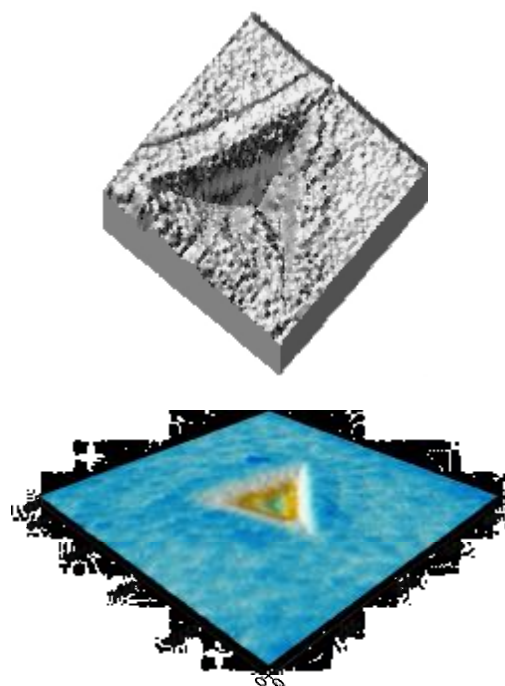


Рис. 6. АСМ-зображення відбитка наноіндентора на кремнії

Наноіндентування діелектричної поверхні з метою визначення її нанотвердості – найбільш широко розвинений і часто вживаний метод досліджень фізико-механічних властивостей поверхонь діелектриків, що проводиться з використанням АСМ. За допомогою цього методу можна визначити не лише нанотвердість поверхні, але й її модуль пружності, при цьому точність його визначення становить 10-15 %, що є досить високим значенням при визначенні модуля Юнга.

Обмеження методу АСМ при механічних вимірюваннях поверхні пов'язані з труднощами при розшифруванні одержуваної в експериментах інформації, необхідністю вибору і побудови математичної моделі механічної взаємодії, а також не досить високою точністю проведення аналізу. Також обмеження методу пов'язані з необхідністю використання спеціальних зондів, які вимагають юстування після кожного циклу сканування.

Слід відзначити, що, наприклад, методом осцилюючої мікротрибометрії можна отримувати лише якісні характеристики, а отримання кількісних характеристик можливе лише шляхом порівняння коефіцієнтів тертя між досліджуваною поверхнею і еталонною поверхнею з відомим коефіцієнтом тертя.

Дослідження електричних і магнітних властивостей поверхні. Контактна електросилова мікроскопія може бути реалізована на базі методу АСМ і, як правило, використовується для дослідження напівпровідникових структур [5]. При цьому зображення магнітного або електричного поля можна отримати при двократному скануванні досліджуваної поверхні в напівконтактному режимі. За перший прохід сканується топографія поверхні, у другий прохід зонд рухається, повторюючи профіль поверхні, але на певній відстані від неї. Для отримання поля розподілу поверхневих зарядів можна використовувати контактний режим роботи АСМ. У цьому режимі на консоль подається зсув $U_{tip} = U_{dc} + U_{ac} \sin(\omega t)$, де U_{ac} – напруга збудження коливальних.

Сканування проводиться в режимі постійної сили з одночасним вимірюванням електричних сил. Ємнісна сила $F_{cap}(z)$ між зондом і поверхнею, що знаходиться при потенціалі U_s , дорівнює $F_{cap}(z) = \frac{1}{2}(U_{tip} - U_s)^2 \frac{dC}{dz}$, де $C(z)$ є ємністю конденсаторної системи «зонд-поверхня», що залежить від геометрії зонда, рельєфу поверхні і відстані зонд-поверхня. В контактній електросилової мікроскопії реєструється вплив першої гармоніки $F_{cap}(z)$ на коливання консолі.

Серед обмежень методу АСМ при дослідженні електричних і магнітних властивостей поверхні треба відзначити наступне. Якість дослідження залежить від якості провідного покриття на зонді: забруднена поверхня і ненадійний електричний контакт, а також знос провідного покриття на зонді та утворення оксидного шару на ньому при контакті з досліджуваною поверхнею призводять до значного погіршення якості і точності одержуваного результату, а також до виникнення артефактів зображення.

Висновки. В статті проведено огляд особливостей дослідження мікрогеометрії і поверхневих властивостей діелектричних матеріалів для мікро- і наноелектроніки методом атомно-силової мікроскопії, а також переваг і обмежень використання останнього для дослідження діелектричних матеріалів для мікро- та наноелектроніки.

Проведений аналіз літературних та інформаційних джерел показав відсутність універсального неруйнівного методу дослідження стану поверхні та її фізико-механічних

властивостей. У той же час серед існуючих методів дослідження поверхні найбільш прогресивним і універсальним виступає метод атомно-силової мікроскопії, який не вимагає спеціальної підготовки досліджуваного зразка, є неруйнівним, має високу точність (до одиниць ангстрем), чутливість дослідження ($\approx 10^{-8}$ Н), а також має високу продуктивність та оперативність дослідження.

Розглянуто основні напрямки досліджень топограм, механічних і електромагнітних властивостей поверхонь діелектриків, які проводяться за допомогою методу атомно-силової мікроскопії, а також встановлено обмеження і недоліки при використанні цього методу для дослідження окремих властивостей діелектричних поверхонь.

Подальший розвиток цього методу полягає у реалізації ряду методик і пристроїв на базі обладнання для атомно-силової мікроскопії, наприклад: визначення просторової молекулярної структури речовини, що дозволяє не тільки відновити хімічний склад і формулу речовини, але й її просторову орієнтацію, а також створення струминного 3D-нанопринтера, що дав би змогу створювати високоточні наноструктури на основі кремнію та інших напівпровідників, проводити точкове проникнення домішкових атомів для створення квантових точок, міток, а також атомарних -р-п-р-переходів.

Як інструментальний розвиток методу АСМ перспективною є реалізація інструментів нанодрель і нановеретено, що дозволять створювати в поверхнях діелектриків мікро- і наноотвори, формувати структурні утворення, одержувати нитки з вуглецевих нанотрубок, проводити механоактивацію поверхневих шарів діелектриків наносвердленням.

Ще одна з перспектив розвитку – метод наноштампування полімерного шару, який дозволить створювати полімерні надструктури безпосередньо на поверхнях зразків-запалів, що виключає необхідність використання важких, дорогих і тривалих методів отримання полімерних наноструктур, як, наприклад, метод Ленгмюр-Блоджетт.

Список літератури

1. Суслов А. А., Чижик С. А. Сканирующая зондовая микроскопия. *Материалы, технологии, инструменты*. 1997. № 3. С. 78.

2. Чижик С. А., Свириденко А. П., Суслов А. А. Глаза и руки нанотехнологий. *Наука и инновации*. 2009. № 3. С. 53–55.
3. Антонюк В. С., Тимчик Г. С., Бондаренко Ю. Ю. та ін. Методи та засоби мікроскопії. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. 336 с.
4. Антонюк В. С., Тимчик Г. С., Верцанова О. В. та ін. Мікроскопія в нанотехнологіях. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 258 с.
5. Бардин В. А., Васильев В. А., Чернов П. С. Принципы построения и перспективы исследований пьезоактуаторов для нано- и микропозиционирования. *Нано- и микросистемная техника*. Москва: Новые технологии, 2015. № 1. С. 90–93.
6. Meyer, E. Atomic force microscopy. *Progress in Surface Science*. 1992, vol. 41, iss. 1. P. 3–49.
7. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Н. Новгород: Ин-т физики микроструктур РАН, 2004. 143 с.
8. Binnig G., Quate C. F., Gerber C. Atomic force microscope. *Phys. Rev. Lett.* 1984, vol. 56. P. 930–933.
9. Giessibl F.J. Advances in atomic force microscopy. *Reviews of modern physics*. 2003, vol. 75. P. 949–983.
10. Jalili N., Laxminarayana K. A review of atomic force microscopy imaging systems: application to molecular metrology and biological sciences. *Mechatronics*. 2004, vol.14. P. 907–945.
11. Magonov S. N., Myung-Hwan Whangbo Dr. Surface analysis with STM and AFM: Experimental and theoretical aspects of image analysis. Oxford, UK: Wiley. September 2008. 335 p.
12. Boisen A. AFM probes with directly fabricated tips. *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 1996, vol. 6, iss. 1. P. 58–62.
13. NT-MDT. URL: http://www.ntmdt-tips.com/catalog/gratings/afm_cal/products.html (21.01.2017).
14. Ashhab M. Dynamical analysis and control of microcantilevers. *Automatica*. 1999, vol. 35, iss. 10. P. 1663–1670.
15. Liu H. Advanced atomic force microscopy probes: Wear resistant designs. *Journal of Vacuum Science & Technology B*. 2005, vol. 23. P. 3090–3093.
16. Бахтизин Р. З., Галлямов Р. Р. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии. Уфа: РИО Баш. ГУ, 2003. 82 с.
17. Cappella B., Dieller G. Force-distance curves by atomic microscopy. *Surface Sci. Rep.* 1999, v. 34. P. 1–12.
18. Fleming A. J. A review of nanometer resolution position sensors: Operation and performance. *Sensors and Actuators A*. 2013. № 190. P. 106–126.
19. Persson B. N. J. Sliding friction: physical principles and applications. Berlin: Springer, 1998.

References

1. Suslov, A. A., Chizhik S. A. (1997) Scanning probe microscopy. *Materials, technologies, tools*, iss. 3, p. 78 [in Russian].
2. Chizhik, S. A., Sviridzenok, A. P., Suslov A. A. (2009) The eyes and arms of nanotechnology. *Science and Innovation*, iss. 3, pp. 53–55 [in Russian].
3. Antonyuk, V. S., Tymchyk, G. S., Bondarenko, Yu. Yu. et al. (2013) Methods and means of microscopy. Kyiv: NTUU «KPI», 336 p. [in Ukrainian].
4. Antonyuk, V. S., Tymchyk, G. S., Vercanova, O. V. et al. (2014) Microscopy in nanotechnology. Kyiv: NTUU «KPI». 258 p. [in Ukrainian].
5. Bardin, V. A., Vasil'ev, V. A., Chernov, P. S. (2015) Principles of construction and prospects for studies of piezo actuators for nano- and micropositioning. *Nano- and microsystem technology*. Moscow: New technologies, iss.1, pp. 90–93 [in Russian].
6. Meyer, E. (1992) Atomic force microscopy. *Progress in Surface Science*, vol. 41, iss. 1, pp. 3–49.
7. Mironov, V. L. (2004) Basics of scanning probe microscopy. N. Novgorod: Institute of Physics of Microstructures of RAS, 143 p. [in Russian].
8. Binnig, G. Quate, C. F. and Gerber, C. (1984) Atomic force microscope. *Phys. Rev. Lett.*, vol. 56, pp. 930–933.
9. Giessibl, F. J. (2003) Advances in atomic force microscopy. *Reviews of modern physics*. vol. 75, pp. 949–983.
10. Jalili, N. and Laxminarayana, K. (2004) A review of atomic force microscopy imaging systems: application to molecular metrology and biological sciences. *Mechatronics*, vol.14, pp. 907–945.
11. Magonov, S. N. and Myung-Hwan Whangbo, Dr. (2008) Surface analysis with

- STM and AFM: Experimental and theoretical aspects of image analysis. Oxford, UK: Wiley. September, 335 p.
12. Boisen, A. (1996) AFM probes with directly fabricated tips. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 6, iss. 1, pp. 58–62.
 13. NT-MDT. URL: http://www.ntmdt-tips.com/catalog/gratings/afm_cal/products.html (21.01.2017).
 14. Ashhab, M. (1999) Dynamical analysis and control of microcantilevers. *Automatica*, vol/ 35, iss. 10, pp. 1663–1670.
 15. Liu, H. (2005) Advanced atomic force microscopy probes: Wear resistant designs. *Journal of Vacuum Science & Technology B.*, vol. 23. pp. 3090–3093.
 16. Bahtizin, R. Z. Galyamova, R. R. (2003) Physical basis of scanning probe microscopy. Ufa: BashSU. 82 p. [in Russian].
 17. Cappella, B., Dieller, G. (1999) Force-distance curves by atomic microscopy. *Surface Sci. Rep.*, v. 34, pp. 1–12.
 18. Fleming, A. J. (2013) A review of nanometer resolution position sensors: Operation and performance. *Sensors and Actuators A*, № 190, pp. 106–126.
 19. Persson, B. N. J. (1998) Sliding friction: physical principles and applications. Berlin: Springer.

S. F. Petrenko¹, *D.Sc., professor*

Research and production complex “Lileya”, Kyiv, Ukraine

A. G. Novakovskii¹,

V. S. Antoniuk¹, *D.Sc., professor*

E. V. Skorina²,

Yu. Yu. Bondarenko², *Ph.D., associate professor*

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute”

Peremohy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

²Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

FEATURES OF MICROGEOMETRY RESPONSE AND SURFACE PROPERTIES OF DIELECTRIC MATERIALS FOR MICRO- AND NANO-ELECTRONICS

The article briefly describes the principle and operating modes of atomic-force microscope (AFM), as well as the features of microgeometry and surface properties of dielectric materials for micro and nanoelectronics using AFM method. The purpose of this article is to determine the features of microgeometry research and surface properties of dielectric materials by atomic force microscopy, as well as the advantages and limitations of the use of this method in the investigation of dielectric materials. The advantages and limitations of the application of this method for surface and surface properties of dielectrics are shown. The main directions of study of topographies, mechanical and electromagnetic properties of surfaces of dielectrics, which are carried out with the help of atomic-force microscopy method, as well as limitations and drawbacks in the use of this method in the investigation of individual properties of dielectric surfaces are also considered. The further development of this method consists in the implementation of a number of techniques and devices based on equipment for atomic-force microscopy. Perspective instrumental methods with the use of AFM show the implementation of nanodrill and nanorethene instruments, allowing the creation of micro and nanoelectric dielectrics in surfaces, forming structural formations, obtaining threads from carbon nanotubes, conducting mechanoactivation of surface layers of dielectrics by nanoparticle.

Key words: microgeometry, dielectric material, microelectronics, nanoelectronics, atomic-force microscopy.

В. І. Хотунов¹, к.пед.н., завідувач відділення інформаційних технологій,
голова циклової комісії програмування
e-mail: khotunov@gmail.com

І. П. Частокіленко², к.ф.-м.н., доцент
e-mail: igor.chst@gmail.com

А. П. Марченко², викладач
e-mail: apbkafmap@gmail.com

¹Черкаський державний бізнес-коледж
вул. Чорновола, 243, м. Черкаси, 18000, Україна

²Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

РОЗРОБКА ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОГО ДОДАТКА FIREFIGHTER

Проаналізовано проблеми створення веб-орієнтованого додатка firefighter за допомогою сучасних технологій та мов програмування. У процесі реалізації проекту було виділено такі етапи дослідження: аналіз предметної області, особливості розробки веб-додатків, огляд технологій для вирішення задачі, реалізація програмного продукту, бази даних, розробка панелі адміністратора для керування, проектування візуального оформлення для користувача, тестування програмного продукту, аналіз відповідності передбачуваних результатів до отриманих. Вузкоцільовий програмний продукт firefighter дає можливість вести облік і вчасно впливати на процеси щодо застереження, протидії й убезпечення підприємств та організацій від нещасних випадків, пов'язаних з вогнем, за умови використання інноваційних технологій, створення баз даних для ведення якісного документообігу.

Ключові слова: веб-орієнтований додаток, база даних, пожежна безпека, сайт.

Постановка проблеми. У ХХІ ст. Інтернет-мережа та Інтернет-технології стали невід'ємною складовою існування суспільства. Глобальна мережа використовується в усіх сферах діяльності людини. Придбати чи продати будь-що, не відходячи від комп'ютера, відвідати бібліотеку або перенестись за тисячі кілометрів у будь-який куточок світу, обмінюватися думками і спілкуватися з друзями та знайомими з різних країн, працювати, не виходячи з дому, – всі ці можливості надає суспільству використання глобальної павутини Інтернет. Завдяки цьому темп життя людини пришвидшується: вона встигає зробити більше, але водночас починає потребувати більшого [11].

Підприємства, які працюють у сфері послуг, змінюються та модернізуються, намагаючись не втратити клієнта: банки одними з найперших почали впроваджувати системи, за допомогою яких власники рахунків можуть проводити операції з грошима в мережі, юристи та лікарі надають онлайн-консультації. Споживач з легкістю може орендувати та захищати квартиру, приміщення чи номер у готелі, запланувати тур і купити квитки через мережу Інтернет. Звичним явищем сьогодення стає освіта через мережу Інтернет, яка дає

людині шанс отримати диплом престижного іноземного закладу, не залишаючи своєї рідної країни.

Віртуальні майданчики забезпечують користувачів докладними відомостями про об'єкт, можливістю порівняти інформацію, ознайомитися з відгуками інших користувачів, а головне, лише за декілька хвилин можна оформити документацію за допомогою доступу в мережу Інтернет, заощадивши час. Подання асортименту послуг через мережу Інтернет – це перспективний напрямок розвитку бізнесу.

Інтернет-додаток стане основою для реалізації ідей високоефективного функціонування будь-якої організації. Багато перспективних напрямків залишаються такими в певному часовому інтервалі. Нові моделі мобільних пристроїв, модні брендові речі, інновації в сфері послуг проникають на ринок з певним темпом і відстежуються потенційними покупцями в Інтернеті. Своєчасне відкриття онлайн-ресурсу приверне увагу любителів інновацій, які в подальшому можуть залишитися серед постійних клієнтів і посприяти подальшому розвитку підприємства. Інша добра нагода – представлення інтересів підприємства у

всесвітній мережі з метою розширення можливостей та проведення своєчасних заходів.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Формування інформаційних потоків про наявний стан пожежної безпеки підприємства має здійснюватися з урахуванням сучасних інформаційних технологій як інструменту, що призначений для впорядкування його діяльності як органічного цілого. При цьому йдеться не лише про автоматизацію облікової системи автономно, але й про застосування комп'ютерних програм для відповідного документообігу на підприємстві та його синхронізацію із загальним потоком документообігу по району, місту, області та державними установами, що відповідають за перевірку пожежної безпеки.

Інтернет-додаток firefighter має певні аналоги в Інтернеті – сайти «Bitrix24», «Delovod», «Bezopasnost-truda», «Bigbird», які є відповідними за логікою, однак відмінними за змістом. Ці сайти є безкоштовними для перегляду, однак достатньо дорогими для використання. Вони реалізовані за однаковим принципом, а саме: створені у вигляді веб-сторінок, із застосуванням бази даних для відображення документообігу, з використанням JavaScript і фреймворків на кшталт AJAX. Також вони мають ряд недоліків, а саме: важкий дизайн для сприймання користувачем, що при слабких Інтернет-підключеннях призводить до повільного завантаження даних, для оформлення того чи іншого документа необхідне виконання багатьох дій, що призводить до надмірної кількості переходів по сайту [7, 8].

Актуальність роботи. Дотримання правил пожежної безпеки і своєчасне усунення протипожежних порушень – гарантія збереження майна, здоров'я та життя людини. Актуальність цієї статті полягає в дослідженні веб-додатка firefighter, що припускає аналіз предметної області, особливості розробки веб-додатків, огляд технологій для вирішення задачі, опис реалізації програмного продукту та опис тестування програмного продукту.

Метою роботи є описи веб-сайту firefighter, механізмів передачі даних між сторінками, а також надання знань про специфіку діяльності Інтернет-ресурсу firefighter, модуля адміністрування та бази даних.

Відповідно до мети роботи в статті передбачається вирішення ряду завдань:

- розглянути та надати теоретичні відомості щодо програм-аналогів;
- проаналізувати базу даних для розміщення спеціалізованих даних;

- дослідити алгоритм відображення та опрацювання інформації із запобігання, застереження та протидії нещасних випадків на організаціях та підприємствах;

- ознайомитись із візуалізацією всіх процесів та виведенням точних результатів.

Об'єктом дослідження роботи є веб-орієнтована система підтримки Інтернет-ресурсу firefighter.

Предметом дослідження є методи і організація розробки веб-орієнтованої системи firefighter.

Виклад основного матеріалу. Веб-додаток firefighter призначений для онлайн-ведення облікової та звітної документації у сфері пожежної безпеки підприємств та організацій. У можливостях веб-сайту firefighter передбачено: додавати нових клієнтів, додавати та зберігати інформацію про проведені заходи щодо гарантування протипожежної безпеки чи оновлення засобів протипожежної безпеки через спеціально розроблену панель керування адміністраторів. Категорії та типи інформації може переглядати користувач. При додаванні інформації вноситься інформація про об'єкт, короткий опис, повний опис, характеристики, встановлюються інструктажі на певний проміжок часу або під безпосереднім керівництвом адміністратора, а також є можливість вибору типу і категорії інформації. Також передбачено сортування за популярністю, за оцінкою, новинки, за терміном від нижчого до вищого. Новим клієнтам автоматично встановлюються нові інформаційні поля.

Додаток реалізовано за наступною структурною схемою (рис. 1).

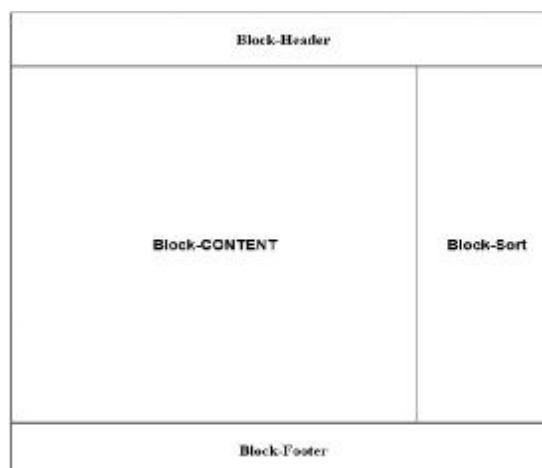


Рис. 1. Структурна схема сторінки

Загальну схему сайту зображено на рис. 2.

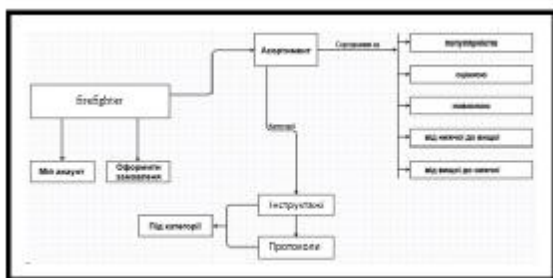


Рис. 2. Схема Интернет-ресурсу

Проектування сайту. Визначення структури сайту містить у собі планування розділів, системи навігації по сайту. Головна сторінка сайту має наступний вигляд (рис. 3).



Рис. 3. Головна сторінка сайту

Головна сторінка сайту складається з основних трьох блоків:

1. Block-header – «шапка» сайту, на якій знаходиться логотип та основне меню посилань, а також мініатюра кошика, біля якої відображено кількість опрацьованих користувачів (рис. 4).



Рис. 4. Головне меню сайту

2. Block-content – частина сайту по центру (рис. 5).

Project table								
ID	Title	Group or topic	Project	Start	End (approx. day)	Knowledge	Assessment	Key word
1	Development of a new software	Software Development	Software Development	2023-01-01	2023-03-31	Software Development	Software Development	Software Development
2	Development of a new software	Software Development	Software Development	2023-04-01	2023-06-30	Software Development	Software Development	Software Development

Рис. 5. Вигляд блоку «content»

Ця частина сайту відповідає за надання інформації про клієнтів, які містяться в базі, тут відображаються підприємства, їх назва, проведені інструктажі та заходи щодо проти-

дії та запобігання нещасних випадків, пов'язаних із вогнем, а також кнопка додавання до бази.

3. Block-sort – боковий блок (рис. 6).

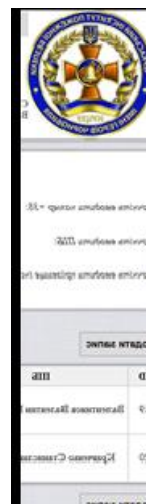


Рис. 6. Боковой блок «Sort»

Блок «Sort» відповідає за сортування клієнтів у базі, а саме: за популярністю, за оцінкою, за новизною, за датою, від нижчого до вищого та навпаки, займає небагато місця, але є вкрай необхідним і дуже зручним інструментом для користувача.

Проектування та реалізація бази даних. Абсолютну точність і безперерійність роботи програми можуть гарантувати тільки логічно виважене проектування та якісна розробка бази даних. При проектуванні реальних баз даних інформацію доцільно розміщувати у кількох таблицях. Таблиці при цьому мають бути пов'язані семантикою інформації. В реляційних системах керування базами даних для зазначення зв'язків таблиць застосовують операцію їх синхронізації.

Для створення бази даних у цьому проєкті встановлена база даних MySQL та СУБД phpMyAdmin на локальному сервері, все це йде в комплекті з програмним забезпеченням Denwer. Після установки Denwer відкривається можливість використання інструментарію root, що має найвищі права управління та розробки [5].

Скрипт підключення до бази даних [2] зображено на рис. 7.

```
<?php
define('DB_NAME', 'firefighter');
define('DB_USER', 'root');
define('DB_PASSWORD', '');
define('DB_HOST', 'localhost');
define('DB_CHARSET', 'utf8mb4');
```

Рис. 7. Код підключення до бази даних

Define() – це функція php, яка визначає іменовану константу [3].

Перший атрибут функції – це назва константи, а другий – це її значення. Розглянемо детальніше ці підключення до бази даних:

- define('DB_NAME', 'firefighter'); – Назва бази даних;
- define('DB_USER', 'root'); – Ім'я користувача БД;
- define('DB_PASSWORD', ''); – Пароль користувача БД;
- define('DB_HOST', 'localhost'); – Ім'я сервера MySQL;
- define('DB_CHARSET', 'utf8mb4'); Кодування БД MySQL.

Атрибути таблиці «wp_posts» (рис. 8).

#	Имя	Тип	Сравнение	Атрибуты MySQL	По умолчанию	Дополнительно
1	id	bigint(20)	UNSIGNED	NOT NULL	AUTO INCREMENT	
2	post_author	bigint(20)	SIGNED	NOT NULL	0	
3	post_date	datetime		NOT NULL	2006-03-08 00:00:00	
4	post_date_gmt	datetime		NOT NULL	2006-03-08 00:00:00	
5	post_content	text	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
6	post_title	text	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
7	post_excerpt	text	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
8	post_status	varchar(20)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL	publish	
9	comment_status	varchar(20)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL	open	
10	ping_status	varchar(20)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL	open	
11	post_password	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
12	post_name	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
13	to_ping	text	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
14	pinged	text	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
15	post_modified	datetime		NOT NULL	2006-03-08 00:00:00	
16	post_modified_gmt	datetime		NOT NULL	2006-03-08 00:00:00	
17	post_content_filtered	text	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
18	post_parent	bigint(20)	SIGNED	NOT NULL	0	
19	guid	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
20	menu_order	int(11)		NOT NULL	0	
21	post_type	varchar(20)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL	post	
22	post_mime_type	varchar(255)	utf8mb4_unicode_ci	NOT NULL		
23	comment_count	bigint(20)		NOT NULL	0	

Рис. 8. Атрибути таблиці «Клієнти»

Адміністративна панель – це панель керування з привілеями адміністратора, за допомогою якої власник Інтернет-ресурсу може керувати налаштуваннями додатка, управляти зареєстрованими на сайті користувачами, видаляти файли і проводити будь-які інші маніпуляції, недоступні користувачам [4]. Тому

панель керування є найважливішою частиною будь-якого Інтернет-ресурсу.

Добре розроблена панель керування гарантує зручність роботи з сайтом, а в остаточному підсумку – його успіх [6].

Проектування панелі керування – процес послідовний, тому, перше, що потрібно розробити, – це головний вхід.

Головний вхід у панель керування реалізовано наступним чином (рис. 9).



Рис. 9. Вхід у панель керування

Тут містяться поля «Логін», «Пароль адміністратора», який задається в базі даних.

Натиснувши кнопку «Вхід», задана інформація потрапить до бази даних для порівняння правильності введення даних (рис. 10).



Рис. 10. Зовнішній вигляд панелі керування

Через адміністративну панель з'являється можливість додавати, редагувати, видаляти клієнта та всі процедури, пов'язані з ним.

Зовнішній вигляд форми «Додавання клієнта» зображено на рис. 11.

Рис. 11. Зовнішній вигляд форми «Додавання клієнта»

Для того щоб додати клієнта, необхідно заповнити всі поля: ПП, номер телефону, ключові слова, короткий опис, адреса, електронна пошта або сайт, дата інструктажу, коментарі та натиснути кнопку «додати запис».

Також передбачена можливість пошуку клієнта в базі (рис. 12, 13).

Рис. 12. Пошук клієнтів

ID	Ім'я	Прізвище	Патronymic	Адреса	Мобільний телефон	Дата інструктажу	Коментарі
1	Андрей	Іванов	Михайлович	ул. Ленина, 10	8000000000	2015-01-01	Всё хорошо
2	Петр	Сидоров	Сергеевич	ул. Пушкина, 5	8000000000	2015-01-02	Нужно проверить

Рис. 13. Результат пошуку клієнтів

Однак, на відміну від програмних аналогів, які є статичними, розроблений комплекс є динамічним. Так, в заданий діапазон часу додаток виводить перелік тих клієнтів, яким необхідно приділити більше уваги, а саме: добігає кінця термін експлуатації вогнегасника або підійшли терміни чергового інструктажу з техніки безпеки, чи терміни планової

перевірки об'єкта, і тоді база переводить клієнтів у таблицю «користувачів, які очікують» та нагадує про це інспектору (рис. 14–18).

ID	Ім'я	Прізвище	Патronymic	Адреса	Мобільний телефон	Дата інструктажу	Коментарі
1	Андрей	Іванов	Михайлович	ул. Ленина, 10	8000000000	2015-01-01	Всё хорошо
2	Петр	Сидоров	Сергеевич	ул. Пушкина, 5	8000000000	2015-01-02	Нужно проверить

Рис. 14. Керування користувачами

ID	Ім'я	Прізвище	Мобільний телефон	Ім'я
1	Андрей	Іванов	8000000000	Владимир
2	Петр	Сидоров	8000000000	Михай
3	Сергей	Сидоров	8000000000	Дмитрий

Рис. 15. Перехід до списку користувачів, які очікують

ID	Ім'я	Прізвище	Мобільний телефон	Ім'я
1	Андрей	Іванов	8000000000	Владимир
2	Петр	Сидоров	8000000000	Михай
3	Сергей	Сидоров	8000000000	Дмитрий

Рис. 16. Список користувачів, які очікують

ID	Ім'я	Прізвище	Мобільний телефон	Ім'я
1	Андрей	Іванов	8000000000	Владимир
2	Петр	Сидоров	8000000000	Михай
3	Сергей	Сидоров	8000000000	Дмитрий

Рис. 17. Перехід до списку прихованих

ID	Ім'я	Прізвище	Мобільний телефон	Ім'я
1	Андрей	Іванов	8000000000	Владимир
2	Петр	Сидоров	8000000000	Михай
3	Сергей	Сидоров	8000000000	Дмитрий

Рис. 18. Список прихованих

Висновки. Було розглянуто декілька програм і програмних комплексів для обліку та обігу інформації та досягнуто основної мети – розроблено Інтернет-ресурс протипожежної безпеки firefighter.

Для досягнення поставленої мети було проведено вивчення та аналіз структури організації Інтернет-додатків. При цьому було виявлено ряд недоліків існуючих систем, які були усунуті за рахунок розробки та впровадження нового Інтернет-додатка firefighter.

Для здійснення розробки було використано такі Інтернет-технології:

- для веб-сервера обрано локальну програму Denwer, яка має високу надійність, гнучкість конфігурації, дає змогу використовувати системи керування базами даних для аутентифікації користувачів, а також є безкоштовною і досить швидкою;

- для створення бази даних, що зберігає необхідну для функціонування Інтернет-сайту службову інформацію, і подальшої роботи з нею було обрано реляційну систему управління базами даних MySQL. Цей програмний продукт відрізняється достатньою швидкістю роботи, надійністю, гнучкістю і при цьому поширюється абсолютно безкоштовно;

- як мову програмування веб-сторінок було обрано мову PHP, що надає можливість створення веб-додатків, керованих базами даних із підтримкою MySQL.

При розробці архітектури Інтернет-додаток firefighter був розділений на дві частини: клієнтську і адміністративну.

Клієнтська частина містить ті сторінки, які доступні для перегляду будь-якому користувачеві.

Адміністративна частина містить інструменти управління Інтернет-ресурсом firefighter, надає зручний інтерфейс для додавання, редагування або видалення клієнта.

Практичне значення. Вузькоцільовий програмний продукт firefighter дає можливість вести облік і вчасно впливати на процеси щодо застереження, протидії та убезпечення підприємств і організацій від нещасних випадків, пов'язаних з вогнем, за умови використання інноваційних технологій створення бази даних для ведення документообігу.

Подальше впровадження Інтернет-додатка firefighter є економічно та соціально обґрунтованим, проект має сприяти збільшенню якості попередження, протидії та за-

побігання нещасних випадків на підприємствах та організаціях.

Список літератури

1. 10 безкоштовних онлайн інструментів для тестування швидкості завантаження сайту. URL: <http://isearch.kiev.ua/uk/searchpractice/searchoptimization/943-10-free-online-tools-to-test-your-website-loading-speeds>, 2017.
2. Колисниченко Д. Н. PHP 5 в теории и на практике: самоучитель. Наука и Техника, 2007. 640 с.
3. Кузнецов М. В., Симдянов И. В., Голышев С. В. PHP 5 на примерах. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 576 с.
4. Півняк Г. Г., Бусигін Б. С., Дівізінюк М. М. та ін. Тлумачний словник з інформатики. Д.: Нац. гірнич. ун-т, 2010. 600 с.
5. Рудикова Л. В. Базы данных. Разработка приложений. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006.
6. «Студопедия». URL: <http://studopedia.org/1-27938.html>. Назва з екрану, 2017.
7. Бітрікс24. URL: <https://www.bitrix24.ua/features/crm.php>, 2017.
8. Діловод. URL: <https://delovod.ua/uk>, 2017.
9. <http://bezopasnost-truda.com.ua/index.php/literature/14-literature/101.html>, 2017.
10. Бигберд. URL: <http://bigbird.ru/features/documents>, 2017.
11. Тардаскіна Т. М., Стрельчук Є. М., Терешко Ю. В. Електронна комерція: навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. 244 с.

References

1. 10 free online tools for testing download speed of the site. URL: <http://isearch.kiev.ua/uk/searchpractice/searchoptimization/943-10-free-online-tools-to-test-your-website-loading-speeds>, 2017.
2. Kolisnichenko, D. N. (2007) PHP 5 in theory and practice: manual for self-tuition. Nauka i Tekhnika. 640 p. [in Russian].
3. Kuznetsov, M. V. Simdyanov, I. V., Golyshev, S. V. (2006) PHP 5 in examples. St. Petersburg: BXV-Petersburg. 576 p. [in Russian].
4. Pivnyk, G. G., Busygin, B. S., Dyvizi-nyuk, M. M et al. (2010) Interpretative dictio-

- nary on informatics. D.: Nats. hirnych. un-t. 600 p. [in Ukrainian].
5. Rudikova, L. V. (2006) Databases. Application development. St. Petersburg: BHV-Petersburg [in Russian].
 6. «Studopedia» (2017). URL: <http://studopedia.org/1-27938.html>
 7. Bitrix24 (2017). URL: <https://www.bitrix24.ua/features/crm.php>
 8. Clerk (2017). URL: <https://delovod.ua/uk>
 9. Labor safety (2017). URL: <http://bezopasnost-truda.com.ua/index.php/literature/14-literature/101.html>
 10. Bigbird (2017). URL: <http://bigbird.ru/features/documents>
 11. Tardaskina, T. M., Strelchuk, E. M., Tereshko, Yu. V. (2011) Electronic commerce: textbook. Odesa: ONAT im. O. S. Popova. 244 p. [in Ukrainian].

V. I. Khotunov¹, *Ph.D., head of information technologies division*
e-mail: khotunov@gmail.com

I. P. Chastokolenko², *Ph.D., associate professor,*
e-mail: igor.chst@gmail.com

A. P. Marchenko², *lecturer,*
e-mail: apbkafmap@gmail.com

¹Cherkasy State Business College

Chornovol str., 243, Cherkasy, 18000, Ukraine

²Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of the National University of Civil Protection of Ukraine
Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

DEVELOPING OF THE WEBSITE FIREFIGHTER

The problems of creation of a website firefighter application with the help of modern technologies and programming languages are analyzed. In the course of the project implementation, the following stages of the study have been identified: domain analysis, features of web application development, technology review, software implementation, database, admin panel development, visualization design for the user, software testing, analysis of conformity of the expected results to the received. The precisely targeted firefighter software gives you the ability to account of and timely impact on the processes for preventing, counteracting and protecting enterprises and organizations from fire-related accidents using innovative technologies, creating databases for qualitative documents circulation.

Key words: web-based application, database, fire safety, website.

В. М. Рудницький¹, д.т.н, професор
e-mail: rvn_2008@ukr.net

Л. А. Шувалова¹, к.т.н, доцент
e-mail: shuvalova-l2015@yandex.ru

О. Б. Нестеренко², ад'юнкт
e-mail: nesterenko.apb@gmail.com

¹Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

²Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

ПОБУДОВА ПРИМІТИВІВ СТРОГОГО СТІЙКОГО КОДУВАННЯ МІНІМАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ

У статті представлено результати побудови повної множини чотирирозрядних математичних моделей строгого стійкого кодування мінімальної складності. Досліджено та побудовано метод синтезу алгоритму мінімальної складності побудови операцій строгого стійкого кодування. Цей метод полягає в тому, що проводиться попарне інвертування деякої кількості розрядів та інвертується половина розрядів вхідної інформації, при цьому враховуються обмеження, що в кожній парі переставлених розрядів може інвертуватися лише один розряд. Для забезпечення мінімальної складності технічної реалізації отримано залежності для розрахунку кількості операцій строгого стійкого кодування.

Ключові слова: Інтернет речей, конфіденційність доступу, криптографічне перетворення інформації, математична модель.

Постановка проблеми. Розвиток комп'ютерних систем та мереж привів до значного збільшення потоків обміну інформацією. Останнім часом активно розвивається Інтернет речей.

Інтернет речей (Internet of Things, скорочено – IoT) – це концепція комунікації об'єктів («речей»), які використовують технології для взаємодії між собою та з навколишнім середовищем. Також ця концепція припускає виконання пристроями певних дій без втручання людини. Таким чином, всі пристрої в будинках, в автомобілях, на користувачеві виконують обробку інформації, її аналіз та обмін між собою і, залежно від результатів, приймають рішення і виконують певні дії. Сфера IoT – один із головних світових трендів. Звичні пристрої стають частиною Інтернет-мережі і виконують нові функції. Для реалізації IoT необхідна система, яка включала б у себе «розумні речі» – пристрої, оснащені датчиками; мережу доступу і передачі інформації (мобільну або фіксовану); а також плат-

форми для управління мережею, пристроями і додатками.

Але для широкого впровадження IoT необхідна конфіденційність доступу і управління. Адже перехоплення управління IoT може призвести до небажаних результатів і створити передумови загрози матеріальним цінностям і навіть життю людей.

Виходячи з цього, захист конфіденційної інформації управління IoT є актуальним. Вирішення цієї задачі лежить у межах проблеми забезпечення якості захисту каналів передачі конфіденційної управлінської інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] визначено в групі дворозрядних операцій криптографічного кодування операції, які гарантовано забезпечують зміну половини бітів вхідної інформації. Розглянуто можливість досягнення строгого лавинного ефекту операціями, які відповідають критерію строгого стійкого кодування, для чого представлено таку послідовність наборів дворозрядних даних, щоб два сусідні набори, а та-

кож перший і останній набори відрізнялися лише одним розрядом. Повторне виконання операцій криптографічного кодування призводить до невідповідності результатів кодування критерію строгого лавинного ефекту.

В [2] для дворозрядних операцій криптографічного перетворення інформації неможливо на основі перебору провести аналіз на строге стійке кодування. Забезпечено побудову операцій з заданими властивостями без необхідності проведення і дослідження на основі повного перебору, використавши таблицю мінімальних кодових відстаней за Хеммінгом для побудови операцій криптографічних перетворень, які відповідають критерію строгого стійкого кодування,

В [3] представлено результати дослідження та розробки методу синтезу операцій криптографічного перетворення, які відповідають критерію строгого стійкого кодування, на основі мінімальної відстані за Хеммінгом. Представлення цих операцій дискретними моделями забезпечує мінімальний час їх реалізації на апаратному та програмному рівнях. Крім того, ці операції забезпечать заміну таблиць підстановок дискретними моделями, що значно знизить вимоги до обсягу пам'яті спеціалізованих обчислювальних систем, оскільки втрачається необхідність збереження великої кількості таблиць перестановок. Можливість синтезу великої кількості операцій криптографічного перетворення за критерієм строгого стійкого кодування забезпечує можливість вибирати моделі невеликої складності, які забезпечать криптографічне перетворення інформації з меншим часом при тих самих характеристиках результатів перетворення.

Мета статті – розробити метод синтезу груп операцій строгого стійкого кодування найменшої складності та оцінити його потужність.

Аналіз публікацій [1–3] показав, що моделі криптографічного строгого стійкого кодування мають найменшу складність тоді, коли вони базуються лише на перестановках та інверсіях. Група дворозрядних операцій строгого стійкого кодування включає в себе чотири операції:

$$F_1 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}; \quad F_2 = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix};$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}; \quad F_4 = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix};$$

Аналогічні операції строгого стійкого кодування, побудовані на перестановках, відомі для чотирьох розрядів:

$$F_1 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \end{bmatrix}; \quad F_2 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_4 \end{bmatrix};$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}; \quad F_4 = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \\ x_3 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix};$$

Виходячи з наведених моделей, можна зробити попередній висновок, що для отримання алгоритму строгого стійкого кодування можна використати операції інверсії та перестановки. При цьому половина розрядів вхідної інформації повинна бути інвертована.

Для підтвердження і уточнення цієї ідеї проведемо обчислювальний експеримент, суть якого полягає у використанні повної групи перестановок для чотирьох розрядів та інвертуванні половини розрядів вхідної інформації (50 перестановок).

Виходячи з цього, можна зробити прогноз, що максимальна кількість n -розрядних операцій строгого стійкого кодування мінімальної складності буде обраховуватись за виразом

$$K_{n, \text{сск}} = n! \cdot C_n^{n/2}$$

де $C_n^{n/2}$ – кількість сполучень з n по $n/2$.

Тоді кількість дворозрядних операцій строгого стійкого кодування буде визначатися як $K_{2, \text{сск}} = 2! \cdot C_2^1 = 4$, а чотирирозрядних – виразом $K_{4, \text{сск}} = 4! \cdot C_4^2 = 144$.

Перевіримо і уточнимо кількісні та якісні характеристики за результатами обчислювального експерименту.

Формалізовані результати обчислювального експерименту наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Формалізовані результати обчислювального експерименту

№ п/п	Операція	№ п/п	Операція	№ п/п	Операція
1	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$	2	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \end{bmatrix}$	3	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$
4	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \end{bmatrix}$	5	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$	6	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$
7	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_2 \end{bmatrix}$	8	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_4 \\ x_3 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	9	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}$
10	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_4 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	11	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_3 \end{bmatrix}$	12	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_4 \\ x_3 \oplus 1 \end{bmatrix}$
13	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_3 \end{bmatrix}$	14	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_4 \\ x_3 \oplus 1 \end{bmatrix}$	15	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_4 \end{bmatrix}$
16	$F = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_4 \end{bmatrix}$	17	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$	18	$F = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_3 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$
19	$F = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_3 \end{bmatrix}$	20	$F = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \\ x_4 \\ x_3 \oplus 1 \end{bmatrix}$	21	$F = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_3 \end{bmatrix}$
22	$F = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_4 \\ x_3 \oplus 1 \end{bmatrix}$	23	$F = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \end{bmatrix}$	24	$F = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \\ x_3 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$
25	$F = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_4 \end{bmatrix}$	26	$F = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$	27	$F = \begin{bmatrix} x_3 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$
28	$F = \begin{bmatrix} x_3 \oplus 1 \\ x_4 \\ x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	29	$F = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \oplus 1 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}$	30	$F = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$

Продовження табл. 1

31	$F = \begin{bmatrix} x_3 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_1 \\ x_4 \end{bmatrix}$	32	$F = \begin{bmatrix} x_3 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_1 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$	33	$F = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_4 \end{bmatrix}$
34	$F = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_2 \\ x_1 \oplus 1 \\ x_4 \oplus 1 \end{bmatrix}$	35	$F = \begin{bmatrix} x_4 \oplus 1 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_1 \end{bmatrix}$	36	$F = \begin{bmatrix} x_4 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}$
37	$F = \begin{bmatrix} x_4 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	38	$F = \begin{bmatrix} x_4 \\ x_3 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	39	$F = \begin{bmatrix} x_4 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_1 \end{bmatrix}$
40	$F = \begin{bmatrix} x_4 \oplus 1 \\ x_2 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}$	41	$F = \begin{bmatrix} x_4 \\ x_2 \oplus 1 \\ x_3 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	42	$F = \begin{bmatrix} x_4 \\ x_2 \\ x_3 \oplus 1 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$

Отже, якщо не відбуваються перестановки, то інвертуватися можуть два будь-які біти. Інвертуватися може розряд, який не переставлявся. Якщо два біти переставити місцями, то інвертуватися може лише один із них. Якщо переставити місцями три біти, то операцію строгого стійкого кодування отримати не можна при будь-якому інвертуванні.

Метод синтезу алгоритму мінімальної складності побудови операцій строгого стійкого кодування полягає в наступному: проводиться попарне інвертування деякої кількості розрядів та інвертується половина розрядів вхідної інформації, враховуючи при цьому обмеження, що в кожній парі переставлених розрядів може інвертуватися лише один розряд.

Уточнимо кількість операцій, які відповідають критерію строгого стійкого кодування. При застосовуванні лише операції інверсії без застосування операцій перестановки можна отримати операції критерію строгого стійкого кодування, кількість яких визначається наступним чином: для дворозрядного коду кількість операцій визначається за виразом C_2^1 , для чотирирозрядного коду – C_4^2 , для шестирозрядного коду – C_6^3 , для n -розрядного коду за умови, що n – парне число, – $C_n^{\frac{1}{2}n}$.

Для чотирирозрядного коду при виконанні однієї перестановки кількість варіантів

перестановок буде дорівнювати C_4^2 , при цьому, відповідно до розробленого методу синтезу один із переставлених розрядів повинен бути інвертованим, тому кількість операцій з однією і тією ж перестановкою буде збільшена вдвічі, тому що кожна з операцій відрізняється вибором розряду, який інвертується. Кількість інверсій розрядів, які не переставлялися, для кожної перестановки при одній перестановці менша від загальної кількості інверсій і дорівнюватиме C_2^1 . Загальна кількість чотирирозрядних операцій з однією перестановкою визначається як $2 \cdot C_4^2 \cdot C_2^1$. Тоді для шестирозрядного коду кількість операцій з однією перестановкою визначається як $2 \cdot C_6^3 \cdot C_4^2$.

В загальному вигляді кількість n -розрядних операцій строгого стійкого кодування, в яких наявна одна перестановка, буде визначатись як добуток подвоєної кількості перестановкою двох розрядів ($2C_n^2$), і кількість інверсій для кожної перестановки розраховується як $C_{n-2}^{\frac{1}{2}(n-2)}$. Виходячи з цього, кількість операцій строгого стійкого кодування, в яких наявна одна перестановка, визначається як $2 \cdot C_n^2 \cdot C_{n-2}^{\frac{1}{2}(n-2)}$.

За аналогією, кількість n -розрядних операцій строгого стійкого кодування, в яких

наявні дві перестановки, буде визначатись як

$$4 \cdot C_n^2 \cdot C_{n-2}^2 \cdot C_{n-4}^{\frac{1}{2}(n-4)}$$

Виходячи з цього, в загальному вигляді кількість операцій n -розрядного коду може бути розрахована за таким виразом:

$$C = C_n^{\frac{1}{2}n} + 2^1 \cdot C_{n-2}^2 \cdot C_{n-2}^{\frac{1}{2}(n-2)} +$$

$$2^2 \cdot C_n^4 \cdot C_{n-2}^{\frac{1}{2}(n-2)} \cdot C_{n-4}^{\frac{1}{2}(n-4)} + \dots$$

$$+ 2^k \cdot C_n^{2k} \cdot C_{n-2k}^{\frac{1}{2}(n-2k)},$$

при $0 < k \leq \frac{1}{2}n$.

Отриманий вираз дає можливість зробити приблизне оцінювання кількості операцій, що забезпечують строге стійке кодування, які отримані на основі запропонованого методу.

Висновки. Побудовано повну множину чотирирозрядних математичних моделей строного стійкого кодування мінімальної складності. Запропоновано метод синтезу операцій строного стійкого кодування мінімальної складності. Отримано залежності для розрахунку кількості операцій строного стійкого кодування, які забезпечать мінімальну складність технічної реалізації.

Список літератури

1. Рудницький В. М., Шувалова Л. А., Нестеренко О. Б. Аналіз дворозрядних операцій криптографічного кодування за критерієм строного лавинного ефекту. *Наукові праці: наук.-метод. журн. Чорноморськ. держ. ун-ту імені Петра Могили. Миколаїв*, 2017.
2. Рудницький В. М., Шувалова Л. А., Нестеренко О. Б. Синтез операцій криптографічного перетворення за критерієм строного стійкого кодування. *Вісник інженерної академії України: часопис* (Київ). 2016. Вип. 3. С. 105–108.
3. Рудницький В. М., Шувалова Л. А., Нестеренко О. Б. Метод синтезу операцій криптографічного перетворення за критерієм строного стійкого кодування. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. Вип. 1. С. 5–10.
4. Шувалова Л. А., Нестеренко О. Б. Синтез та аналіз криптографічних операцій за

критерієм строного стійкого кодування. *Проблеми інформатизації: тези доп. IV міжнар. наук.-техн. конф., 3-4 листопада 2016 р. Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВА ЗСАР; Бельсько-Бяла: УТІГН; Полтава: ПНТУ*, 2016. С. 14.

5. Яковлев А. В., Безбогов А. А., Родин В. В., Шамкин В. Н. Криптографическая защита информации. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2006. 140 с.
6. Бабаш А. В., Шанкин Г. П. Криптография. Аспекты защиты. Москва: Солон-Р, 2002. 512 с.
7. Рудницький В. М., Бабенко В. Г., Жилиєв Д. А. Алгебраїчна структура множини логічних операцій кодування. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: наук.-техн. журн. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба*. 2011. Вип. 2 (6). С. 112–114.
8. Mollin Richard A. Codes: the guide to secrecy from ancient to modern times. Chapman & Hall/CRC, 2005. P. 142.
9. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. Москва: Триумф, 2002. 816 с.

References

1. Rudnytskyi, V. M., Shuvalova, L. A. and Nesterenko, O. B. (2017) Analysis of two-digit operations of cryptographic coding according to the criterion of strict avalanche effect. *Naukovi pratsi: sci.-method. journal of Chornomorsk State University named by Petro Mohyla [in Ukrainian]*.
2. Rudnytskyi, V. M., Shuvalova, L. A. and Nesterenko, O. B. (2016) The synthesis of cryptographic conversion operations according to the criterion of strict sustainable coding. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*, (3), pp. 105–108 [in Ukrainian].
3. Rudnytskyi, V. M., Shuvalova, L. A. and Nesterenko, O. B. (2017) Method of synthesis of operations of cryptographic transformation according to the criterion of strict sustainable coding. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, (1), pp. 5–10 [in Ukrainian].
4. Shuvalova, L. A. and Nesterenko, O. B. (2016) Synthesis and analysis of cryptographic operations according to the criterion of strict sustainable coding. In: *the 4th Interdisciplinary Sci.-Tech. Conf.*

- «Problems of informatization». Cherkasy, Baku, Belsko-Biala, Poltava, p. 14 [in Ukrainian].
5. Iakovlev, A. V., Bezbogov, A. A., Rodin, V. V. and Shamkin, V. N. (2006) Cryptographic protection of information. Tambov: Izd-vo TGTU, 140 p. [in Russian].
 6. Babash, A. V. and Shankyn, H. P. (2002) Cryptography. Aspects of protection. Moscow: Solon-R. 512 p. [in Russian].
 7. Rudnitskyi, V. M., Babenko, V. G. and Zhylyiaiev, D. A. (2011) Algebraic structure of the set of logical operations coding. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy: sci.-tech. journal*, (2), pp. 112–114 [in Ukrainian].
 8. Mollin, R. A. (2005) Codes: the guide to secrecy from ancient to modern times. Chapman & Hall/CRC, p. 142.
 9. Shnaier, B. (2002) Applied cryptography. Protocols, algorithms, source texts in C language. Moscow: Tryumf, 816 p. [in Russian].

V. M. Rudnitskyi¹, *Dr.Tech.Sc., professor*

e-mail: rvn_2008@ukr.net

L. A. Shuvalova¹, *Ph.D., associate professor*

e-mail: shuvalova-l2015@yandex.ru

O. B. Nesterenko², *advanced student in military academy*

e-mail: nesterenko.apb@gmail.com

¹Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

²Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes

of National University of Civil Defense of Ukraine

Onopriienko str, 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

CREATION OF PRIMITIVES OF STRICT SUSTAINABLE CODING OF MINIMAL COMPLEXITY

The article presents the results of constructing a complete set of four-digit mathematical models of strict sustainable coding of minimal complexity. The method of synthesis of the algorithm of minimal complexity for construction of operations of strict sustainable coding is investigated and constructed.

This method consists in the fact that pair-wise inverting of a certain number of digits is performed and a half of digits of the input information is inverted, while taking into account the limitations that only one digit can be inverted in each pair of transposed digits. To ensure the minimum complexity of technical implementation, dependencies have been obtained for calculating the number of operations of strict sustainable coding.

Key words: *Internet of Things, confidentiality of access, cryptographic information transformation, mathematical model.*

В. А. Іванюк¹, к.т.н., доцент

e-mail: wivanyuk@gmail.com

О. О. Ситник², к.т.н., професор

e-mail: sytnyk_ets@ukr.net

Ю Стертен³, асистент

e-mail: jo.sterten@ntnu.no

¹Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка,
вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, Україна, 32300

²Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

³Норвезький університет науки і технологій,
NTNU, NO-7491 Trondheim, Norway

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНИХ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ МЕТОДОМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

За допомогою обчислювальних експериментів досліджується точність чисельних розв'язків, отриманих за допомогою еквівалентних математичних моделей вимірювальних перетворювачів (ВП) першого та другого порядків у формі звичайних диференціальних рівнянь, передатних функцій, операторів Вольтерри та інтегральних рівнянь Вольтерри II роду.

Ключові слова: вимірювальні перетворювачі, математичні моделі, обчислювальний експеримент, звичайні диференціальні рівняння, передатні функції, оператор Вольтерри, інтегральні рівняння.

Вступ. Розвиток комп'ютерних засобів, вимірювальних пристроїв та систем започаткував створення комп'ютерно-інтегрованих систем, які поєднують технології вимірювання, обробки та передачі інформації, вироблення сигналів керування, контролю і діагностики об'єктів керування. Побудова комп'ютерно-інтегрованих систем обумовлює необхідність розробки і вибору ефективних математичних та комп'ютерних моделей, від форм і якості яких залежить можливість роботи систем у реальному часі за обмежених обчислювальних ресурсів [4], що обумовлює актуальність задачі розробки і вибору еквівалентних математичних моделей для використання їх у комп'ютерно-інтегрованих системах.

Найбільш близьким до практичних оцінок методів та алгоритмів чисельної реалізації математичних моделей є метод обчислювальних експериментів, який дає можливість дослідити властивості об'єкта або явища шляхом розв'язування задачі за допомогою комп'ютерної техніки. Багаторазове проведення експериментів для різних наборів вход-

них даних дає змогу дослідити роль та вплив різних факторів на проходження того чи іншого процесу або поведінку об'єкта. Результати обчислювальних експериментів дають можливість правильно планувати відповідні натурні експерименти, скорочувати терміни проектно-конструкторських робіт щодо розробки комп'ютерно-інтегрованих систем, знизити затрати матеріалів та енергоресурсів [4, 9, 12].

Метою роботи є дослідження якості різних форм представлення динамічних моделей вимірювальних перетворювачів методом обчислювальних експериментів.

Основна частина. Динамічні властивості складних вимірювальних комплексів можна оцінити за динамікою вимірювальних перетворювачів як складових елементів таких систем [1, 3, 6, 11, 12].

Базовою математичною моделлю вимірювальних перетворювачів як лінійних стаціонарних динамічних об'єктів із зосередженими параметрами є диференціальне рівняння зі сталими коефіцієнтами [1, 6, 11]:

$$a_n \frac{d^n Q}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{dQ}{dt} + a_0 Q = \\ = b_m \frac{d^m f}{dt^m} + \dots + b_1 \frac{df}{dt} + b_0 f,$$

де Q – вихідний сигнал, f – вхідний сигнал, $a_n, \dots, a_1, a_0, b_m, \dots, b_1, b_0$ – сталі.

Залежно від порядку диференціального рівняння, яке описує вимірювальний перетворювач, їх можна поділити на перетворювачі першого, другого або вищого порядків [1, 6, 11].

Розглянемо вимірювальні перетворювачі першого та другого порядків і представимо вихідну диференціальну модель у вигляді інтегральних еквівалентних моделей.

Перетворювачі першого порядку. Диференціальні рівняння першого порядку описують поведінку перетворювачів, до складу яких входить один енергонакопичувальний елемент. Такі рівняння мають вигляд:

$$a \frac{dQ(t)}{dt} + bQ(t) = f(t), \quad (1)$$

де a та b – параметри моделі, $Q(t)$ – показання вимірювального перетворювача, $f(t)$ – вимірюване значення. Прикладами таких об'єктів

служать вимірювальні перетворювачі температури, вологості газу та швидкості потоку [1, 6, 11]. Базові математичні моделі таких перетворювачів наведено в табл. 1.

Шляхом еквівалентних перетворень рівняння (1) можна отримати моделі в інтегральних формах: передатна функція, оператор Вольтерри, рівняння Вольтерри II роду [2, 5, 10], які наведені в табл. 2, де також представлено загальний вигляд перехідної характеристики ВП.

Перетворювачі другого порядку. Диференціальні рівняння другого порядку описують поведінку датчиків з двома енергонакопичувальними елементами:

$$\frac{d^2 Q(t)}{dt^2} + a \frac{dQ(t)}{dt} + bQ(t) = f(t), \quad (2)$$

де a та b – параметри моделі, $Q(t)$ – показання вимірювального перетворювача, $f(t)$ – вимірюване значення. Прикладом такого об'єкта є ВП прискорення (акселерометр), до складу якого входять маса і пружина [1, 6, 11] (табл. 1).

В табл. 3 представлено еквівалентні рівняння (2) моделі в інтегральних формах: передатна функція, оператор Вольтерри, рівняння Вольтерри II роду [2, 5, 10].

Таблиця 1

Моделі вимірювальних перетворювачів

ВП	Диференціальні моделі	Позначення
Температури	$C \frac{dQ_m(t)}{dt} + AQ_m(t) = kQ(t),$ $Q_m(0) = Q_0.$	Q_m – показання ВП; C – коефіцієнт питомої теплоємності термопар; A – коефіцієнт тепловіддачі термопар; $Q(t)$ – вимірювана температура.
Вологості газу	$\frac{d\varphi_r(t)}{dt} + \frac{1}{\lambda_0} \varphi_r(t) = \frac{1}{\lambda_0} \varphi_u(t),$ $\varphi_r(0) = \varphi_{r0}.$	φ_r – показання ВП; λ_0 – коефіцієнт, який характеризує умови виміру; $\varphi_u(t)$ – вимірюване поточне значення вологості газу.
Швидкості потоку	$J \frac{d\omega(t)}{dt} + z_0 \omega(t) = c_0 V(t),$ $\omega(0) = \omega_0.$	J – момент інерції ротора ВП; $\omega(t)$ – швидкість обертання ротора; z_0 – коефіцієнт сил в'язкого тертя; c_0 – стала, яка залежить від параметрів ВП; $V(t)$ – швидкість потоку.
Прискорення	$m \frac{d^2 x_0''(t)}{dt^2} + k_1 \frac{dx_0'(t)}{dt} + c_1 x_0(t) = m a_x(t),$ $x_0(0) = x_0, \quad x_0'(0) = x_0'.$	$a_x(t)$ – вимірюване прискорення об'єкта; $x_0''(t), x_0'(t), x_0(t)$ – відносне прискорення, швидкість, переміщення інерційної маси приладу; k_1 – коефіцієнт демпфування; c_1 – жорсткість пружного елемента; m – інерційна маса приладу.

Таблиця 2

Моделі вимірювальних перетворювачів першого порядку

Вид моделі	Модель
	$Q(t)$ – шукана функція; a, b – сталі коефіцієнти; $f(t)$ – вхідний вплив; $Q_0(t)$ – початкове значення.
Диференціальне рівняння	$a \frac{dQ(t)}{dt} + bQ(t) = f(t), Q(0) = Q_0.$
Передатна функція	$Q(p) = \frac{1}{ap + b} f(p) + a \frac{1}{ap + b} Q_0 L_p \{ \delta(t) \}$
Оператор Вольтерри	$Q(t) = \frac{1}{a} \int_0^t e^{-\frac{b}{a}(t-s)} f(s) ds + e^{-\frac{b}{a}t} Q_0$
Рівняння Вольтерри II роду	$y(t) + \frac{b}{a} \int_0^t y(s) ds = \frac{1}{a} f(t) - \frac{b}{a} Q_0, Q = \int_0^t y(s) ds + Q_0$
Перехідна характеристика	$Q(t) = \frac{1}{b} \left(1 - e^{-\frac{b}{a}t} \right) + e^{-\frac{b}{a}t} Q_0$

Таблиця 3

Моделі вимірювальних перетворювачів другого порядку

Вид моделі	Модель
	$Q(t)$ – шукана функція; a, b – сталі коефіцієнти; $f(t)$ – вхідний вплив; $Q_0(t)$ – початкове значення.
Диференціальні рівняння	$\frac{d^2 Q(t)}{dt^2} + a \frac{dQ(t)}{dt} + bQ(t) = f(t),$ $Q(0) = Q_0, \frac{dQ(0)}{dt} = Q_1, 4b > a^2$
Передатна функція	$Q(p) = \frac{1}{p^2 + ap + b} f(p) +$ $+ \frac{p}{p^2 + ap + b} Q_1 L_p \{ \delta(t) \} + \frac{1}{p^2 + ap + b} (1 + a) Q_0 L_p \{ \delta(t) \}$
Оператор Вольтерри	$Q(t) = \frac{2}{\omega} \int_0^t e^{\alpha(t-s)} \sin \omega(t-s) f(s) ds + Q_0 e^{\alpha t} \left(\cos \omega t - \frac{\alpha}{\omega} \sin \omega t \right) + \frac{1}{\omega} Q_1 e^{\alpha t} \sin \omega t$ $\alpha = -\frac{a}{2}, \omega = \frac{1}{2} \sqrt{4b - a^2}, 4b > a^2$
Рівняння Вольтерри II роду	$y(t) + \int_0^t (a + b(t-s)) y(s) ds = f(t) - (bt + a) Q_1 - bQ_0,$ $Q = \int_0^t (t-s) y(s) ds + tQ_1 + Q_0$
Перехідна характеристика	$Q(t) = \frac{1}{b} \left(1 - e^{\alpha t} \left(\cos(\omega t) - \frac{\alpha}{\omega} \sin(\omega t) \right) \right) + e^{\alpha t} \left(\cos(\omega t) + \frac{\alpha}{\omega} \sin(\omega t) \right) Q_0 +$ $+ \frac{1}{\omega} e^{\alpha t} \sin(\omega t) (Q_1 + aQ_0)$ $\alpha = -\frac{a}{2}, \omega = \frac{1}{2} \sqrt{4b - a^2}, 4b > a^2$

Обчислювальні експерименти. Ефективність застосування кожної форми моделі досліджено на основі обчислювальних експериментів шляхом зміни різних факторів, які впливають на перехідний процес. Обчислювальні експерименти проводилися в середовищі Matlab, причому чисельна реалізація моделей виконувалась різними засобами [7, 8]. Для реалізації математичних моделей у формі диференціальних моделей застосовувались різні чисельні методи на основі таких засобів:

ode (Euler) – метод Ейлера (метод Рунге-Кутти 1-го порядку зі сталим кроком інтегрування, власна реалізація);

ode23 (Bogacki-Shampine) – метод Богацького-Шампена (метод Рунге-Кутти 2-3-го порядків із змінним кроком інтегрування, засіб середовища Matlab);

ode45 (Dormand-Prince) – метод Дормана-Принса (метод Рунге-Кутти 4-5-го порядків із змінним кроком інтегрування, засіб середовища Matlab).

Чисельна реалізація передатних функцій виконувалась в середовищі Simulink на основі програм-розв'язувачів при сталому кроці інтегрування:

ode1 (Euler) – метод Ейлера (метод Рунге-Кутти 1-го порядку);

ode2 (Heun) – метод Хойна (метод Рунге-Кутти 2-го порядку);

ode3 (Bogacki-Shampine) – метод Богацького-Шампена (метод Рунге-Кутти 3-го порядку);

ode4 (Runge-Kutta) – метод Рунге-Кутти 4-го порядку;

ode5 (Dormand-Prince) – метод Дормана-Принса (метод Рунге-Кутти 5-го порядку).

Чисельна реалізація інтегральних моделей виконувалась на основі запропонованих алгоритмів і програм, оскільки в середовищі Matlab немає засобів для їх реалізації. При цьому, для реалізації оператора Вольтерри в середовищі Matlab створено засоби на основі квадратурних методів:

VO (Left) – метод лівих прямокутників;

VO1 (Trapezoidal) – метод трапецій (аналог методу Рунге-Кутти 1-го порядку точності).

Для чисельної реалізації інтегрального рівняння Вольтерри II роду в середовищі Matlab розроблено такі засоби:

VIE (Left) – метод лівих прямокутників;

VIE1 (Trapezoidal) – метод трапецій (аналог методу Рунге-Кутти 1-го порядку точності).

При дослідженні форм моделей задавались різні значення характеристик самої моделі, тобто a та b , характеристика вхідного сигналу $f(t)$ із накладанням шуму різного типу, початкове значення Q_0 та крок моделювання τ . Під час обчислювальних експериментів використовувався вхідний сигнал у вигляді одиничної функції $1(t)$ і порівнювались отримані значення з відомою перехідною характеристикою. Оцінювання якості перехідних характеристик здійснюється на основі абсолютних та відносних похибок:

$M_{\Delta} = \max |Q_{uu} - Q_m|$ – максимальна абсолютна похибка,

$I_{\Delta} = \sum |Q_{uu} - Q_m| \tau$ – інтегральна абсолютна похибка,

$M_{\delta} = \max \frac{|Q_{uu} - Q_m|}{Q_{yem}} \cdot 100\%$ – максимальна відносна похибка, де Q_{uu} – шукане значення, Q_m – точне значення, Q_{yem} – усталене значення перехідної характеристики.

на відносна похибка, де Q_{uu} – шукане значення, Q_m – точне значення, Q_{yem} – усталене значення перехідної характеристики.

В табл. 4–5 наведено приклади дослідження моделей вимірювальних перетворювачів першого та другого порядків. Параметри обчислювальних експериментів мають значення: $a = 1$, $b = 1$, $\tau = 0.01$, $Q_0 = 0$, $f(t) = 1(t)$, $T = 20$. До вхідного сигналу додавався 5 % білий шум. Похибки чисельної реалізації еквівалентних моделей при цих параметрах наведено в табл. 4–5 відповідно для моделей першого та другого порядків.

У табл. 6–7 наведено відповідно похибки для моделей першого та другого порядків при таких параметрах обчислювальних експериментів: $a = 0.005$, $b = 1$, $\tau = 0.01$, $Q_0 = 0$, $f(t) = 1(t)$, $T = 20$. До вхідного сигналу додавався 5 % білий шум.

Таблиця 4

Похибки чисельної реалізації моделей вимірювальних перетворювачів першого порядку

Вид моделі	Спосіб програмної реалізації	Засіб (метод)	Максимальна абсолютна похибка, M_{Δ}	Інтегральна абсолютна похибка, I_{Δ}	Відносна похибка, M_{δ}
Диференціальне рівняння	Власна реалізація	ode (Euler)	0,006420059	0,032060665	0,642005877
	Реалізація Matlab	ode23 (Bogacki-Shampine)	0,012817387	0,079925334	1,281738664
		ode45 (Dormand-Prince)	0,022971537	0,146596141	2,297153709
Передатна функція	Реалізація Simulink	ode1 (Euler)	0,005560527	0,037185834	0,556052715
		ode2 (Heun)	0,005432195	0,032472807	0,543219524
		ode3 (Bogacki-Shampine)	0,005432209	0,032485501	0,543220948
		ode4 (Runge-Kutta)	0,005432209	0,032485469	0,543220944
		ode5 (Dormand-Prince)	0,005432209	0,032485469	0,543220944
Оператор Вольтерри	Власна реалізація	VO (Left)	0,011260063	0,095575375	1,126006338
		VO1 (Trapezoidal)	0,007433268	0,032606556	0,743326795
Рівняння Вольтерри II роду	Власна реалізація	VIE (Left)	0,005831836	0,037974921	0,583183593
		VIE1 (Trapezoidal)	0,00547819	0,029871004	0,547818974

Таблиця 5

Похибки чисельної реалізації моделей вимірювальних перетворювачів другого порядку

Вид моделі	Спосіб програмної реалізації	Засіб (метод)	Максимальна абсолютна похибка, M_{Δ}	Інтегральна абсолютна похибка, I_{Δ}	Відносна похибка, M_{δ}
Диференціальне рівняння	Власна реалізація	ode (Euler)	0,004132	0,033471	0,413155
	Реалізація Matlab	ode23 (Bogacki-Shampine)	0,005536	0,018696	0,553595
		ode45 (Dormand-Prince)	0,007447	0,028396	0,744722
Передатна функція	Реалізація Simulink	ode1 (Euler)	0,005981	0,041422	0,59807
		ode2 (Heun)	0,004639	0,030267	0,463917
		ode3 (Bogacki-Shampine)	0,004642	0,030304	0,464216
		ode4 (Runge-Kutta)	0,004642	0,030304	0,464216
		ode5 (Dormand-Prince)	0,004642	0,030304	0,464216
Оператор Вольтерри	Власна реалізація	VO (Left)	0,007259	0,033994	0,725938
		VO1 (Trapezoidal)	0,006164	0,030103	0,616434
Рівняння Вольтерри II роду	Власна реалізація	VIE (Left)	0,004773	0,035227	0,477334
		VIE1 (Trapezoidal)	0,003537	0,029062	0,353663

Таблиця 6

Похибки чисельної реалізації моделей вимірювальних перетворювачів першого порядку

Вид моделі	Спосіб програмної реалізації	Засіб (метод)	Максимальна абсолютна похибка, M_{Δ}	Інтегральна абсолютна похибка, I_{Δ}	Відносна похибка, M_{δ}
Диференціальне рівняння	Власна реалізація	ode (Euler)	2,375572	19,30042	237,5572
	Реалізація Matlab	ode23 (Bogacki-Shampine)	0,026216	0,084303	2,621555
		ode45 (Dormand-Prince)	0,034312	0,141926	3,43121
Передатна функція	Реалізація Simulink	ode1 (Euler)	2,969919	24,14613	296,9919
		ode2 (Heun)	1,02779	19,55108	102,779
		ode3 (Bogacki-Shampine)	0,437185	0,494983	43,7185
		ode4 (Runge-Kutta)	0,216717	0,354298	21,67169
		ode5 (Dormand-Prince)	0,05978	0,33128	5,978045
Оператор Вольтерри	Власна реалізація	VO (Left)	0,702066	13,73691	70,20659
		VO1 (Trapezoidal)	0,375252	6,260729	37,52515
Рівняння Вольтерри II роду	Власна реалізація	VIE (Left)	2,404692	29,29589	240,4692
		VIE1 (Trapezoidal)	0,150585	0,337955	15,05848

Таблиця 7

Похибки чисельної реалізації моделей вимірювальних перетворювачів другого порядку

Вид моделі	Спосіб програмної реалізації	Засіб (метод)	Максимальна абсолютна похибка, M_{Δ}	Інтегральна абсолютна похибка, I_{Δ}	Відносна похибка, M_{δ}
Диференціальне рівняння	Власна реалізація	ode (Euler)	0,105461	0,708331	10,54613
	Реалізація Matlab	ode23 (Bogacki-Shampine)	0,012994	0,098818	1,29935
		ode45 (Dormand-Prince)	0,028644	0,186056	2,864441
Передатна функція	Реалізація Simulink	ode1 (Euler)	0,111162	0,745869	11,11617
		ode2 (Heun)	0,020521	0,111116	2,052055
		ode3 (Bogacki-Shampine)	0,020657	0,111996	2,065741
		ode4 (Runge-Kutta)	0,020658	0,112	2,065797
		ode5 (Dormand-Prince)	0,020658	0,112	2,065796
Оператор Вольтерри	Власна реалізація	VO (Left)	0,027639	0,111705	2,763867
		VO1 (Trapezoidal)	0,029048	0,093599	2,904845
Рівняння Вольтерри II роду	Власна реалізація	VIE (Left)	0,012929	0,057592	1,292877
		VIE1 (Trapezoidal)	0,013516	0,108301	1,351622

Отже, результати обчислювальних експериментів дають змогу здійснювати аналіз і вибір необхідних математичних моделей. В ряді випадків розв'язки диференціальних рівнянь збігаються з розв'язками, отриманими за допомогою моделей в інтегральній формі. Є також випадки, коли розв'язки, отримані за допомогою інтегральних моделей, є більш точними, ніж розв'язки, отримані на основі диференціальних моделей. Зокрема, розв'язки для випадків, коли $a \ll \tau$, отримані на основі моделей у формі диференціальних рівнянь та передатних функцій, є розбіжними. В цьому випадку доцільно застосовувати змінний крок інтегрування, де свою ефективність показали програмні засоби для розв'язування диференціальних рівнянь ode23 та ode45, але вони, на відміну від інтегральних моделей, потребують набагато більше апаратних ресурсів та часу.

Загалом, вибір кращої форми математичної моделі необхідно здійснювати на основі аналізу результатів великої кількості обчислювальних експериментів з різними змінними параметрами. При оцінюванні форм математичних моделей вимірювальних пристроїв першого та другого порядків доцільно застосовувати алгоритми однакового рівня точності (наприклад, Рунге-Кутти 1-го порядку, аналогом якому є метод трапецій) та однакові параметри моделі і крок моделювання (змінний чи сталий).

Оцінювання наведених похибок проведених обчислювальних експериментів у табл. 4–7 при однакових вихідних даних (диференціальне рівняння – ode (Euler), передатна функція – ode1 (Euler), оператор Вольтерри – VO1 (Trapezoidal), рівняння Вольтерри II роду – VIE1 (Trapezoidal)) – показало, що найвищу точність мають розв'язки, які отримані на основі застосування моделей у формі інтегральних рівнянь Вольтерри II роду.

Для підвищення точності чисельної реалізації моделей можна застосовувати змінний крок та збільшити кількість точок дискретизації, застосовувати методи Рунге-Кутти вищих порядків. Однак ці дії необхідно робити з урахуванням технічних умов до комп'ютерно-інтегрованих систем.

Висновки. Досліджено еквівалентні представлення моделей вимірювальних перетворювачів першого та другого порядків у формі диференціальних рівнянь, передатних функцій, інтегрального оператора Вольтерри, інтегральних рівнянь Вольтерри II роду. Аналітично еквівалентні різні форми динамічних

моделей не є рівноцінними при комп'ютерній реалізації, оскільки різні форми моделей реалізуються за допомогою неоднакових обчислювальних схем. Ефективність різних форм моделей вимірювальних перетворювачів дають можливість оцінити обчислювальні експерименти. Проведені дослідження еквівалентних форм представлення динамічних моделей вимірювальних перетворювачів першого та другого порядків показали, що найкраща якість обчислювального процесу спостерігається при використанні моделей у формі інтегральних рівнянь Вольтерри II роду.

Список літератури

1. Бриндли К. Измерительные преобразователи: справочное пособие. Москва: Энергоатомиздат, 1991. 144 с.
2. Бутковский А. Г. Характеристики систем с распределенными параметрами: справочное пособие. Москва: Наука, 1979. 224 с.
3. Вашны Е. Динамика измерительных систем. Москва: Энергия, 1969. 288 с.
4. Верлань А. Ф., Федорчук В. А. Модели динамики электромеханических систем. Київ: Наук. думка, 2013. 222 с.
5. Верлань А. Ф. Сизиков В. С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы: справочное пособие. Київ: Наук. думка, 1986. 543 с.
6. Датчики: справочное пособие / под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012. 624 с.
7. Іванюк В. А. Математичні пакети прикладних програм: навч. посіб. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільськ. нац. ун-т імені Івана Огієнка, 2015. 160 с.
8. Лазарев Ю. Ф. Моделирование динамических систем у Matlab. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 421 с.
9. Верлань А. Ф., Абдусаров Б. Б., Игнатченко А. А., Максимович Н. А. Методы и устройства интерпретации экспериментальных зависимостей при исследовании и контроле энергетических процессов. Київ: Наук. думка, 1993. 208 с.
10. Федорчук В. А., Іванюк В. А., Верлань Д. А. Інтегральні рівняння в задачах математичного моделювання: навч. посіб. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільськ. нац. ун-т імені Івана Огієнка, 2014. 144 с.
11. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник. Москва: Техносфера, 2005. 592 с.

12. Шевчук В. П. Расчет динамических погрешностей интеллектуальных измерительных систем. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 288 с.
- References**
1. Brindley, K. (1991) Measuring transducers: reference book. Moscow: Energoatomizdat, 144 p. [in Russian].
 2. Butkovskiy, A. G. (1979) Characteristics of systems with distributed parameters. Moscow: Nauka, 224 p. [in Russian].
 3. Vashny, E. (1969) Dynamics of measuring systems. Moscow: Energia, 288 p. [in Russian].
 4. Verlan, A. F., Fedorchuk, V. A. (2013) Models of dynamics of electromechanical systems. Kyiv: Nauk. dumka, 222 p. [in Ukrainian].
 5. Verlan, A. F., Sizikov, V. S. (1986) Integral equations: methods, algorithms, programs: reference manual. Kyiv: Nauk. dumka, 543 p. [in Russian].
 6. Sensors: reference manual (2012) In: V. M. Sharapov, E. S. Polishchuk (eds.). Moscow: Tehnosfera, 624 p. [in Russian].
 7. Ivanuk, V. A. (2015) Mathematical packages of applied programs. Kamianets-Podilskyi: Kamianets-Podilsk. nats. un-t imeni Ivana Ohienka, 160 p. [in Ukrainian].
 8. Lazarev, Yu. F. (2011) Modeling of dynamic systems in Matlab. Kyiv: NTUU "KPI", 421 p. [in Ukrainian].
 9. Verlan, A. F., Abdusarov, B. B., Ignatchenko, A. A., Maksimovich, N. A. (1993) Methods and devices for interpreting experimental dependences in the study and control of energy processes. Kyiv: Nauk. dumka, 208 p. [in Russian].
 10. Fedorchuk, V. A., Ivanyuk, V. A., Verlan, D. A. (2014) Integral equations in problems of mathematical modeling: textbook. Kamianets-Podilskyi: Kamianets-Podilsk. nats. un-t imeni Ivana Ohienka, 144 p. [in Ukrainian].
 11. Freyden, J. (2005) Modern sensors: reference book. Moscow: Technosphere, 592 p. [in Russian].
 12. Shevchuk, V. P. (2008) Calculation of dynamic errors in intelligent measuring systems. Moscow: FIZMATLIT, 288 p. [in Russian].

V. A. Ivanyuk¹, *Ph.D, associate professor*

e-mail: wivanyuk@gmail.com

O. O. Sytnyk², *Ph.D, professor*

e-mail: sytnyk_ets@ukr.net

Jo Sterten³, *assistant*

e-mail: jo.sterten@ntnu.no

¹Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohienko University,
Ohienko str., 61, Kamianets-Podilskyi, 32300, Ukraine

²Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

³Norwegian University of Science and Technology, Gyovik, Norway
NTNU, NO-7491 Trondheim, Norway

RESEARCH OF EQUIVALENT FORMS OF REPRESENTATION OF DYNAMIC MODELS OF MEASURING CONVERTERS BY THE METHOD OF COMPUTATIONAL EXPERIMENTS

With computational experiments the accuracy of numerical solutions obtained with the help of equivalent mathematical models of measuring transducers of the first and second orders in the form of ordinary differential equations, transfer functions, Volterra operators and integral Volterra equations of the second kind is calculated.

Keywords: *measuring transducers, mathematical models, computational experiment, ordinary differential equations, transfer functions, Volterra operator, integral equations.*

С. М. Первунінський, д.т.н., професор

e-mail: cherkpervun@rambler.ru

В. В. Олексюк, аспірант

e-mail: vadim.oleksuk@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

АНАЛІЗ БІНАРНОГО ЦИФРОВОГО МОДЕМА ШУМОВИХ СИГНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ КВАДРАТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ДЕМОДУЛЯТОРА

У статті представлено результати дослідження впливу квадратичної складової цифрового демодулятора на завадостійкість бінарної системи автокореляційного типу з шумовими сигналами.

Ключові слова: автокореляційна система зв'язку, бінарний модем, шумовий сигнал, квадратична складова, завадостійкість.

Постановка задачі. Серед сучасних носіїв інформації у комп'ютерних мережах широке застосування знаходять системи, що використовують широкосмугові сигнали. Найбільшого поширення отримали розробки автокореляційних систем передачі цифрової інформації з використанням шумових сигналів [1, 2]. На виході аналогового модулятора шуму в бінарній системі автокореляційного типу на тактовому інтервалі T сигнал має вигляд:

$$x(t) = \xi(t) + \alpha \xi(t - \tau), \quad t \in [0; T], \quad (1)$$

де $\alpha \in \{-1, +1\}$ – переданий інформаційний символ, що відповідає логічним бінарним сигналам «0» та «1»;

$\xi(t)$ – шумовий випадковий процес;

τ – часова затримка.

На вхід демодулятора надходить сигнал виду:

$$y(t) = x(t) + n(t) = \xi(t) + \alpha \xi(t - \tau) + n(t), \quad (2)$$

де $n(t)$ – адитивна завада типу білого гаусового шуму, що додається до сигналу в каналі зв'язку.

Значення сигналу на виході корелятора визначається величиною

$$\mathcal{Y} = \int_0^T y(t) \cdot y(t - \tau) dt.$$

Пристрій прийняття рішення за значенням $\mathcal{Y}$ визначає оцінку сигналу $\hat{\alpha} = 1$, якщо сигнал на виході корелятора має додатне значення, інакше $\hat{\alpha} = -1$.

В роботі [3] зроблено оцінювання завадостійкості системи, розглянувши наявну в

демодуляторі квадратичної складової з апроксимацією її гаусовим розподілом. У цій роботі проведено теоретичний аналіз завадостійкості модема при врахуванні реального розподілу квадратичної складової демодулятора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перші матеріали про автокореляційні системи з шумовими сигналами надані в роботах F. Lange та W. Müller (1963 р.). Подальші результати в цьому напрямку досліджень наведені в [4–7].

Дослідження завадостійкості систем автокореляційного типу в більшості випадків проводять з використанням гаусової апроксимації випадкових величин (ВВ). В роботі розглянемо вплив наявності в демодуляторі ВВ з розподілом χ^2 , що збільшує точність теоретичної оцінки завадостійкості системи.

Мета роботи – аналіз бінарного цифрового модему шумових сигналів з урахуванням впливу квадратичної складової демодулятора на його завадостійкість, коли як сигнал використовується центрований білий гаусовий шум.

Виклад основного матеріалу. Після проходження сигналу (2) аналогового цифрового перетворювача (АЦП) на вхід корелятора маємо векторне представлення вхідного сигналу [8]

$$\bar{y} = \bar{x} + \bar{n} = (\bar{\xi}^0, \alpha \bar{\xi}^\tau) + (\bar{n}^0, \bar{n}^\tau) = (\bar{\xi}^0 + \bar{n}^0, \alpha \bar{\xi}^\tau + \bar{n}^\tau),$$

де, $\bar{n}^0$ – вектор сигналу завади, що відповідає опорному сигналу, а $\bar{n}^\tau$ – завада, затримана на час τ .

Сигнал на вході порогового пристрою, з урахуванням $\alpha^2 = 1$ та стаціонарності шуму, запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} \mathcal{Q} = & \left\langle \bar{\xi}^0 + \alpha \bar{\xi}^\tau + \bar{n}^0, \bar{\xi}^\tau + \alpha \bar{\xi}^{2\tau} + \bar{n}^\tau \right\rangle = \\ = & \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^{2\tau} \right\rangle + \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{\xi}^\tau \right\rangle + \\ + & \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{\xi}^{2\tau} \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{n}^\tau \right\rangle + \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{n}^0 \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^{2\tau}, \bar{n}^0 \right\rangle + \\ + & \left\langle \bar{n}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle = 2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^{2\tau} \right\rangle + 2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle + \\ + & \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{n}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{\xi}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^{2\tau}, \bar{n}^0 \right\rangle + \left\langle \bar{n}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle, \quad (3) \end{aligned}$$

де $\left\langle \bar{v}^0, \bar{s}^\tau \right\rangle = \sum_{j=1}^N v_j \cdot s_{j-\tau}$ – скалярний добуток

дискретних випадкових величин $\bar{v}^0$ та $\bar{s}^\tau$.

В (3) можна виділити дві випадкові складові, що підпорядковуються різним законам розподілу ймовірності:

$$\begin{aligned} \mathcal{Q}_1 = & 2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^{2\tau} \right\rangle + 2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle + \\ + & \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{n}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^{2\tau}, \bar{n}^0 \right\rangle + \left\langle \bar{n}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle, \quad (4) \end{aligned}$$

і

$$\mathcal{Q}_2 = \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{\xi}^\tau \right\rangle. \quad (5)$$

Розв’язувальний пристрій демодулятора фіксує прийом символу $\alpha = +1$ при виконанні умови

$$\mathcal{Q} \geq 0. \quad (6)$$

Нерівність (6) з урахуванням рівностей (4) і (5) можна записати у вигляді

$$\mathcal{Q}_2 \geq -\mathcal{Q}_1. \quad (7)$$

Порушення цієї нерівності є умовна ймовірність помилки (фіксація $\alpha = -1$ при передачі символу $\alpha = +1$) та визначається інтегралом

$$P(\alpha = -1/\alpha = +1) = \int_0^\infty \int_{-\infty}^{-\mathcal{Q}_1} \omega(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2) d\mathcal{Q}_1 d\mathcal{Q}_2, \quad (8)$$

де $\omega(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2)$ – сумісна щільність розподілу ВВ $\mathcal{Q}_1$ і $\mathcal{Q}_2$. Щільність розподілу $\omega(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2)$ можна отримати через згортку розподілів ВВ $\mathcal{Q}_1$ і $\mathcal{Q}_2$.

Визначимо початкові моменти першого та другого порядку ВВ $\mathcal{Q}_1$.

$$\begin{aligned} m_1(\mathcal{Q}_1) = & M[2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^{2\tau} \right\rangle + \\ + & 2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{n}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^{2\tau}, \bar{n}^0 \right\rangle + \\ + & \left\langle \bar{n}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle] = \sum_{j=1}^N M\{2 \left\langle \xi_j, \xi_{j-\tau} \right\rangle + \\ + & \alpha \left\langle \xi_j, \xi_{j-2\tau} \right\rangle + 2 \left\langle \xi_j, n_{j-\tau} \right\rangle + \alpha \left\langle \xi_{j-\tau}, n_{j-\tau} \right\rangle + \\ + & \alpha \left\langle \xi_{j-2\tau}, n_j \right\rangle + \left\langle n_j, n_{j-\tau} \right\rangle\} = 0. \\ m_2(\mathcal{Q}_1) = & M[2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^{2\tau} \right\rangle + \\ + & 2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{n}^\tau \right\rangle + \alpha \left\langle \bar{\xi}^{2\tau}, \bar{n}^0 \right\rangle + \\ + & \left\langle \bar{n}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle]^2. \quad (9) \end{aligned}$$

Використовуючи формулу (для спільногаусових ВВ) [10, с. 74]

$$\begin{aligned} M[\xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4] = & M[\xi_1 \xi_2] M[\xi_3 \xi_4] + \\ + & M[\xi_1 \xi_3] M[\xi_2 \xi_4] + M[\xi_1 \xi_4] M[\xi_2 \xi_3] - \\ - & 2m_1 m_2 m_3 m_4, \end{aligned}$$

розкриваючи квадратні дужки в (9), послідовно знайдемо другі початкові моменти доданків:

$$M[2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{\xi}^\tau \right\rangle]^2 = 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N M\{\xi_i \cdot \xi_{i-\tau} \cdot \xi_j \cdot \xi_{j-\tau}\} = 2\sigma_\xi^4 N; \quad (10)$$

аналогічно для

$$M[\alpha^2 \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{\xi}^{2\tau} \right\rangle]^2 = \sigma_\xi^4 N, \quad (11)$$

$$M[\left\langle \bar{n}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle]^2 = \sigma_n^4 N; \quad (12)$$

$$M[\alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{\xi}^\tau \right\rangle]^2 = \alpha \sigma_\xi^2 N; \quad (13)$$

$$M[2 \left\langle \bar{\xi}^0, \bar{n}^\tau \right\rangle]^2 = 2 \sigma_\xi^2 \sigma_n^2 N; \quad (14)$$

$$M[\alpha \left\langle \bar{\xi}^\tau, \bar{n}^\tau \right\rangle]^2 = M[\alpha \left\langle \bar{\xi}^{2\tau}, \bar{n}^0 \right\rangle]^2 = \alpha \sigma_\xi^2 \sigma_n^2 N. \quad (15)$$

Розглянемо значення математичного сподівання від подвоєних добуток

$$M[\langle \xi^0, \xi^\tau \rangle \langle \xi^0, \xi^{2\tau} \rangle] =$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N M\{\xi_i \cdot \xi_{i-\tau} \cdot \xi_j \cdot \xi_{j-2\tau}\} = 0;$$

аналогічно для наступних добутоків

$$M[4\alpha \langle \xi^0, \xi^\tau \rangle \langle \xi^\tau, \xi^{2\tau} \rangle] = M[8 \langle \xi^0, \xi^\tau \rangle \langle \xi^\tau, \xi^{2\tau} \rangle] =$$

$$= M[4 \langle \xi^0, \xi^\tau \rangle \langle \xi^\tau, \xi^{2\tau} \rangle] = 0;$$

Підсумовуючи значення початкових моментів, представлених у (10-17), отримаємо дисперсію

$$D_{g_1} = m_2(g_1) = M[2 \langle \xi^0, \xi^\tau \rangle + \alpha \langle \xi^0, \xi^{2\tau} \rangle +$$

$$+ 2 \langle \xi^0, \xi^\tau \rangle + \alpha \langle \xi^\tau, \xi^{2\tau} \rangle + \alpha \langle \xi^{2\tau}, \xi^0 \rangle + \langle \xi^0, \xi^\tau \rangle]^2 =$$

$$+ 2\sigma_\xi^4 N + \sigma_\xi^4 N + 2\sigma_\xi^2 \sigma_n^2 N + 2\sigma_\xi^2 \sigma_n^2 N + \sigma_n^4 N =$$

$$= (3\sigma_\xi^4 + 4\sigma_\xi^2 \sigma_n^2 + \sigma_n^4) N =$$

$$= \sigma_\xi^2 \sigma_n^2 N (3\sigma_\xi^2 / \sigma_n^2 + 4 + \sigma_n^2 / \sigma_\xi^2).$$

Використовуючи гаусову апроксимацію для щільності розподілу ВВ, що входять в $\mathcal{G}_1$, композицію законів щільності розподілу ВВ $\mathcal{G}_1$ в (4) можна описати гаусовим розподілом [9]

$$\omega(g_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{g_1}}} \exp\left(-\frac{g_1^2}{2D_{g_1}}\right). \quad (19)$$

Визначимо щільність розподілу ВВ $\mathcal{G}_2$, у формулі (5):

$$\mathcal{G}_2 = \alpha \langle \xi^\tau, \xi^\tau \rangle = \alpha \sum_{i=1}^N \xi_i^2. \quad (20)$$

В (20) коефіцієнт $\alpha = \pm 1$ вказує на знак інформаційного біту, представленого N відліками вхідного сигналу $y(t)$. Знак цього коефіцієнта змінює лише область розташування щільності розподілу $\omega_{g_2}(y)$ з позитивної ($y \geq 0$) при $\mathcal{G}_2 \geq 0$ на негативну при зворотному значенні $\alpha < 0$. Опишемо щільність розподілу величини

$$\eta = |\mathcal{G}_2| = \sum_{i=1}^N \xi_i^2, \quad (21)$$

Дисперсія центрованої ВВ ξ_i в (20) дорівнює σ_ξ^2 . Тоді щільність розподілу вели-

чини $\eta = |\mathcal{G}_2|$ як ВВ з розподілом χ^2 N -го порядку [10, с. 345] дорівнює

$$p_\eta(y; N) = \begin{cases} \frac{y^{N/2-1} \exp(-y/(2\sigma_\xi^2))}{\sqrt{(2\sigma_\xi^2)^N} \Gamma(N/2)}, & y \geq 0, \\ 0, & y < 0, \end{cases} \quad (22)$$

де, $\Gamma(v) = \int_0^\infty x^{v-1} e^{-x} dx$ - гамма-функція.

Узагальнюючи отриманий розподіл величини $\eta = |\mathcal{G}_2|$ на ВВ $\mathcal{G}_2 = \alpha |\eta|$, з урахуванням величини $\alpha = -1$, отримаємо

$$\omega_\eta(y; N) = \begin{cases} \frac{|y|^{N/2-1} \exp(-|y|/(2\sigma_\xi^2))}{\sqrt{(2\sigma_\xi^2)^N} \Gamma(N/2)}, & y \leq 0, \\ 0, & y > 0, \end{cases} \quad (23)$$

Сумісний розподіл ВВ $\mathcal{G}_1$ і $\mathcal{G}_2$ визначається із згортки розподілів (19) і (23)

$$\omega_{g_1+g_2}(y) = \int_{-\infty}^\infty \omega_{g_1}(\alpha y - x) \omega_{g_2}(x) dx = \int_0^\infty \omega_{g_1}(\alpha y - x) \omega_{g_2}(x) dx =$$

$$= \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{g_1}}} \exp\left(-\frac{(\alpha y - x)^2}{2D_{g_1}}\right) \frac{x^{N/2-1} \exp(-x/(2\sigma_\xi^2))}{\sqrt{(2\sigma_\xi^2)^N} \Gamma(N/2)} dx =$$

$$= \frac{\int_0^\infty x^{N/2-1} \exp[-x/(2\sigma_\xi^2) - (\alpha y - x)^2/(2D_{g_1})] dx}{\Gamma(N/2) \sqrt{2\pi D_{g_1}} (2\sigma_\xi^2)^N}. \quad (24)$$

Тоді ймовірність помилки демодулятором при рівномірній апріорній передачі бінарних посилок буде визначена із виразу

$$P_{\text{ber}} = \int_{-\infty}^0 \omega_{g_1+g_2}(y) dy = \frac{\int_{-\infty}^0 \int_0^\infty x^{N/2-1} \exp\left[-\frac{x}{2\sigma_\xi^2} - \frac{(y-x)^2}{2D_{g_1}}\right] dx dy}{\Gamma(N/2) \sqrt{2\pi D_{g_1}} (2\sigma_\xi^2)^N}. \quad (25)$$

Підставивши значення дисперсії D_{g_1} з (18) в (25), маємо

$$P_{\text{ber}} = \frac{\int_{-\infty}^0 \int_0^\infty x^{N/2-1} \exp\left[-\frac{x}{2\sigma_\xi^2} - \frac{(y-x)^2}{2(\sigma_\xi^2 \sigma_n^2 N (\frac{3\sigma_\xi^2}{\sigma_n^2} + 4 + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_\xi^2}))}\right] dx dy}{\Gamma(N/2) \sqrt{2\pi \sigma_\xi^2 \sigma_n^2 N (\frac{3\sigma_\xi^2}{\sigma_n^2} + 4 + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_\xi^2})} (2\sigma_\xi^2)^N}. \quad (26)$$

Для розрахунків завадостійкості демодулятора по (26) доцільно виділити параметр h^2 – перевищення сигнал/шум

$$h^2 = \frac{E_b}{N_0},$$

де E_b – енергія сигнальної складової інформаційного біту;

$N_0 = 2\sigma_n^2$ – одностороння спектральна щільність потужності завади.

Згідно з (1) при використанні для $x(t)$ дискретного опису енергія сигнальної складової дорівнює

$$E_b = 2\sigma_\xi^2 N,$$

тому

$$h^2 = \frac{E_b}{N_0} = \frac{\sigma_\xi^2 N}{\sigma_n^2}.$$

Враховуючи це значення, h^2 у (26) матиме вираз

$$P_{\text{BER}} = \frac{\int_{-\infty}^0 \int_0^{\infty} x^{N/2-1} \exp\left[-\frac{xN}{2\sigma_n^2 h^2} - \frac{(y-x)^2}{2(\sigma_n^4(3\frac{h^2}{N} + 4 + \frac{N}{h^2}))}\right] dx dy}{\Gamma(N/2) \sqrt{2\pi\sigma_n^4(3\frac{h^2}{N} + 4 + \frac{N}{h^2})(2\frac{N}{\sigma_n^2 h^2})^N}}. \quad (27)$$

В цій формулі дисперсія завади σ_n^2 присутня явно та присутня неявно в параметрі h^2 . Аналіз показує, що без зміни результату розрахунків завадостійкості у формулі (27) можна прийняти значення $\sigma_n^2 = 1$.

На рис. 1 представлено графік залежності ймовірності виникнення помилки P_{BER} від відношення сигнал/шум h^2 в бінарній автокореляційній системі при сталих значеннях кількості відліків N .

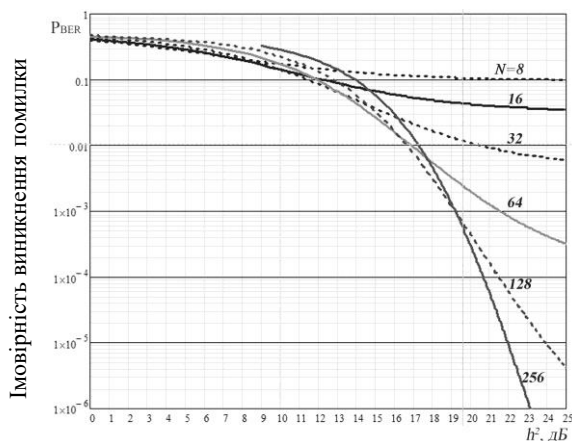


Рис. 1. Залежність P_{BER} від h^2 при сталих значеннях кількості відліків N

Порівняємо отримане теоретичне значення завадостійкості із результатами імітаційного моделювання та відповідними результатами, що наведені для гаусової апроксимації складових в [3]. З графіка (рис. 2)

видно, що розрахунки ймовірності по (27) з урахуванням розподілу χ^2 при всіх значеннях N краще відповідають результатам, отриманим імітаційним моделюванням, порівняно з урахуванням гаусової апроксимації ВВ. У той же час при деяких значеннях N (наприклад $N=64$) спостерігається велика різниця між результатами теоретичних розрахунків та імітаційним моделюванням при великих значеннях відношення сигнал/завада.

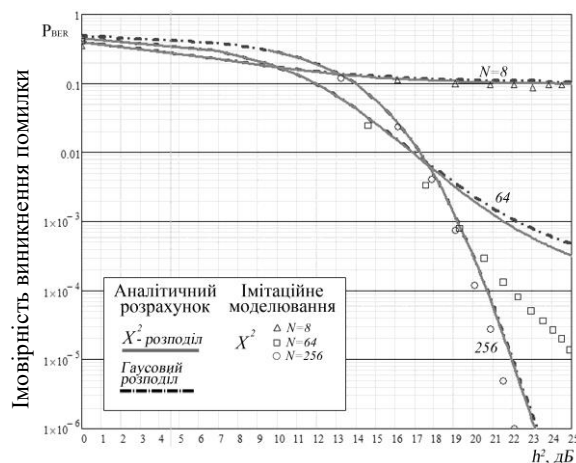


Рис. 2. Залежність P_{BER} від h^2 – аналітичні розрахунки та імітаційне моделювання

При великих значеннях N ($N=256$) апроксимація квадратичним розподілом наближається до значень розрахунків при гаусовій апроксимації ВВ.

Представимо залежність ймовірності виникнення помилки від кількості відліків N при сталих значеннях відношення h^2 (рис. 3).

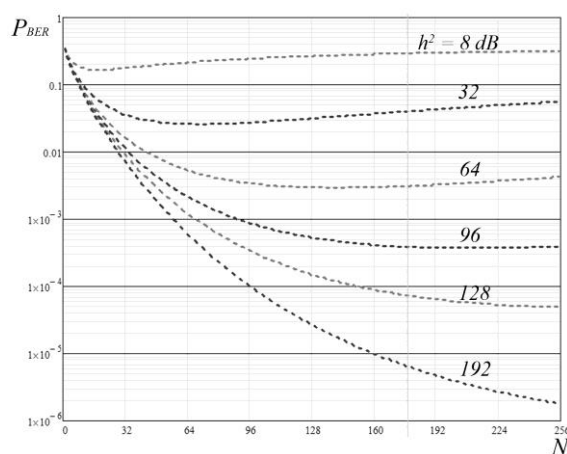


Рис. 3. Залежність P_{BER} від N при сталих значеннях h^2

З графіка видно, що в наведених залежностях має місце екстремум типу мінімуму. При збільшенні перевищення h^2 екстремальне значення величини N збільшується.

На рис. 4 зображено графічну залежність відношення сигнал/завада від кількості відліків при сталій ймовірності помилки біту P_{BER} . Бачимо, що при збільшенні значення кількості відліків інформаційного символу N можна забезпечити необхідний рівень завадостійкості демодулятора.

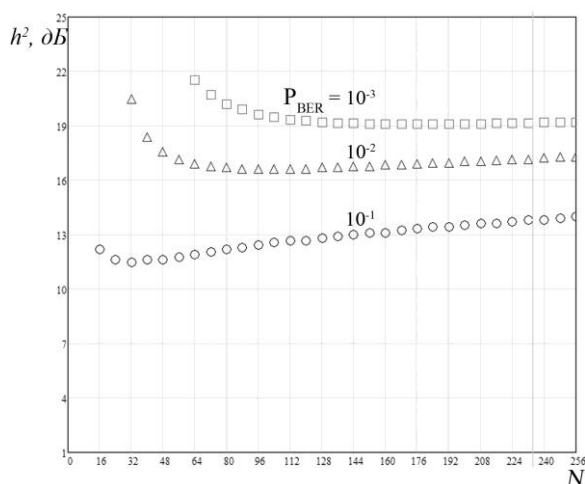


Рис. 4. Залежність h^2 від кількості відліків N при сталій ймовірності помилки P_{BER}

Висновки. Виконано аналіз впливу квадратичної складової, що виникає в демодуляторі, на завадостійкість бінарного цифрового модему.

Показано, що при врахуванні закону розподілу χ^2 квадратичної складової демодулятора досягається краща відповідність між аналітичними результатами та імітаційним моделюванням, ніж при використанні гаусової апроксимації ВВ.

Порівняння отриманої теоретичної оцінки завадостійкості (з розподілом χ^2) з результатами імітаційного моделювання модему показало наявність деякого відхилення, що спостерігається в зоні малих ($h^2 < 10$) та великих ($h^2 > 20$) значень відношення сигнал/шум, що потребує проведення подальших досліджень.

Список літератури

1. Wai Tam, Francis Lau, Chi Tse, Digital communication with chaos. N.Y.: Elsevier, 2006. 256 p.
2. Лега Ю. Г., Первунінський С. М., Гузнін С. С. Дослідження завадостійкості М-позиційного автокореляційного приймача шумових сигналів в каналі з адитивним білим гаусовим шумом. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіoeлектроніка та телекомунікації*. 2009. № 645. С. 167–176.
3. Первунінський С. М., Журавель П. Д. Завадостійкість бінарного автокореляційного приймача асиметричного шумового сигналу. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2012. № 1. С. 82–86.
4. Журавель П. Д., Первунінський С. М. Определение значений задержек сигнала в системах передачи данных с корреляционно-временной шумовой модуляцией. *Вестник СибГУТИ*. 2013. № 1. С. 21–28.
5. Первунінський С. М., Журавель П. Д. Завадостійкість бінарного автокореляційного приймача шумових ортогоналізованих сигналів з двома лініями затримки. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2012. № 2. С. 212–218.
6. Лега Ю. Г., Первунінський С. М., Дідковський Р. М. Централізована система зв'язку множинного доступу з фазовою маніпуляцією шумового сигналу. *Комп'ютерні технології друкарства*. Вип. 27. Львів: Укр. акад. друкарства, 2012. С. 139–151.
7. Первунінський С. М., Дідковський Р. М., Метелап В. В. Дослідження завадостійкості бінарного автокореляційного приймача шумових сигналів з фазовою маніпуляцією. *Наукові записки УНДІЗ*. 2008. № 1 (3). С. 56–63.
8. Первунінський С. М., Дідковський Р. М. Вплив помилки синхронізації на завадостійкість систем зв'язку з фазовою маніпуляцією шумового сигналу. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2011. Вип. 2 (36). С. 217–221.
9. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. Санкт-Петербург: Наука, 2001. 295 с.

10. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учебное пособие для вузов. Москва: Радио и связь, 1991. 608 с.

References

1. Wai Tam, Francis Lau and Chi Tse (2006) Digital communication with chaos. N.Y.: Elsevier, 256 p.
2. Lega, Yu. G. Pervuninsky, S. M. and Ghuznin, S. S. (2009) Investigation of the noise immunity of M-position auto-correlation receiver of noise signals in the channel with additive white Gaussian noise. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Radio Electronics and Telecommunication*, No. 645, pp. 167–176 [in Ukrainian].
3. Pervuninsky, S. M. and Zhuravel, P. D. (2012) The noise immunity of binary autocorrelation receiver of an asymmetric noise signal. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, No. 1, pp. 82–86 [in Ukrainian].
4. Zhuravel, P. D. and Pervuninsky, S. M. (2013) Determination of values of signal delays in systems of data transmitting with correlation-time noise modulation. *Vestnik SibGUTI*, No. 1, pp. 21–28 [in Russian].
5. Pervuninsky, S. M. and Zhuravel, P. D. (2012) Noise stability of binary autocorrelation receiver of noise orthogonalized signals with two delay lines. *Visnyk Hmel'nyts'kogo nacional'nogo universytetu*, No. 2, pp. 212–218 [in Ukrainian].
6. Lega, Yu. G., Pervuninsky, S. M. and Didkovsky, R. M. (2012) Centralized communication system of conjunctive access with phase manipulation of noise signal. *Kompyuterni tekhnolohiyi drukarstva*, (27). L'viv: Ukr. akad. drukarstva, pp. 139–151 [in Ukrainian].
7. Pervuninsky, S. M., Didkovsky, R. M. and Metelap, V. V. (2008) The research of noise stability of binary autocorrelation receiver of noise signals with phase manipulation. *Naukovi zapysky UNDIIZ*, No. 1 (3), pp. 56–63 [in Ukrainian].
8. Pervuninsky, S. M. and Didkovsky, R. M. (2011) The impact of synchronization error on noise stability of communication systems with phase manipulation of noise signal. *Praci Odeskogo politehnicznego universytetu*, No. 2 (36), pp. 217–221 [in Ukrainian].
9. Vadzynskyj, R. N. (2001) Handbook on probabilistic distributions. St. Petersburg: Nauka. 295 p. [in Russian].
10. Tykhonov, V. Y. and Kharysov, V. N. (1991) Statistical analysis and synthesis of radio-technical devices and systems: a manual for high schools. Moscow: Radio and communication, 608 p. [in Russian].

S. M. Pervuninsky, Dr.Tech.Sc., professor

e-mail: cherkpervun@rambler.ru

V. V. Oleksjuk, Ph.D., postgraduate student

e-mail: vadim.oleksuk@gmail.com

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ANALYSIS OF BINARY DIGITAL MODEM OF NOISE SIGNALS TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF DEMODULATOR QUADRATIC COMPONENT

The article presents the research results of the influence of quadratic component of digital demodulator on noise immunity of binary system of autocorrelation type with noise signals.

Key words: autocorrelation communication system, binary modem, noise signal, quadratic component, noise immunity.

К. В. Базіло, к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ІМПЕДАНСУ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ДИСКА З СЕКТОРНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

В наш час провідні виробники радіоелектронних компонентів випускають досить великий перелік елементів, до складу яких включені різні мікроелектромеханічні структури, наприклад, різні акселерометри, резонатори і реалізовані на їх основі фільтри електричних сигналів, трансформатори та інші мікромініатюрні електромеханічні системи.

П'єзоелектричні диски з секторним електродуванням поверхні є практично основним елементом багатьох мікроелектромеханічних систем.

Основною метою статті є дослідження електричного імпедансу дискових п'єзокерамічних трансформаторів з розрізними електродами.

Ключові слова: п'єзоелектричний трансформатор, фізичні процеси, електричний імпеданс, секторні електроди.

Вступ. В наш час провідні виробники радіоелектронних компонентів випускають досить великий перелік елементів, до складу яких включені різні мікроелектромеханічні структури (МЕМС), наприклад, різні акселерометри, резонатори і реалізовані на їх основі фільтри електричних сигналів, трансформатори та інші мікромініатюрні електромеханічні системи [1].

П'єзоелектричні диски з частковим електродуванням однієї або двох поверхонь досить часто використовуються для створення різних функціональних пристроїв п'єзоелектроніки [2]. Диски з секторним електродуванням поверхні є практично основним елементом багатьох мікроелектромеханічних систем [1].

Відмінною рисою між МЕМС і звичайними п'єзоелементами є спосіб електродування робочих поверхонь. У МЕМС, як правило, використовується часткове електродування робочих поверхонь, коли тільки частина поверхні поляризованого сегнетоелектрика покривається металевою плівкою. Цей спосіб електродування дозволяє порушувати в об'ємі МЕМС кілька типів пружних коливань [3].

В тонких п'єзоелектричних дисках з розрізними електродами виникають невісесиметричні пружні коливання. Теоретичні та експериментальні дослідження кінематичних характеристик невісесиметричних планарних коливань в п'єзоелектричних тонких дисках взагалі і в дисках з частковим електродуванням однієї або двох поверхонь зокрема почалися в другій половині ХХ ст. Результати цих робіт певною

мірою узагальнені в монографії [4]. Нині продовжують публікуватися роботи [5–7], в яких розглядаються різні аспекти теорії невісесиметричних планарних коливань в тонких п'єзоелектричних дисках.

Основною метою статті є дослідження електричного імпедансу дискових п'єзокерамічних трансформаторів з розрізними електродами.

1. Дослідження п'єзоелектричного диска з секторними електродами

Будемо вважати, що п'єзоелектричний диск не має механічних контактів з іншими матеріальними об'єктами, тобто утримується в просторі гнучкими і невагомими нитками. Це дозволяє говорити, що диск не відчуває реакції з боку навколишнього середовища, тобто фактично знаходиться у вакуумі.

Нижня поверхня диска $z = 0$ (z – координатна лінія циліндричної системи координат (ρ, φ, z)), сполучена з віссю x_3 право-гвинтової декартової системи координат (x_1, x_2, x_3) (рис. 1)) покрита тонким шаром металу і заземлена, тобто в будь-який момент часу її електричний потенціал дорівнює нулю. Верхня поверхня $z = \alpha$ диска покривається двома секторними електродами (позиції 1 і 2 на рис. 1). Секторні електроди 1 і 2 розділяє неелектродований зазор, ширина якого істотно менша товщини α п'єзокерамічного диска, причому $\alpha/R \ll 1$, де R – радіус диска. Половинний кут розкриття секторного електрода в первинному електричному колі

п'єзокерамічного трансформатора позначений символом ϑ_0 .

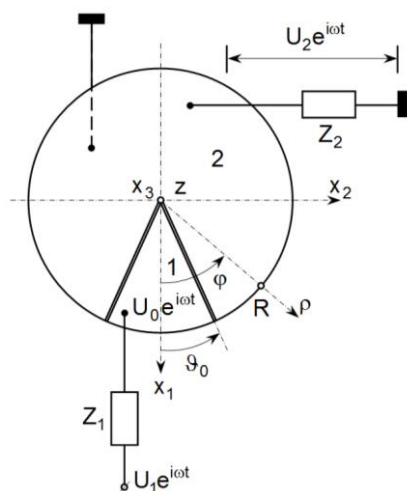


Рис. 1. Схема об'єкта

На секторний електрод 1 подається гармонійно змінна в часі різниця електричних потенціалів $U_0 e^{i\omega t}$ (U_0 – амплітуда різниці електричних потенціалів на електроді 1; $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця; ω – кругова частота зміни знаку електричного потенціалу; t – час). Символом Z_1 позначено комплексний вихідний опір джерела електричного сигналу; U_1 – амплітудне значення різниці потенціалів на виході джерела електричних сигналів; $Z_{\text{оп}}^{(1)}(\omega)$ – електричний імпеданс елемента п'єзокерамічного диска під секторним електродом 1. Електричний потенціал формує під електродом 1 змінне електричне поле, яке породжує в об'ємі п'єзокерамічного диска гармонійно змінні в часі пружні деформації. Внаслідок прямого п'єзоелектричного ефекту гармонійні коливання матеріальних частинок диска генерують на секторному електроді 2 поляризаційний заряд $q_2(t) = Q_2 e^{i\omega t}$, де Q_2 – амплітудне значення поляризаційного заряду. Поляризаційний заряд $q_2(t)$ своїм електричним полем переміщує вільні носії електрики (електрони) в провіднику електричного струму, який з'єднує електричне навантаження Z_2 з секторним електродом 2. При проходженні електричного струму через комплексний опір Z_2 на ньому виділяється різниця потенціалів $U_2 e^{i\omega t}$, де U_2 – амплітудне значення різниці потенціалів у вторинному електричному колі п'єзоелектричного трансформатора.

Оскільки джерело електричного потенціалу в первинному електричному колі трансформатора має відмінний від нуля комплексний вихідний опір Z_1 , то амплітудне значення U_0 електричного потенціалу на секторному електроді 1 відрізнятиметься (природно, в меншу сторону) від амплітудного значення U_1 .

В роботі [8] наведені розрахунки нульового наближення до точного значення частотного рівняння невісесиметричної, номера m , моди планарних коливань тонкого п'єзокерамічного диска $\Psi_0^{(m)}(\gamma, \lambda, R)$, причому $\gamma = \omega / \sqrt{c_{11}^* / \rho_0}$ – хвильове число радіальних коливань тонкого диска; $\lambda = \omega / \sqrt{(c_{11}^* - c_{12}^*) / (2\rho_0)}$ – хвильове число окружних планарних коливань матеріальних частинок тонкого п'єзокерамічного диска, де ρ_0 – густина п'єзокераміки; c_{11}^* – модуль пружності тонкого п'єзокерамічного диска для режиму планарних коливань; $c_{12}^* = c_{12}^E (1 - c_{12}^E / c_{33}^E)$; c_{12}^E і c_{33}^E – довідкові значення модулів пружності для поляризованої по товщині диска п'єзокераміки.

Числові значення коренів $\chi_n^{(m)} = \gamma_n^{(m)} R$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) рівняння $\Psi_0^{(m)}(\gamma_n, \lambda_n, R) = 0$ для окружних гармонік з номерами $m \geq 1$ в діапазоні значень безрозмірних хвильових чисел (частот) $\gamma R \leq 10$ для параметра пружних властивостей п'єзокераміки $k = c_{12}^* / c_{11}^* = 0,34$ для невісесиметричних планарних коливань круглого диска, які можуть у ньому виникати через секторне електродування, показані в табл. 1.

Слід звернути увагу на те, що перший корінь $\chi_1^{(1)}$ або, що те саме, частота першого електромеханічного резонансу для першої ($m = 1$) окружної моди, має менше значення порівняно з частотою першого електромеханічного резонансу вісесиметричних радіальних коливань. Зі зростанням номера m окружної моди числові значення безрозмірної частоти $\gamma_1^{(m)} R$ монотонно зростають, і тому загальне число коренів рівняння $\Psi_0^{(m)}(\gamma_n, \lambda_n, R) = 0$ в будь-якому фіксованому діапазоні числових значень безрозмірних хвильових чисел (частот) має фіксоване (обмежене) значення.

Таблиця 1

Числові значення коренів рівняння $\Psi_0^{(m)}(\gamma_n, \lambda_n, R) = 0$

$m \setminus \chi_n^{(m)}$	$\chi_1^{(m)}$	$\chi_2^{(m)}$	$\chi_3^{(m)}$	$\chi_4^{(m)}$	$\chi_5^{(m)}$	$\chi_6^{(m)}$
1	1,085045	2,464587	3,674256	7,571771	8,735141	9,413737
2	2,057536	3,134450	4,846928	6,378587	6,729860	-
3	2,966933	3,690970	6,101373	6,889025	8,130622	-
4	3,819653	4,700591	9,486512	-	-	-
5	4,618638	5,552675	-	-	-	-
6	5,374142	6,435415	-	-	-	-
7	6,098880	7,336232	-	-	-	-
8	6,802725	8,245702	-	-	-	-
9	7,492040	9,157764	-	-	-	-
10	8,170770	-	-	-	-	-
11	8,841415	-	-	-	-	-
12	9,505634	-	-	-	-	-

Примітка: прочерк у комірниці означає, що числове значення кореня більше 10.

В роботі [9] розглянуто методику експериментального визначення електричного імпедансу п'єзокерамічного диска. Схема для проведення експериментальних досліджень наведена на рис. 2.

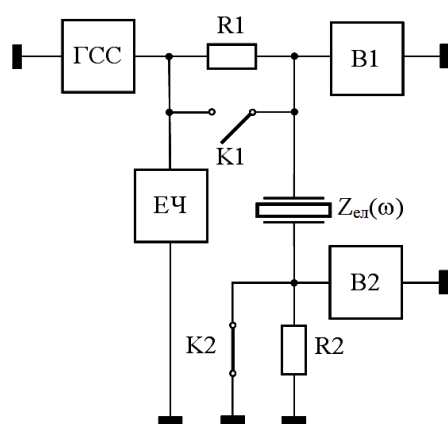


Рис. 2. Електрична схема для вимірювання електричного імпедансу п'єзокерамічного диска

Для виконання експериментальних досліджень використовувалися масивні диски. При цьому мінімізуються ефекти, пов'язані з приєднаною масою, яка виникає в процесі пайки провідників до електродованих поверхонь диска.

При вимірюванні електричного імпедансу $Z_{\text{ае}}(\omega)$ диск підвішувався в повітрі на тонких нитках для того, щоб уникнути механічного контакту з іншими об'єктами.

На схемі (рис. 2) аббревіатурою ГСС позначений генератор синусоїдальних сигналів, ЕЧ – електронний частотомір, B1 і B2 – електронні вольтметри, K1 і K2 – ключі, що механічно замикаються й розмикаються, R1 і R2 – навантажувальні резистори. Символом $Z_{\text{ае}}(\omega)$ на рис. 2 позначений досліджуваний зразок. Показане на схемі положення ключів K1 і K2 відповідає режиму вимірювання електричного імпедансу в околиці частоти електромеханічного резонансу. Навантажувальні резистори R1 і R2 підбираються таким чином, щоб вольтметри B1 і B2 працювали в діапазоні своєї максимальної чутливості, тобто на шкалах $(1 \div 10)$ мВ. Величини резисторів R1 і R2 повинні бути визначені з точністю до одного Ома.

Для експериментальних досліджень був використаний дисковий п'єзоелектричний елемент $\varnothing 66 \times 3$ мм з матеріалу типу ЦТС.

Результати вимірювання електричного імпедансу п'єзоелектричного диска при різних значеннях кута розкриття секторного електрода в первинному електричному колі представлені на рис. 3.

З експерименту випливає, що в міру зменшення кута розкриття сектора у формуванні напружено-деформованого стану диска починають приймати все більше число невісесиметричних мод, і число резонансів після першого вісесиметричного радіального резонансу зростає.

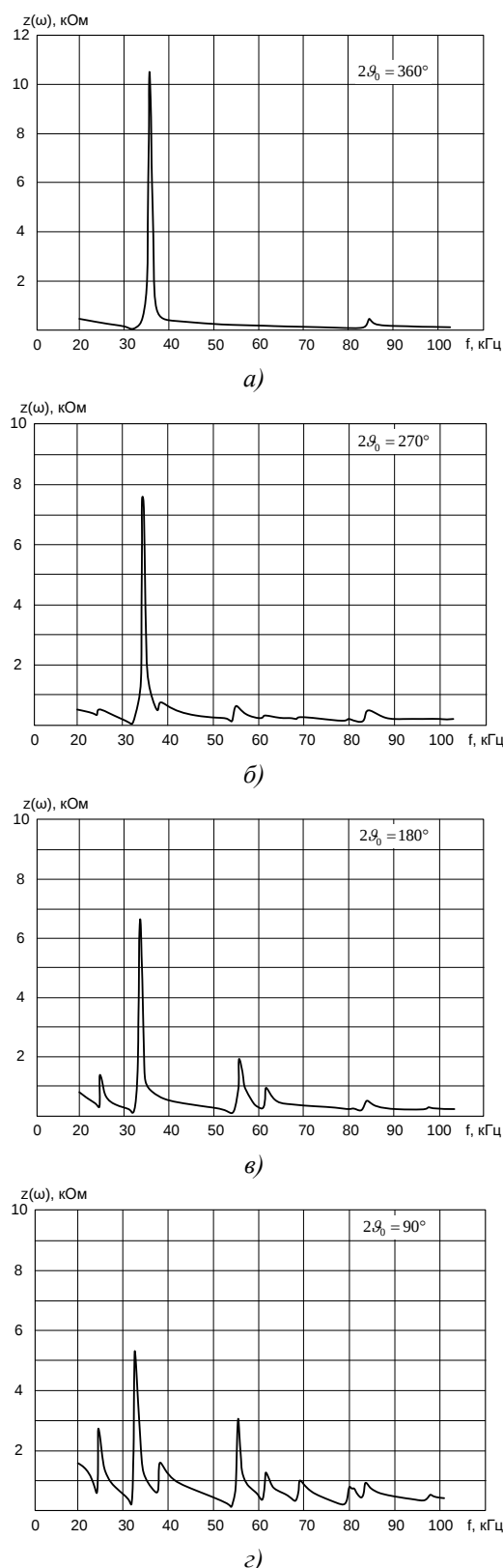


Рис. 3. Електричний імпеданс п'єзоелектричного диска при різних значеннях кута розкриття секторного електрода в первинному електричному колі: а) $2\theta_0 = 360^\circ$; б) $2\theta_0 = 270^\circ$; в) $2\theta_0 = 180^\circ$; г) $2\theta_0 = 90^\circ$

Висновки. Основний результат цієї статті можна зафіксувати наступним чином:

- частота першого електромеханічного резонансу для першої окружної моди має менше значення порівняно з частотою першого електромеханічного резонансу вісесиметричних радіальних коливань;
- в міру зменшення кута розкриття сектора у формуванні напружено-деформованого стану диска починають приймати все більше число невісесиметричних мод, і число резонансів після першого вісесиметричного радіального резонансу зростає.

Список літератури

1. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение. Москва: Техносфера, 2004. 528 с.
2. Джагулов Р. Г., Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления. СПб.: Политехника, 1994. 608 с.
3. Petrishchev O. N., Bazilo C. V. et al. (2014). Principles of calculation of piezoelectric elements with surfaces partial covering by electrodes. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* № 3. С. 47–55.
4. Шульга М. О., Карлаш В. Л. Резонансні електромеханічні коливання п'єзоелектричних пластин. Київ: Наук. думка, 2008. 272 с.
5. Naciri I., Elmaimouni L., Lefebvre J.-E., Rguiti M., Ratolojanahary F. E., Gryba T. Modeling of MEMS resonator piezo-electric disc partially covered with electrodes. *American Journal of Mechanics and Applications.* 2016. Vol. 4, No. 1. P. 1–9.
6. Staworko M., Uhl T. (2008). Modeling and simulation of piezoelectric elements – comparison of available methods. *Mechanics,* Vol. 27, No. 4. P. 161–171.
7. Leinonen M., Palosaari J., Juuti J., Jantunen H. (2014). Combined electrical and electromechanical simulations of a piezoelectric Cymbal harvester for energy harvesting from walking. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures.* 2014. 25 (4). P. 391–400.
8. Петрищев О. Н., Базило К. В. Расчет коэффициента трансформации пьезокерамического трансформатора с секторными электродами. *Вісник Черкаського державного*

технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2017. № 4. С. 63–69.

9. Петрищев О. Н., Базило К. В. Методика определения физико-механических параметров пьезоэлектрической керамики. *Журнал нано- та електронної фізики*. Суми, 2017. Т. 9. № 3.

References

1. Varadan, V., Vinoy, K. and Jose, K. (2004) RF MEMS and their applications. Moscow: Texnosfera, 528 p. [in Russian].
2. Dzhagupov, R. G. and Erofeev, A. A. (1994) Piezoelectronic device of computing, control and monitoring systems. St. Petersburg: Politehnika, 608 p. [in Russian]
3. Petrishchev, O. N., Bazilo, C. V. et al. (2014) Principles of calculation of piezoelectric elements with surfaces partial covering by electrodes. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 47–55.
4. Shulga, M. O., Karlash, V. L. (2008) Resonant electromechanical oscillations of piezoelectric plates. Kyiv: Nauk.dumka, 272 p. [in Ukrainian].
5. Naciri, I., Elmaimouni, L., Lefebvre, J.-E., Rguiti, M., Ratolojanahary, F. E. and Gryba, T. (2016) Modeling of MEMS resonator piezoelectric disc partially covered with electrodes. *American Journal of Mechanics and Applications*, Vol. 4, No. 1, pp. 1–9.
6. Staworko, M. and Uhl, T. (2008) Modeling and simulation of piezoelectric elements – comparison of available methods. *Mechanics*, Vol. 27, No. 4, pp. 161–171.
7. Leinonen, M., Palosaari, J., Juuti, J. and Jantunen, H. (2014) Combined electrical and electromechanical simulations of a piezoelectric Cymbal harvester for energy harvesting from walking. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 25 (4), pp. 391–400.
8. Petrishchev, O. N. and Bazilo, C. V. (2017) Calculation of transformation coefficient of piezoceramic transformer with sector electrodes. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 63–69 [in Russian].
9. Petrishchev, O. N. and Bazilo, C. V. (2017). Methodology of determination of physical and mechanical parameters of piezoelectric ceramics. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, Vol. 9, No. 3 [in Russian].

C. V. Bazilo, Ph.D. (Eng.), associate professor
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

RESEARCH OF ELECTRICAL IMPEDANCE OF PIEZOELECTRIC DISK WITH SECTOR ELECTRODES

Currently leading manufacturers of electronic components serially produce a rather extensive list of elements, in which various microelectromechanical structures, such as various accelerometers, resonators and electrical signals filters implemented on their basis, transformers and other microminiature electromechanical systems, are included.

Piezoelectric disks with partial covering by electrodes of one or two surfaces are often used to create various functional piezoelectronic devices. Disks with sector covering by electrodes are almost the main element of many microelectromechanical systems.

The purpose of this article is to research electrical impedance of disk piezoceramic transformers with sector electrodes.

Key words: piezoelectric transformer, physical processes, electrical impedance, sector electrodes.

V. I. Kunchenko-Kharchenko, D.Sc., professor

e-mail: itib@chdtu.edu.ua

O. M. Panasko, Ph.D., associate professor

e-mail: lena.pa@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

INFORMATION SECURITY IN UKRAINE. CONTEXT OF NORMATIVE LEGAL SUPPLY

In view of the rapid information technologies development, intensive implementation of information and telecommunication systems in various spheres of state's activity, modern world trends in information society, there is a need to consider the concept and content of information security. Due to the fact that today a number of main threats to the state's information security are realized in cybernetic space, special attention should be paid to the notion of cybernetic security as an independent component of Ukraine's national security in relation to the sphere of information security and its legal security. In the article an analysis of the current state for regulatory of information security is made from the point of view of an integrated approach, such as general requirements to information security, requirements to the security of information infrastructure and security requirements of information technologies.

Key words: *information security, national security, information resources, legal regulation in the field of information security, threats to information security, national security strategy, cybernetic security, information and telecommunication systems.*

Introduction. The current stage of society development is characterized by the growing role of the information sphere, which is a set of information, information infrastructure, entities that are engaged in the formation, dissemination and use of information, and the system for regulation of social relations that arise in this. Information sphere is a system-forming factor for the society existence, which has a powerful influence on the various components of state security, including political, economic, defense and others. Modern information technologies provide new possibilities for processing, transmission and storage of information and increase the level of information resources access for users. Today there is an intensification of the processes for informatization of state agencies, in the banking sector, the growth of powerful commercial structures, their integration at the international level, the aggravation of the criminal situation and a number of other factors, which causes a rapid increase in information security interest.

Problem statement and literature analysis. Information security plays an important role

in creating a well-developed and protected informational environment, it is a determining factor in the interests of any state, is an indispensable condition for the development of society and the state. The presence of a developed information infrastructure, the powerful introduction of modern information technologies and systems, brings to the new level the processes of management at different levels, in particular state level, level of institutions, enterprises and organizations, levels of information and telecommunication systems.

The context of information security is of great importance, due to the growing importance and social significance of information, increasing its impact on all spheres of public life, increasing the amount of information accumulated in databases of different purposes, the complication of technical means, the development of technologies and other factors. The analysis of the sources proves that domestic and foreign researchers pay great attention of the information security issues. In this area it should be noted the works of O. Sosnin, V. Lipkan, B. Kormich, V. Grubov,

V. Domarev, I. Binko, V. Muntiyani, G. Pocheptsov, A. Lytvynenko, V. Buryachok, V. Butuzov, V. Tolubko, O. Dovhan, V. Khoroshko, S. Tolyupa and others. Among recent studies on information security it is reasonable to name the works of V. Bogdanov, V. Gorbunin, S. Gusarev, G. Ivaschenko, V. Kartashov, M. Levyts'ka, V. Lopatin and others.

The purpose of the article is to carry out a review of legal and regulatory provision in the information security sphere from the state level to the level of information and telecommunication systems, and to segregate the concept of "cybernetic security" in the context of information security and review its legal regulation.

The main part of the study. The concept of information security is connected with scientific research, practical human activities, the formation of regulatory and legal support. With information security related such concepts as the information environment of the society, interests in the information sphere, objects and subjects of information security, threats, principles of information security, types of information security and others (fig. 1). It should be noted that today in the scientific literature, among the specialists working in this area, there is no single approach to the concept of "information security". According to researchers, it can be interpreted as a state, process or activity, on the other side – as a property, ability, function.

In order to cover a variety of views on the definition of information security, it is advisable to classify them according to the content of approaches to this concept. As a result, some of them are listed below.

In a broad sense, information security is the state of the information environment security of society, which ensures its formation, use and development in the interests of citizens, organizations and the state.

By focusing on the processes of preservation, processing and information transmission, the notion of information security will become more restrictive, which will accordingly affect the definition of the term as the state of information security and its infrastructure against accidental or deliberate acts of a natural or artificial nature that can cause unacceptable damage to the subjects of information relations, in particular, owners and users of information and infrastructure.

In terms of the main information properties as a security object, the "model CIA" is often used, which includes three defining properties: confidentiality, integrity and availability. Then information security is the preservation of the confidentiality, integrity and availability of information. Other specified properties may also be taken into account, such as authenticity, traceability, integrity and reliability.

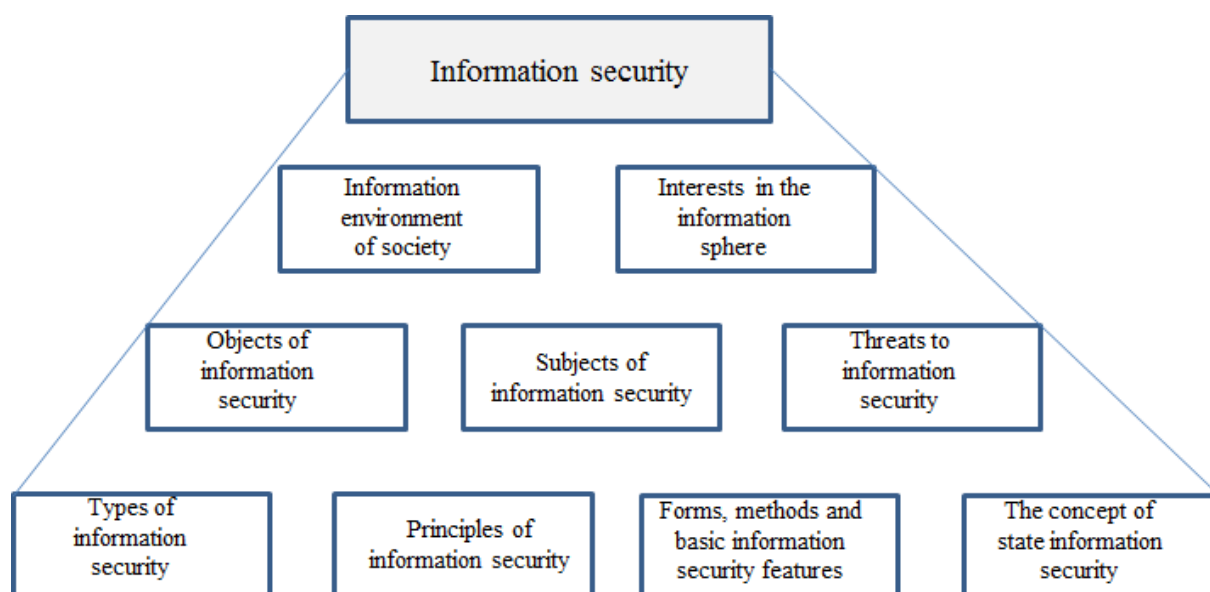


Fig. 1. Basic concepts related to information security

In the context of information law, the term "information security" is one of the aspects of the consideration for information relations in the information legislation sphere in terms of protecting the vital interests of the individual, society, state and focusing on the threats to the realization of relevant interests, and mechanisms for preventing or eliminating such threats through legal methods.

The concept of information security is closely linked to the protection of information sovereignty of the state, therefore, information security can be considered as the protection of internal information – the security of the information quality, its reliability, the security of various branches of information from divulgence, and the security of information resources.

Information security can be considered as a set of actions related to ensuring the right to information protection, the right to ownership of information, the right to protection against information and informational influences, and the right to information and freedom of information activity. In this regard, according to some researchers in the information security sphere, it is represented by three structural components:

- information and technical safety (information protection with restricted access in accordance with the legislation);
- information and psychological security (protection against informational influences that are negative);
- information security in the field of human and civil rights and freedoms (realization of the citizens right to information access, observance of the basic principles of information relations, in particular, the guarantee of the information right, openness, accessibility, reliability and completeness of information) [10].

The concept of information security is appropriate for its levels, in particular personality, society, state [9]. At the state level, the activities of state agencies in the aspect of information and analytical support, information provision of the interstate level in internal and foreign policy, the system of protection for information with restricted access etc. are presented. The society's level of information security correlates with the quality of the information and analytical space, the wide possibilities of obtaining information, the presence of independent powerful media. Information security of a person's level is characterized by the formation of rational, critical thinking, driven by the principles of choice freedom [1].

The analysis of the current normative base shows the inclusion of information security of Ukraine in the Ukrainian Constitution, in particular, in Article 17: "Protection of the sovereignty and territorial integrity of Ukraine, ensuring its economic and information security are the most important state's functions, the affair of the entire Ukrainian people", and in the complex normative legal acts of the Verkhovna Rada, the President of Ukraine, the Cabinet of Ministers, central executive agencies [2].

The Law of Ukraine "On the Concept of the National Program of Informatization" states that "information security is an integral part of the political, economic, defense and other components of national security", the objects of which are information resources, channels of information exchange and telecommunications, mechanisms ensuring the functioning of telecommunication systems and networks and other elements of the country's information infrastructure [5].

According to the Law of Ukraine "On the Fundamentals of National Security of Ukraine" as the main vector for ensuring the security of our state, information security is one of the public administration areas among such as: law enforcement, fighting corruption, border activities and defense, migration policy, education and science, scientific, technical and innovation policy, cultural development of the population and information security when a real or potential threats for national interests will appear [4]. Consequently, according to this law information security is a component of national security.

In the works of many scholars and researchers, information security is presented as an integral component and an independent direction of national security, in particular, B. A. Kormich characterizes information security as an information component of national security in the proportion of "part-whole" [10].

To date, a number of Ukrainian laws and other normative documents for different levels have been formed, which in general cover the problems of ensuring the state's information security, in particular, the laws of Ukraine ("On Information", "On Fundamentals of National Security", "On the State Service for Special Communications and Protection Information of Ukraine", "On State Secrets", "On Protection of Information in Information and Telecommunication Systems", etc.), legal acts of the President

and the Cabinet of Ministers of Ukraine ("National Security Strategy", "Concept of information technical security in Ukraine"), international and state standards in terms of providing information security, normative documents of the information technical protection system, international agreements, the consent to which are allowed by the Verkhovna Rada of Ukraine, and substatutory legal acts issued for their implementation.

It should be noted that the Verkhovna Rada of Ukraine has not yet elaborated and not adopted some of the basic legal acts of this sphere, first of all, a law that would define the Concept of information security as a systematized set of data about the information state security and the ways of its provision, which provided the possibility to carry out system classification of destabilizing factors and information threats to the security of the individual, society and the state, the formation of the basic provisions of information state security ensuring and the development of proposals on ways and forms of information security ensuring.

According to information security which is characterized as an information component of national security and national security what is defined as state of safety from internal and external threats that ensures the existence of a person, society and state, which are guaranteed by the Constitution and Ukrainian laws, information security should be perceived as safety's state from external and internal threats in the information circulation sphere. Many researchers consider information security as a way that is opposed to internal and external threats.

In accordance with the Strategy of National Security of Ukraine [3], the main threats to information security were identified, in particular, information warfare against Ukraine, lack of integral communicative state policy, insufficient level of media culture of society, threats to cybersecurity and to information resources security caused by vulnerability of the critical infrastructure objects and state information resources to cyberattacks, physical and moral obsolescence of state secrets protection and other types of information with the limited access; threats to the critical infrastructure security, caused by wear and tear of infrastructure assets and insufficient level of their physical protection, insufficient level of critical infrastructure protection from

terrorist attacks and sabotage, and ineffective management of the critical infrastructure security.

Today there are new challenges the main threats to the state's information security, in particular, attacks on the state's information resources, the emergence of the conducting cyberwar concept, the creation of special structures in the armed forces of a number of world countries designed to conduction such a struggle, manipulation of public consciousness through the spread of inaccurate, incomplete or biased information, the appearance of threats to critical infrastructure objects of the state and society are unfolding in the cybernetic space. The new edition of National Security Strategy of Ukraine (№287 / 2015) [3], approved by the Decree of the President of Ukraine (May 26, 2005) for the first time distinguishes cybernetic security as an independent component of Ukrainian national security in relation to the information security sphere (Fig. 2). The penetration of information and telecommunication technologies in all spheres of public life causes the close connection of cybersecurity with other areas of national security, in particular, military, defense, economic, scientific and technical, ecological, etc. [8].

The main task of the state, economy and society both at the state and international levels is the issue of the cybernetic space defense. Much attention is paid to the legal regulation of cybernetic security issues. The main objective of the regulatory framework in the cybersecurity sphere is to create conditions and ensure the safe cyberspace functioning for the implementation of communications and social relations based on the unified communication systems, and the provision of electronic communications using the Internet and other global data transmission networks. In this direction the Strategy of Cybersecurity of Ukraine, the Law of Ukraine "On the Basic Principles of Cybersecurity of Ukraine" was developed [7].

The main subjects of the national cyber security system are the State Service for Special Communications and Information defense of Ukraine, the Security Service of Ukraine, the Ministry of Defense and the General Staff of the Armed Forces of Ukraine, intelligence agencies, the National Bank of Ukraine, which carry out functions and tasks assigned to them in accordance with the Constitution and laws of Ukraine.

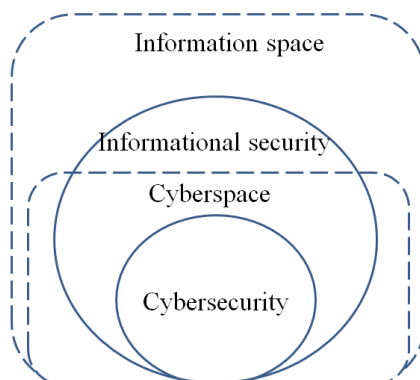


Fig. 2. Interconnection of information security and cybersecurity

The strategy defined priorities for providing cyber security and information resources, such as the development of state information infrastructure; creation of a cybersecurity system, development of the Computer Emergency Response Network (CERT); monitoring of cyberspace in order to detect, prevent and eliminate cyber threats in a timely manner; development of law-enforcement agencies' capacity to investigate cybercrime; security of critical infrastructure objects, state information resources from cyberattacks, refusal of software, in particular antivirus, developed in the Russian Federation; reforming the system of state secrets protection and other restricted information, state information resources defense, e-government systems, technical and cryptographic information security, creation of a cybersecurity training system for the security and defense sector; development of international cooperation in the cyber security sphere.

Information security is a problem of high complexity, which requires an integrated approach at different levels: state, institution or organization, level of information and telecommunication systems (ITS). At present, a significant amount of information resources focused on modern ITS are determined by commercial value, and that's why there is a tendency to increase the number of attacks and unauthorized access to information systems in order to capture the necessary information assets. The issue of information security in modern information and telecommunication systems and networks deserves due attention in the general aspect of information security. The basic regulatory documents for the design of protected information and telecommunication systems are the Law of Ukraine "On Information Security in ITS" [12] and a

number of normative documents on technical protection of information. The standards of information security (international standards of ISO, domestic DSTU) have been developed to define requirements for quality indicators, control methods and evaluation of the information and telecommunication systems effectiveness. These normative documents define the bases and provisions of information security organization at all stages of the information and telecommunication systems life cycle. The using of information security standards for some organizations and institutions has a recommended character, while for others, in particular, for banking structures is mandatory.

At the level of institutions (organizations) management of information security is inextricably linked with the process approach. The International Standard ISO/IEC 27001 is based on the PDCA-model (Plan-Do-Check-Act), which structures and coordinates all processes of the Information Security Management System (ISMS). The sphere of ISMS includes the general organization, data classification, access systems, planning directions, employee responsibility, and the risk assessment using.

The list of standards in the ISO/IEC 27000 series includes about two dozen titles. These include, in particular, ISO/IEC 27000: 2005 (Definitions and Basic Principles), ISO/IEC 27001: 2005 (Information Security Management Systems), ISO/IEC 27002: 2005 (Practical Rules for Information Security Management), ISO/IEC 27003: 2010 (Information Security Management Implementation Guide), ISO/IEC 27005: 2011 (Information Security Risk Management), ISO/IEC 27035: 2011 (Information Security Incident Management) and others. The introduction of standards for infor-

mation security management will reduce the estimated costs of developing, implementing and maintaining an information security system, managing risks, optimally identifying the most influential risks, minimizing their implementation, developing an appropriate and effective information security policy that will have a positive impact on the information security of institutions (organizations).

In general, it should be noted that the information security requirements are expedient at all levels of legislation, in particular, constitutional legislation, basic general laws, special laws, laws on the organization of the state system governance, departmental legal acts etc. The implementation of information security is carried out on the integrated approach basis and implemented at the state level, institutions and organizations and information and telecommunication systems, in compliance with the general requirements for information security, requirements for information infrastructure security and requirements for security of information technologies means.

Conclusions and prospects of research.

The article defines the concept and content of information security, analyzes the status of regulatory and information security regulation as an integral part of Ukraine's national security, defines the legal regulation of the legal framework in the information security sphere, identifies the concept of "cybernetic security" and analyzes its legal basis. Particular attention is paid to the legal and regulatory framework for ensuring the information security of modern information and telecommunication systems.

References

1. Information security of Ukraine. URL: uk.wikipedia.org/wiki/information_bid_Ukraine
2. The Constitution of Ukraine (1996). URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/254k/96-vr>. Title from the screen.
3. Decree of the President of Ukraine "On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated May 6, 2015 "On the Strategy of National Security of Ukraine" dated May 26, 2015, No. 287/2015. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/287/2015>
4. On the Fundamentals of National Security of Ukraine: Law of Ukraine dated June 19,

2003. URL: <http://uadocs.exdat.com/docs/index-208817.html>

5. About the Concept of the National Program of Informatization: Law of Ukraine dated 04.02.1998 No. 75.98-BP (1998). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, No. 27–28, art. 182 [in Ukrainian].
6. About information: Law of Ukraine. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2657-12>.
7. About the basic principles of providing cybersecurity in Ukraine: Law of Ukraine dated 05.10.2017 No. 2163-VIII (2017). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, No. 45, art. 440 [in Ukrainian].
8. Buryachok, V. L., Tolubko, V. B., Khoroshko, V. O., Tolyupa, S. V. (2015) Information and cybersecurity: socio-technical aspect: textbook / ed. by Dr.Tech.Sc., professor V. B. Tolubko. Kyiv: DUT, 288 p. [in Ukrainian].
9. Bohush, V., Yudin, O. (2005) Information security of the state. Kyiv: MK-Press [in Ukrainian].
10. Oliynyk, O. V. (2012) Regulatory provision of information security in Ukraine. *Law and Society*, No. 3, p. 132 [in Ukrainian].
11. Kovtun, S. V. (2009) Information security: textbook. Kharkiv. KhNEU, 368 p. [in Ukrainian].
12. On the information protection in information and telecommunication systems: Law of Ukraine dated 04.19.2014. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/80/94-vr>

Список літератури

1. Інформаційна безпека України. URL: uk.wikipedia.org/wiki/інформаційна_безпека_України
2. Конституція України, 1996. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/254k/96-vr>. Назва з екрану.
3. Указ Президента України «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року «Про Стратегію національної безпеки України» від 26 травня 2015 року № 287/2015. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/287/2015>
4. Про основи національної безпеки України: Закон України від 19.06.2003 р. URL:

- <http://uadocs.exdat.com/docs/index-208817.html>.
5. Про Концепцію Національної програми інформатизації: Закон України від 04.02.1998 р. № 75.98-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 27–28. Ст. 182.
 6. Про інформацію: Закон України. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2657-12>
 7. Про основні засади забезпечення кібербезпеки в Україні: Закон України від 05.10.2017 № 2163-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 45. Ст. 403.
 8. Бурячок В. Л., Толубко В. Б., Хорошко В. О., Толюпа С. В. Інформаційна та кібербезпека: соціотехнічний аспект: підручник / за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. В. Б. Толубка. Київ: ДУТ, 2015. 288 с.
 9. Богуш В., Юдін О. Інформаційна безпека держави. Київ: МК-Прес, 2005.
 10. Олійник О. В. Нормативно-правове забезпечення інформаційної безпеки в Україні. *Право і суспільство*. 2012 № 3. С. 132.
 11. Ковтун С. В. Інформаційна безпека: підручник. Харків: Вид-во ХНЕУ, 2009. 368 с.
 12. Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах: Закон України від 19.04.2014 р. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/80/94-вр>

В. І. Кунченко-Харченко, д.т.н., професор

e-mail: itib@chdtu.edu.ua

О. М. Панаско, к.т.н., доцент

e-mail: lana.pa@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА В УКРАЇНІ. КОНТЕКСТ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Зважаючи на бурхливий розвиток інформаційних технологій, інтенсивне впровадження інформаційно-телекомунікаційних систем у різноманітні сфери діяльності держави, сучасні світові тенденції щодо інформатизації суспільства, з'являється необхідність у розгляді поняття та змісту інформаційної безпеки. У зв'язку з тим, що на сьогоднішній день ряд основних загроз інформаційній безпеці держави реалізуються у кібернетичному просторі, окрему увагу слід приділяти поняттю кібернетичної безпеки як самостійної складової національної безпеки України по відношенню до сфери інформаційної безпеки, а також його правовому забезпеченню. В статті проведено аналіз сучасного стану нормативно-правового забезпечення інформаційної безпеки з точки зору комплексного підходу, а саме: загальних вимог до інформаційної безпеки, вимог до безпеки інформаційної інфраструктури та вимог до безпеки засобів інформаційних технологій.

Ключові слова: інформаційна безпека, національна безпека, інформаційні ресурси, нормативно-правове регулювання у сфері інформаційної безпеки, загрози інформаційній безпеці, стратегія національної безпеки, кібернетична безпека, інформаційно-телекомунікаційні системи.

Т. О. Прокопенко, д.т.н., доцент,
e-mail: t.prokopenko@chdtu.edu.ua

В. І. Крезуб, аспірант

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

Пропонується застосування мультиагентного підходу до моделювання інформаційних потоків у системах управління проектно-орієнтованими підприємствами, що забезпечить підтримку та прийняття ефективних управлінських рішень. Представлена мультиагентна модель визначає рух інформаційних потоків при міжагентних взаємодіях системи з середовищем, зовнішню динаміку мультиагентної системи, а також рух інформаційних потоків всередині агента, тобто внутрішню динаміку системи. Ефективне управління проектно-орієнтованим підприємством, зокрема в галузі хімічної промисловості, залежить від організації та формування інформаційних потоків, у тому числі представлення інформації в зручній для керівництва формі. Розглянута технологія моделювання дає можливість виявляти аномалії в роботі агентів та мультиагентної системи. Зроблено висновки про можливість застосування цієї моделі при розробці систем підтримки прийняття рішень в управлінні проектно-орієнтованими підприємствами.

Ключові слова: мультиагентний підхід, інформаційні потоки, проектно-орієнтоване підприємство, прийняття рішень.

Вступ. Особливістю діяльності сучасних підприємств, корпорацій у різних галузях промисловості є забезпечення гнучкості, мобільності, універсальності при забезпеченні високої продуктивності виробництва, швидкості й адекватності прийняття стратегічних та оперативних рішень, що відповідали б стратегіям зовнішнього оточення та внутрішньої динаміки [1]. Проектно-орієнтоване підприємство, зокрема в галузі хімічної промисловості, характеризується як складний організаційно-технологічний комплекс, ефективність якого визначається як організаційною, так і технологічною складовою, а також залежністю від енергоресурсів та сезонністю збуту продукції. Тому питанню забезпечення інформаційних потреб керівників приділяється особливо гостра увага.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В управлінні проектно-орієнтованими підприємствами актуальним є об'єднання всіх функцій управління та створення гнучких систем з елементами штучного інтелекту, які дозволяють оперативно здійснювати оцінювання ефективності підприємства, планування і управління виробництвом, планування та управління матеріальними потоками, логістичний аналіз, розрахунок та аналіз собівартості

продукції; а також планувати стратегічну діяльність в умовах невизначеності та ризиків.

Методи штучного інтелекту на сьогоднішній день все більше знаходять своє застосування для прийняття управлінських рішень, особливо в умовах, коли неможливо отримати достатньо точну та релевантну інформацію, застосувати структуроване математичне моделювання та формалізовані методи. Проблеми розширення класу об'єктів автоматизації шляхом включення до них організаційних та організаційно-технічних систем і застосування інтелектуальних методів вирішення задач управління розглянуто в наукових працях О. А. Большакова [2]. Теорія мультиагентних систем розглянута в роботах М. П. Амосова, М. М. Бонгарда, П. Норвіга [3], М. Вулдріджа [4], які пропонують різні напрями мультиагентних систем, зокрема розподілений штучний інтелект, децентралізований штучний інтелект. В. В. Борисов в роботі [5] використовує мультиагентний підхід при моделюванні організаційно-технічних систем в умовах протиріччя. В роботі [6] С. Л. Юдіцкого розглянуто питання стратегічного управління складними організаційними системами з застосуванням мультиагентного підходу. В роботі [7] авторами досліджено прийняття

управлінських рішень в організаційно-технічних системах на основі нечітких множин та нечіткої логіки. В роботі [8] описуються моделі прийняття рішень в управлінні організаційними системами на основі математичної теорії, теорії ігор, теорії активних систем.

Однак для проектно-орієнтованих підприємств у процесі прийняття управлінських рішень важливим є врахування факторів швидкої зміни обставин, коли необхідно охопити великий обсяг інформації, що надходить, порівняти її з інформацією, яка вже є, врахувати досвід минулого, розібратися в різних ситуаціях, втрутитися в хід реалізації управлінського рішення, тобто важливого значення набуває фактор реального часу.

Метою статті є обґрунтування та дослідження моделювання інформаційних потоків у системах управління проектно-орієнтованими підприємствами, зокрема в галузі хімічної промисловості, що забезпечить можливість визначення подальших перспектив та прийняття відповідних управлінських рішень.

Викладення основного матеріалу дослідження. Ефективне управління підприємством, зокрема в галузі хімічної промисловості, залежить від організації та формування інформаційних потоків, у тому числі представлення інформації в зручній для керівництва формі. Одержання інформації для прийняття рішень в управлінні виробництвом вимагає переробки значних обсягів даних різного типу та характеру. Тому ефективність функціонування проектно-орієнтованого підприємства у сучасних умовах залежить від раціональних методів і технологічних процесів обробки даних більше, ніж від технології самого виробництва. Організаційно-технологічні процеси діяльності проектно-орієнтованого підприємства характеризуються і контролюються сотнями параметрів та показників, що впливають на ефективність управлінського рішення. В зв'язку з цим моделювання інформаційних потоків на основі застосування мультиагентного підходу, що поєднує досягнення системного аналізу і програмування та штучного інтелекту [9], забезпечує прийняття ефективних рішень та прогнозування результатів на певний інтервал часу. Така модель є досить гнучкою і дасть можливість прийняти рішення з урахуванням фактора часу, оцінювати результати дій та використовувати різні варіанти сценаріїв рішень для досягнення різних

цілей, що забезпечить підвищення ефективності проектно-орієнтованого підприємства.

В процесі моделювання інформаційних потоків у мультиагентній системі управління проектно-орієнтованим підприємством через канали міжагентної взаємодії передаються потоки даних, що забезпечують фізичне переміщення інформації, яка дає можливість здійснити будь-який процес, реалізувати будь-яке рішення. Передача інформаційних потоків здійснюється дискретно, тобто порціями, і являє собою елементи потоку. Одержання інформації для прийняття рішень у мультиагентній системі вимагає переробки значних обсягів даних, тому функцією каналу міжагентної взаємодії є переміщення елементів потоку (за принципом черги) та одночасне їх накопичення.

Інформаційні потоки забезпечують оптимальне функціонування мультиагентної системи. Рух елементів потоку при міжагентних взаємодіях системи з середовищем визначає зовнішню динаміку мультиагентної системи, а рух елементів потоку всередині агента – її внутрішню динаміку.

Нехай задано множину потоків $Y = \{y_i, i = 1, \dots, n\}$, що виражається цілочисельними невід'ємними змінними, значення яких відповідають кількості потоків, множина переходів – зміні станів потоків $Q = \{q_j, j = 1, \dots, d\}$.

Елементарну подію (ЕП) опишемо виразом

$$P_j = y_1^-, \dots, y_n^- \xrightarrow{q_j} y_1^+, \dots, y_n^+, \quad (1)$$

де $y_1^-, \dots, y_n^-$ – вхідні потоки, $y_1^+, \dots, y_n^+$ – вихідні потоки, де перетин множин вхідних та вихідних потоків не є порожнім. При цьому при виконанні переходу q_j можливе вилучення певної кількості потоків з вхідних потоків та їх внесення до вихідних потоків.

Враховуючи той факт, що проектно-орієнтоване підприємство розглядається як складна, ієрархічна організаційно-технічна система, передача інформаційних потоків здійснюється з урахуванням таких рівнів ієрархії:

- технологічний рівень (об'єкт управління – технологічний процес);
- інженерний рівень (об'єкт – виробнича система);
- організаційний рівень (об'єкт – проектно-орієнтоване підприємство);
- корпоративний рівень (об'єкт – юри-

дична особа, тобто фірма, компанія, корпорація – внутрішнє регулювання);

– бізнес-рівень (об'єкт – корпорація в ринковому середовищі, зовнішнє регулювання).

На кожному з рівнів мультиагентної системи приймаються рішення, для чого обробляється значні обсяги інформаційних потоків, що передаються по міжагентних каналах. На часовій шкалі $\tau = 0, 1, \dots$ динаміку вхідних $y_{g_a}(\tau)$ та вихідних $y_{h_b}(\tau)$ потоків з урахуванням рівнів задамо таким чином:

$$y_{g_a}(\tau) = y_{g_a}(\tau - 1) - \alpha_a, \quad a = 1, \dots, k, \quad (2)$$

$$y_{h_b}(\tau) = y_{h_b}(\tau - 1) + \beta_b, \quad b = 1, \dots, r,$$

де показник α_a відповідає кількості потоків, що вилучаються при виконанні переходу q_j з вхідних потоків, показники β_b – кількість потоків, що вносяться у вихідні потоки.

Величина потоку інформації в часі є подією, що являє собою множину елементарних подій, яка характеризується як кінцева множина та складається з n -ї кількості елементарних подій.

Алгебра подій дає можливість формально описати рух потоків у мультиагентній системі. В [9] алгебра визначається як множина елементів довільної природи, на якій визначено деякі кінцеві дії, що дають можливість впорядкованому набору з n елементів множини поставити у відповідність елемент цієї множини.

Нехай маємо множину подій $P = \{p_j, j = 1, \dots, N\}$, що складається з n -ї кількості елементарних подій. Введемо на множині P дві бінарні дії – об'єднання та суміщення і одну унарну дію – альтернативний вибір.

Об'єднання подій $P = P_1 \cup P_2$ розглядається як теоретико-множинне об'єднання потоків $p_1 \in P_1, p_2 \in P_2$, що включає в себе всі елементарні події $p_1 \in P_1$ і всі елементарні події $p_2 \in P_2$.

Суміщення подій $P = P_1 \cdot P_2$ розглядається як дія, що полягає у формуванні всіх пар потоків p_1, p_2 згідно з такими правилами:

– до набору вхідних (вихідних) потоків p_1 приписується набір вхідних (вихідних) потоків p_2 ;

– якщо в отриманому вхідному (вихідному) наборі виявиться декілька однойменних

потоків, то вони замінюються одним потоком, показник степеня якого дорівнює сумі показників степенів, які замінюються;

– горизонтальна стрілка, що веде від вхідного до вихідного набору показників, помічається виразом $q_1 \cdot q_2$;

– потоки у вхідному (вихідному) наборі впорядковуються зліва направо в зростанні їх номерів.

Множина $P = P_1 \cdot P_2$ є множиною з $n_1 \times n_2$ потоків, де n_1, n_2 – кількість елементів у множинах P_1 та P_2 , відповідно.

Альтернативний вибір $\hat{P}$ полягає у виділенні з множини $P = \{p_i, i = 1, \dots, n\}$ одного і тільки одного елемента при істинності зіставленої йому логічної умови u_i . При цьому для будь-яких двох елементів p_1 і p_2 умови u_1 та u_2 не можуть виконуватися одночасно, тобто повинна виконуватися умова ортогональності $u_1 \wedge u_2 = 0$, де $\wedge$ – знак кон'юнкції.

В мультиагентній системі на нижньому рівні формується множина інформаційних потоків, що характеризують технологічну складову прибутку. На основі цих інформаційних потоків формуються економічні показники ефективності підприємства, що аналізуються агентом для вироблення раціональних управлінських рішень. Ці показники надходять на вхід інтелектуальних блоків в мультиагентній системі. На виході виробляється вектор показників, що визначає оцінку стану організаційно-технологічного об'єкта в теперішній момент часу, що може бути як кількісною, так і якісною. Отримані інформаційні потоки підлягають корегуванню залежно від отриманих даних від агентів зовнішнього середовища відповідно про стан зовнішнього середовища згідно із зовнішніми економічними умовами.

Тоді подія виражається формулою

$$P = \left\{ (y_1^{-1} \xrightarrow{q_1} y_2^{+1}) \cdot (y_1^{-1} y_2^{+1} \xrightarrow{q_2} y_3^{+2}) \cup \left(\cup (y_1^{-1} y_3^{+3} \xrightarrow{q_3} y_4^{+2}) \cdot (y_4^{-1} \xrightarrow{q_4} y_5^{+3}) \right) \right\}, \quad (3)$$

де y_1^{-1} – вхідні інформаційні потоки, що характеризують величину матеріальних потоків; y_2^{+1} – вихідні інформаційні потоки, що характеризують техніко-економічні показники підприємства; y_3^{+1} – вихідні інформаційні пото-

ки, що характеризують показники ефективності проектно-орієнтованого підприємства; y_4^{-1} – вхідні інформаційні потоки, що характеризують показники настання ризикових подій; y_5^{+3} – вихідні потоки, що характеризують аналітичну інформацію для прийняття рішення.

Процеси передачі інформаційних потоків відбуваються на вищих рівнях в мультиагентній системі. Крім розрахованих економічних показників, на вхід інтелектуальних блоків надходять з нижніх рівнів значення вихідних показників, що визначають рішення агентів нижнього рівня. Тому доцільним є використання булевих змінних.

Булевою є змінна, що набуває двох значень: 1 (істинне) та 0 (хибне), а булевою формулою називається вираз, що отримано шляхом використання кінцевої кількості разів логічних операцій диз'юнкції (АБО), кон'юнкції (ТА) і заперечення (НЕ) з булевими змінними. Булева формула описує булеву функцію з областю значень $\{0,1\}$.

Тоді, виходячи з цих визначень, формула (3) матиме вигляд

$$P = \left\{ (y_1^{-1} y_2^{+1} \xrightarrow{q_1 \cdot q_2} y_3^{+2} y_4^{+2}) \cup (y_1^{-1} y_3^{+2} y_4^{+2} \xrightarrow{q_3 \cdot q_4} y_5^{+3}) \right\}. \quad (4)$$

Для кожної ЕП у формулі (4) введемо логічну умову, що виражається критеріальною формулою над вхідними і (або) вихідними потоками, яка матиме вигляд:

$$f(q_1 \cdot q_2) = (y_1 > 3) \wedge (y_1 \leq 6) \vee (y_3 < 4) \wedge (y_5 < 4) \quad (5)$$

$$f(q_3 \cdot q_4) = (y_1 \leq 3) \vee (y_5 \geq 4).$$

Подію, що характеризує передачу інформаційних потоків по міжагентних каналах в мультиагентній системі, можна виразити також за допомогою мережі Петрі. При цьому необхідно скористатися такими правилами:

– кожній вхідній (вихідній) потоковій змінній ЕП ставимо у відповідність позицію мережі Петрі, а кожній горизонтальній стрілці – її перехід;

– з вхідної позиції в перехід (з вихідної позиції в перехід) проведемо стрілки, кількість яких дорівнює показнику ступеня в позначенні потоку.

Графічне представлення передачі інформаційних потоків у мультиагентній системі дасть можливість наочного представлення схеми руху інформаційних потоків, їх передачі, обробки, зберігання, забезпечення швидкого доступу до даних, їх обміну по всіх каналах, обробки за відповідними алгоритмами та представлення в зручному вигляді.

Застосування цих правил до формули (3) дає мережу Петрі, що зображена на рис 1. Отримані мережі, що відображають передачу інформаційних потоків у мультиагентній системі, є потоковими мережами. Вони відображають функціонування блоків руху елементів потоку в комплексній поточковій схемі агента, що зображено на рис. 2.

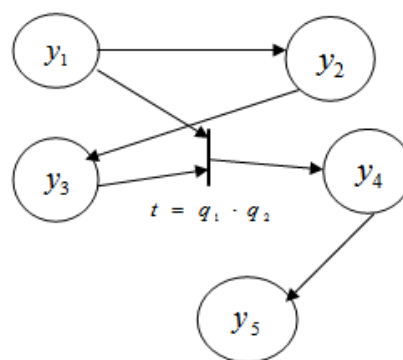


Рис. 1. Формула події у вигляді мережі Петрі

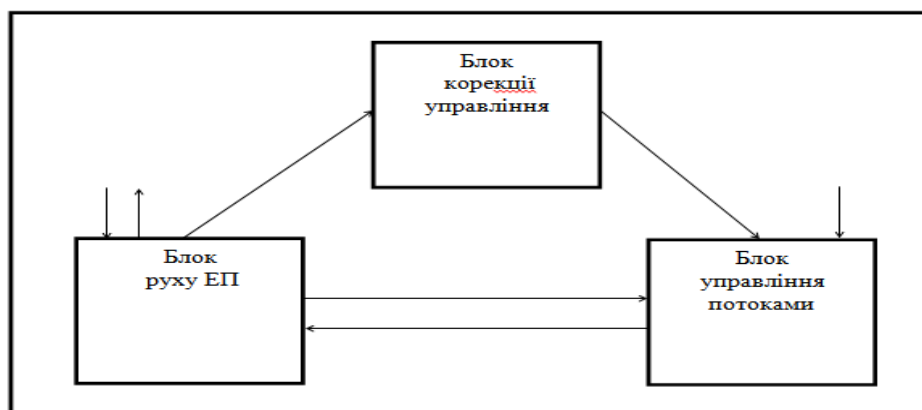


Рис. 2. Структура комплексної потокової схеми агента

Комплексна потокова схема агента працює згідно з наступним алгоритмом:

Крок 1. Блок управління потоками отримує на вхід дані – значення змінних, що характеризують показники ефективності проектно-орієнтованого підприємства, які зіставлені позиціям потокової мережі (потоківі змінні), а також дані про стан зовнішнього середовища (фактори зовнішнього середовища, що можуть викликати настання тих чи інших ризикових подій).

Крок 2. Забезпечення блоком управління певного порядку виконання керуючих впливів – операцій, що ініціюють спрацювання переходів у потоковій мережі, тобто переміщення елементарних потоків. Операції можуть виконуватися як послідовно, так і паралельно, також припускається можливість альтернативного вибору операції залежно від ситуації, синхронізація паралельних операцій, відсутність конфліктів між ними і т. ін.

Крок 3. Моделювання графом операцій з використанням мережі Петрі управління потоками в агенті. Переходам додатково приписуються логічні умови спрацювання у вигляді критеріальних формул поточкових змінних, а також функцій від часу. Граф операцій маркується шляхом розташування в його позиції мітки, що вказує на виконання операції. Позиція графа може знаходитись лише в двох станах: бути порожньою чи містити мітку.

Крок 4. Здійснення передачі інформаційних повідомлень шляхом спрацювання переходу графа операцій у випадку, коли в усіх його вхідних позиціях є мітки та істинна критеріальна формула, що відноситься до цього переходу.

Крок 5. В результаті спрацювання переходу знищуються мітки з його вхідних позицій та вносяться мітки в вихідні позиції, тобто запускаються наступні операції.

Крок 6. Для ініціювання графу операцій необхідно задати початкове розміщення міток.

Розглянута технологія моделювання дає можливість виявляти аномалії в роботі агентів та мультиагентної системи в цілому, тобто цикли, що не мають виходу, повторні запуски операцій під час їх виконання, так звані «зависання» роботи циклу та ін.

Висновки. Отримані результати показують, що управління проектно-орієнтованим

підприємством вимагає обробки великого обсягу інформації, і рішення завжди приймається на основі цієї інформації, тому досить важливим є процес формування інформаційних потоків, отримання необхідної інформації, її обробки, зберігання, приведення її до вигляду, що полегшує прийняття рішення. Застосування мультиагентного підходу забезпечує представлення інформації про виробничий процес та ефективність підприємства в цілому, яка може бути застосована при розробці систем підтримки прийняття рішень в управлінні проектно-орієнтованими підприємствами, з високим ступенем якості та надійності, що забезпечить прийняття оптимального управлінського рішення.

Список літератури

1. Прокопенко Т. О., Ладанюк А. П. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: [монографія]. Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2015. 224 с.
2. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / под. ред. А. А. Большакова. Москва: Горячая линия-Телеком, 2006. 160 с.
3. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA) = Artificial intelligence: a modern approach (AIMA). 2-е изд. Москва: Вильямс, 2007. 1424 с.
4. Letichevsky J., Kapitonova A., Letichevsky Jr., Volkov V., Baranov S., Kotlyarov V., Weigert T. Basic protocols, message sequence charts, and the verification of requirements specifications. *Computer Networks*. 2005. № 47. P. 662–675.
5. Борисов В. В. Сысков В. В. Мультиагентное моделирование сложных организационно-технических систем в условиях противоборства. *Информационные технологии*. 2012. № 4. С. 7–14.
6. Юдицкий С. А. Моделирование динамики многоагентных триадных сетей. Москва: СИНТЕГ, 2012. 112 с.
7. Chochowski A., Chernyshenko I., Kozyrskiy V., Kyshenko V. Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control. Kyiv: Tsentru uchbovovii literatury, 2014. 240 p.

8. Novikov D., Ashimov A., Sultanov B., Adilov Z., Borovskiy Y., Alshanov R., Ashimov A. Macroeconomic analysis and parametric control of a national economy. New York: Springer, 2013. 288 p.
9. Юдицкий С. А. Алгебраическое представление модели многоагентных сетей. *Управление большими системами*. 2011. № 34. С. 30–45.
10. Прокопенко Т. А., Ладанюк А. П. Информационная модель управления технологическими комплексами непрерывного типа в классе организационно-технических систем. *Проблемы управления и информатики: междунар. науч.-техн. журн.* 2014. № 5. С. 64–70.
- rov, V. and Weigert, T. (2005) Basic protocols, message sequence charts, and the verification of requirements specifications. *Computer Networks*, 47, pp. 662–675.
5. Borisov, V. V. and Syskov V. V. (2012) Multiagent modeling of complex organizational and technical systems in the context of confrontation. *Information technology*, 4, pp. 7–14 [in Russian].
6. Yuditsky, S. A. (2012) Modeling the dynamics of multi-agent triad networks. Moscow: SYNTHEG, 112 p. [in Russian].
7. Chochowski, A., Chernyshenko, I., Kozyrskiy, V. and Kyshenko, V. (2014) Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control Kyiv: Tsentr uchbovovoi literatyru, 240 p.
8. Novikov, D., Ashimov, A., Sultanov, B., Adilov, Z., Borovskiy, Y., Alshanov, R. and Ashimov, A. (2013) Macroeconomic analysis and parametric control of a national economy. New York: Springer, 288 p.
9. Yuditsky, S. A. (2011) Algebraic representation of the model of multi-agent networks. *Management of large systems*, No. 34, pp. 30–45 [in Russian].
10. Prokopenko, T. O. and Ladanyuk, A. P. (2014). Information model of the control of continuous type technological complexes in the class of organizational and technical systems. *Journal of Automation and Information*, No. 5, pp. 64–70 [in Russian].

References

1. Prokopenko, T. O. and Ladanyuk, A. P. (2015) Information technology management organizational and technological systems. Cherkasy: Vertical, publisher Kandysh S. G., 224 p.[in Ukrainian].
2. Bolshakov, A. A. (2006) Intellectual systems of management of organizational and technical systems. Moscow: Hot line-Telecom, 160 p. [in Russian].
3. Rassel, S. (2007) Artificial intelligence: a modern approach. M.:Viliams, 1424 p.[in Russian].
4. Letichevsky, J., Kapitonova, A., Letichevsky, Jr., Volkov, V., Baranov, S., Kotlyarov, V. and Weigert, T. (2005) Basic protocols, message sequence charts, and the verification of requirements specifications. *Computer Networks*, 47, pp. 662–675.
5. Borisov, V. V. and Syskov V. V. (2012) Multiagent modeling of complex organizational and technical systems in the context of confrontation. *Information technology*, 4, pp. 7–14 [in Russian].
6. Yuditsky, S. A. (2012) Modeling the dynamics of multi-agent triad networks. Moscow: SYNTHEG, 112 p. [in Russian].
7. Chochowski, A., Chernyshenko, I., Kozyrskiy, V. and Kyshenko, V. (2014) Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control Kyiv: Tsentr uchbovovoi literatyru, 240 p.
8. Novikov, D., Ashimov, A., Sultanov, B., Adilov, Z., Borovskiy, Y., Alshanov, R. and Ashimov, A. (2013) Macroeconomic analysis and parametric control of a national economy. New York: Springer, 288 p.
9. Yuditsky, S. A. (2011) Algebraic representation of the model of multi-agent networks. *Management of large systems*, No. 34, pp. 30–45 [in Russian].
10. Prokopenko, T. O. and Ladanyuk, A. P. (2014). Information model of the control of continuous type technological complexes in the class of organizational and technical systems. *Journal of Automation and Information*, No. 5, pp. 64–70 [in Russian].

T. O. Prokopenko, Dr.Tech.Sc, accociate professor

e-mail: t.prokopenko@chdtu.edu.ua

V. I. Krezub, postgraduate student

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MODELING OF INFORMATION FLOWS IN MANAGEMENT SYSTEMS OF PROJECT-ORIENTED ENTERPRISES

The application of multi-agent approach to the modeling of information flows in management systems of project-oriented enterprises is proposed. The peculiarity of the activities of modern enterprises, corporations in various industries is to ensure flexibility, mobility, universalization while ensuring high productivity of production, speed and adequacy of making strategic and operational decisions that are in line with the strategies of external environment and internal dynamics. This will ensure the support and adoption of effective management decisions. Effective enterprise management, in particular in chemical industry, depends on the organization and formation of information flows, in-

cluding the presentation of information in a form suitable for management. The presented multi-agent model determines the flow of information flows during interactions of the system with the environment, external dynamics of multi-agent system and the movement of information flows within the agent, that is, internal dynamics of the system. Graphical representation of the transfer of information flows in multi-agent system will provide a visual representation of the flow of information flows, their transmission, processing, providing fast access to data, their exchange on all channels, processing by appropriate algorithms and presentation in a convenient manner. The considered modeling technology makes it possible to detect anomalies in the work of agents and multi-agent system. The obtained results show that the management of a project-oriented enterprise requires the processing of a large amount of information and decision is always taken on the basis of this information. Formation of information flows, obtaining the necessary information, its processing, storage, bringing it to the viewpoint, which facilitates decision making, is an important process. Conclusions are made about the possibility of using this model in the development of decision support systems in the management of project-oriented enterprises.

Key words: multi-agent approach, information flows, project-oriented enterprise, decision-making.

О. П. Плахотний, к.т.н., доцент,
доцент кафедри енерготехнологій
e-mail: pldecor@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗМІРНОЇ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДРОТЯНИМ ЕЛЕКТРОДОМ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПОЛІВ

Комбінована технологія послідовного використання електроерозійної обробки та електрохімічної обробки дротяним електродом дозволяє структурувати поверхню і формувати металеві компоненти з високою точністю, незалежно від міцності та твердості матеріалів. У межах цього дослідження усуваються деякі проблеми, які можуть обмежувати подальший розвиток запропонованої технології. Проста тривимірна модель за методом кінцевих елементів використовується для розрахунку розподілу первинного струму на поверхні аноду. Тривимірні результати порівнюються з даними двовимірного аналітичного моделювання. Це дозволяє перевірити точність алгоритму. В результаті проведених розрахунків встановлено, що катод з ізоляційним шаром, нанесеним на бічну стінку, може поліпшити локалізацію і точність обробки.

Ключові слова: електроерозійна вирізна обробка, електрохімічна обробка, дротяний електрод-інструмент, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Електроерозійна обробка є найбільш поширеною серед методів електрофізичної обробки металів і сплавів. Таке поширення методу обумовлене високою точністю обробки і малою залежністю продуктивності від властивостей матеріалу, що обробляється. Найбільшою точністю відрізняється електроерозійна вирізна обробка дротяним електродом (ЕЕВО ДЕ). Однак покращення шорсткості обробленої поверхні, видалення поверхневих термічно змінених шарів є актуальною проблемою для ЕЕВО ДЕ. Вирішення проблеми шляхом застосування багатопрхідної електроерозійної обробки призводить до суттєвих втрат продуктивності і значного здорожчання. Інноваційним методом фінішування поверхні після ЕЕВО ДЕ є застосування нетермічного способу електрохімічної розмірної обробки (ЕХРО) рухомим дротяним електродом [1, 2].

Основною задачею при реалізації конкретної технологічної схеми ЕХРО є забезпечення рівномірності анодного розчинення по всій поверхні деталі, яка б не погіршувала точності формоутворення ЕЕВО. Розв'язання задачі складається з двох частин.

Проблематика першої частини полягає в неоднаковій швидкості розчинення зі зміною товщини поверхневих термічно модифікованих шарів, утворених внаслідок дії іскрових розрядів. Дослідженню цього питання присвячено ряд робіт і на сьогодні запропоновано ряд рішень та методик. Моделюється утво-

рення поверхневих шарів при тепловій дії іскрових розрядів з енергетичними параметрами, характерними для ЕЕВО ДЕ, розраховуються товщина структурно змінених шарів і шорсткість поверхні [3, 4]. Далі проектування процесу анодного розчинення проводиться з урахуванням змінного коефіцієнта електрохімічного розчинення для електроерозійно модифікованих шарів [2].

Друга частина задачі полягає у забезпеченні керованості підведенням технологічного струму в процесі ЕХРО до поверхні анода при різних конфігураціях електродів. Застосування імпульсного струму, комп'ютерне моделювання розподілу електростатичних полів і електрохімічного формоутворення привели до значного прогресу за останнє десятиліття у вирішенні питання покращення точності обробки. За умови попереднього моделювання процесу електрохімічна обробка з успіхом застосовується для відтворення внутрішньої геометрії прецизійних деталей незалежно від твердості і міцності матеріалу заготовки [5]. Використання ультракоротких імпульсів струму і моделювання розподілу електростатичних полів з метою збільшення локалізації процесу розчинення дає змогу розвивати і поширювати імпульсну електрохімічну мікрообробку для виробництва мікроструктур з високою точністю [6].

Сучасне математичне моделювання процесів ЕХРО проводиться на основі розв'язків відповідних диференціальних рів-

нянь, отриманих аналітичним або чисельним методом, чи з використанням розрахункових систем, що працюють на основі чисельного методу кінцевих елементів, у випадку складної конфігурації електродів [7–11]. Адекватність математичної моделі реальному процесу підвищують за рахунок введення в розгляд додаткових рівнянь та співвідношень, що враховують вплив багатьох чинників на інтенсивність реакцій електрохімічного розчинення. Перспективним у сенсі розвитку і подальшого уточнення математичної моделі є застосування розрахункового пакету COMSOL Multiphysics. Після моделювання первинного розподілу струму можна значно підвищити адекватність моделі, ввівши в розрахунок чинники, що формують вторинний, третинний розподіли струму, інші параметри просторово-часової еволюції процесу, що врешті-решт приведе до отримання моделі, яка застосовна до проектування унікальних технологій виготовлення складних структур в металах та інших матеріалах з розміром у мікрометричному діапазоні [12].

Для технологічної схеми ЕХРО дротяним катодом плоскої поверхні анода (рис. 1, а) існуючі в літературі математичні моделі розроблені тільки в двовимірній постановці [7, 8]. Розвитку математичного опису ЕХРО дротяним електродом у тривимірній постановці присвячена ця стаття.

Мета роботи – розробити ефективний розрахунковий апарат для прогнозування параметрів точності формоутворення та їх підвищення при проектуванні технологічних процесів ЕХРО дротяним електродом шляхом моделювання тривимірних електростатичних полів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Технологічна схема застосування комбінованої обробки ЕЕВО ДЕ та ЕХРО полягає в наступному. Після виконання вирізної електроерозійної операції деталь залишається закріпленою на призмах верстата зі збереженням координат позиціонування. Далі виконується електрохімічна обробка. З верхньої камери верстата під дією тиску подається струмінь електроліту вздовж дротяного електрода-інструмента (ДЕІ), який є катодом (рис.1, а). Деталь слугує анодом. Міжелектродний проміжок (МЕП) заповнюється електролітом, який постійно оновлюється. Приводи верстата за керуючою програмою переміщують ДЕІ по траєкторії, що відповідає траєкторії електроерозійного вирізання з урахуванням еквідистанти – зміщення, яке забезпечує

заданий міжелектродний проміжок протягом усієї операції електрохімічної обробки. Швидкість переміщення ДЕІ, параметри імпульсного струму, склад та концентрація електроліту визначають товщину розчиненого поверхневого шару. Звичайно, на швидкість проходження електрохімічних реакцій впливають багато чинників, але все ж визначальною, згідно з законом Фарадея, є густина струму, підведена до кожної ділянки поверхні анода. Тому важливим є попередній розрахунок розподілу напруженості електростатичного поля на поверхні анода при проектуванні технологічної схеми з застосуванням циліндричного дротяного катода, яка б забезпечувала рівномірну товщину знятого шару.

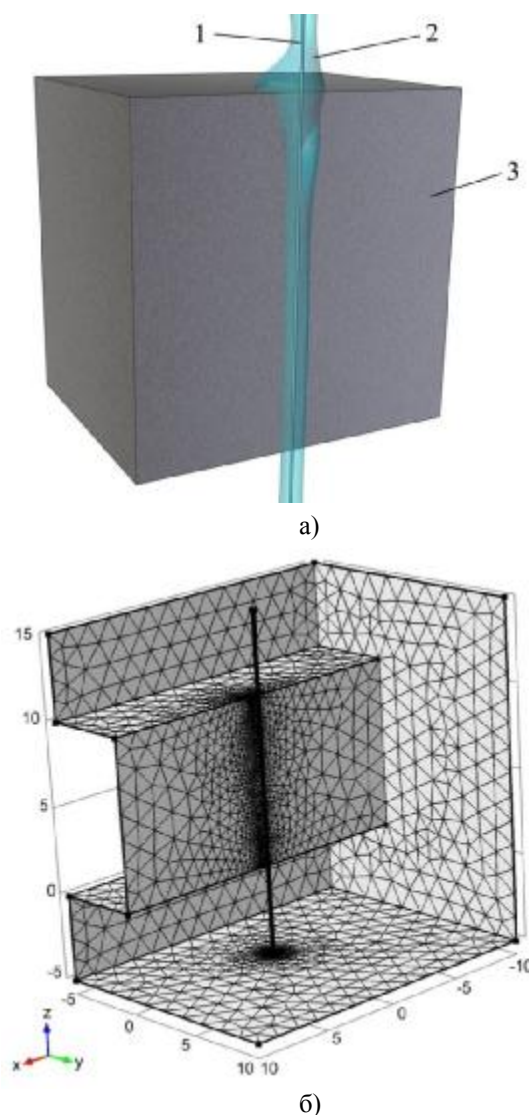


Рис. 1. Технологічна схема ЕХРО дротяним електродом: а) фізична схема: 1 – ДЕІ; 2 – струмінь електроліту; 3 – поверхня деталі, яка обробляється; б) відповідна розрахункова область і її кінцево-елементна сітка

Процес електрохімічної обробки – багатостадійний і надзвичайно складний. Для кращого обчислення були зроблені наступні припущення, які спрощують розрахункову модель. Зміна концентрації електроліту при проходженні реакцій не врахована, тому провідність електроліту прийнята постійною. Температура в зоні обробки є постійною і не впливає на швидкість процесу. Коефіцієнт виходу за струмом прийнятий постійним. Тобто вважаємо, що товщина розчиненого шару визначається кількістю електрики, наданої кожній ділянці анода за час обробки, і основним чинником є густина первинного розподілу струму при заданій конфігурації електродів.

На рис. 1, б) зображена геометрія розрахункової області, її розбиття просторовою сіткою і заповнення кінцевими елементами у формі тетраедрів. Сітка згущена в областях навколо дрітного електрода, міжелектродного проміжку і на поверхнях анода, де слід очікувати максимальної концентрації густини струму. Для визначення електростатичних полів розрахунок проводиться тільки один раз, тому кількість елементів розбиття може бути великою, це не має суттєвого впливу на час розрахунку. При моделюванні процесів розчинення розраховується нестационарна задача, і обчислення проводяться багатократно для кожного кроку за часом, тому кількість кінцевих елементів слід вибирати раціонально. Можна, наприклад, при кожному наступному збільшенні щільності сітки порівнювати між собою отримані результати. Якщо вони відрізняються між собою в межах заданої точності, то ущільнення сітки припиняють. Ця властивість притаманна збіжним чисельним методам, до яких відноситься і метод кінцевих елементів.

Граничні умови – 0 В на гранях анода, U В на поверхні циліндричного катода.

Для тестування обчислювальної схеми проводилось порівняння отриманих результатів розрахунку з відомими точними аналітичними розв'язками двовимірних задач. На рис. 2, а) червона крива відображає результати розподілу густини струму на аноді за аналітичним розв'язком, отриманим за допомогою методу конформних відображень теорії функцій комплексної змінної для конфігурації електродів на площині: катод – коло, анод – півплощина [1, 7]. Синя крива – розподіл густини струму в перерізі в площині XOY, посе-

редині передньої грані анода, тривимірного електростатичного поля, отриманого чисельним методом. Спостерігаємо точний збіг результатів у зоні активного розчинення. Незначна розбіжність на краях пояснюється тим, що чисельний метод, на відміну від аналітичного, враховує реальну скінченну зону змочування електролітом.

Користуючись результатами розрахунку розподілу густини струму на поверхні деталі в поперечному перерізі, як зображено на рис. 2, а), можна контролювати величину зони активного розчинення. Вибір геометричних параметрів катода, анода, міжелектродного проміжку дозволяє впливати в певних межах на локалізацію процесу.

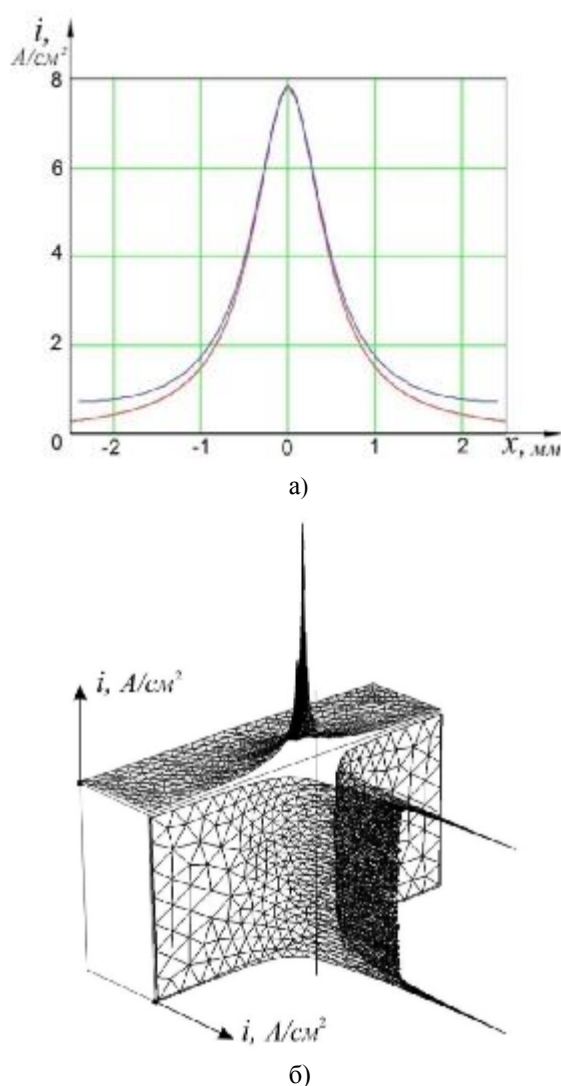


Рис. 2. Результати розрахунку: а) порівняння розподілу струму, отриманого з використанням точного розв'язку двовимірної моделі (червона крива) і чисельного розв'язку тривимірної моделі (синя крива); б) сіткові графіки розподілу густини струму на передній та верхній гранях анода

Аналіз результатів чисельного розрахунку тривимірного розподілу густини струму на передній та верхній гранях анода (на нижній грані – симетрично) свідчить про двократне збільшення рівня концентрації струму в локальних областях на ребрах анода (рис. 2, б). Проведені обчислювальні експерименти показали, що варіація значень діаметра ДЕІ, величини міжелектродного проміжку, висоти анода не змінює вищезазначеної тенденції. На практиці це проявляється в суттєвій нерівномірності швидкості розчинення по висоті деталі. На рис. 3 зображена вертикальна канавка, експериментально отримана внаслідок електрохімічного розчинення поверхні деталі-анода при дії електричного поля від нерухомого дріт'яного катода. Поблизу ребер спостерігається більша площа знятого електроерозійно зміненого поверхневого шару, і глибина канавки з самого верху і низу більша, чим загалом усередині. Розрахунок кількості розчиненого матеріалу зверху і посередині деталі в перерахунку на профілі канавки у відповідних перерізах збігається з експериментальними вимірами з похибкою, що не перевищує 5 %.

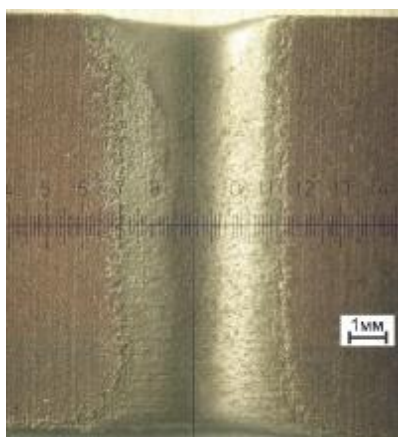


Рис. 3. Канавка на поверхні деталі, отримана в результаті розчинення при дії електростатичного поля між нерухомим ДЕІ та анодом

Для зменшення нерівномірності розподілу струму по висоті необхідні додаткові конструктивні рішення та технологічні прийоми. Одним із таких рішень є застосування ізолятора (рис. 4, а), який обмежує активну довжину катода – дріт'яного електрода-інструмента. Ізолятор встановлюється на відстані h від верхньої та нижньої граней деталі і, зважаючи на те, що дріт не перемотується при ЕХРО, ця відстань буде збережена протягом

усього технологічного процесу. Техніка нанесення ізолятора на електроди і його експлуатаційна стійкість в умовах взаємодії з електролітами добре описані в літературі [13].

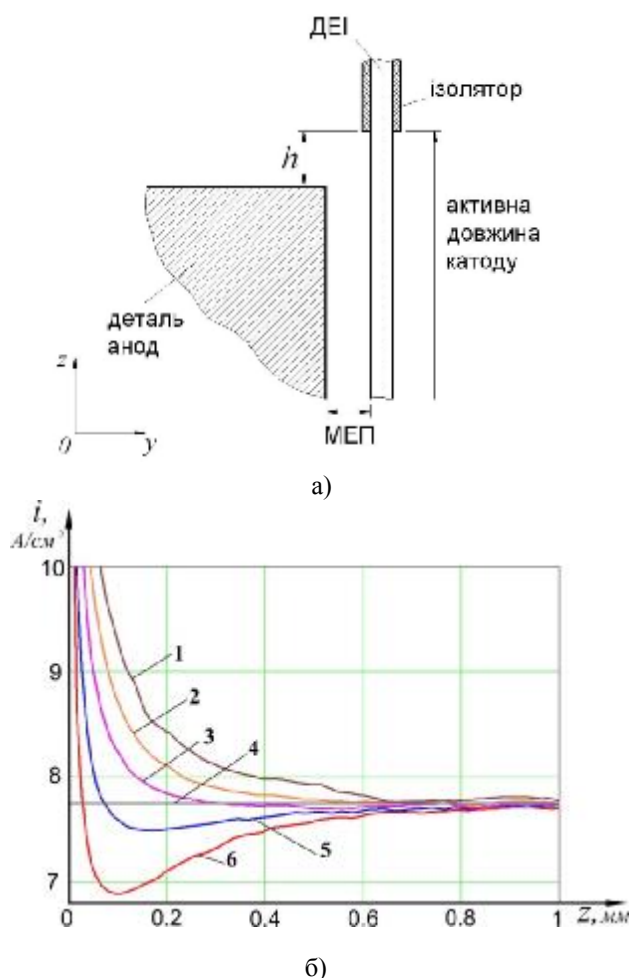


Рис. 4. Застосування ізолятора при ЕХРО дріт'яним електродом: а) схема розміщення ізолятора; б) розподіл густини струму на передній грані деталі вздовж осі OZ при різних положеннях ізолятора: 1 – без ізолятора; 2 – $h=0.5$ мм; 3 – $h=0.25$ мм; 5 – $h=0.1$ мм; 6 – $h=0$ мм; 4 – значення густини струму далеко від ребер деталі

Розрахунок електростатичного поля з застосуванням ізолятора дає можливість вибрати найбільш прийнятне значення висоти h при конкретних заданих значеннях інших параметрів. На рис. 4, б) представлені результати розподілу густини струму в перерізі в площині YOZ на передній грані анода. Точка $z=0$ – це точка на ребрі деталі, далі $z>0$ – вздовж поверхні анода.

Для умов наведеного прикладу доцільно вибрати розташування ізолятора в діапазоні висоти $h=0.1-0.25$ мм. Величина діапазону вибрана з міркувань можливості дотримання

на практиці вказаного розміру при розташуванні ДЕІ з ізоляторами відносно граней деталі. Наведені висоти відповідають кривим 3 і 5 на графіку розподілу густини струму (рис. 4, б). Так, при $h=0.1$ мм згідно з розрахунковою кривою 3 отримаємо приблизно 0.3 мм висоти «пошкодженої» ділянки у верхній частині деталі. При $h=0.25$ мм отримаємо висоту 0.1 мм «пошкодженої» ділянки і незначне (в межах 5%) зменшення густини струму в прилеглій зоні. В подальшому технологічною операцією плоского шліфування можна зняти з верхньої і нижньої граней деталі встановлену товщину шару. Інший технологічний спосіб полягає в застосуванні накладних листів розрахованої товщини, що затискаються зверху та знизу заготовки і в процесі виготовлення деталі за комбінованою технологією зменшують відкладення латуні при оберненому переносі матеріалу з ДЕІ на стадії електроерозійного різання і відводять зону підвищеного розчинення при операції електрохімічної обробки.

Висновки. Розроблено і випробувано методику математичного комп'ютерного розрахунку розподілу густини технологічного струму в тривимірній постановці для конфігурації плоский анод – циліндричний катод, яка допомагає прогнозувати точність формотворення при проектуванні процесу обробки за комбінованою технологією послідовного застосування ЕЕВО ДЕ та ЕХРО.

Запропоновано технологічний прийом з використанням ізоляторів на ДЕІ, який при застосуванні разом з математичним апаратом розрахунку електростатичних полів зменшує нерівномірність розподілу густини струму і цим підвищує точність виготовлення виробу.

Список літератури

- Осипенко В. І., Плахотний А. П., Билан А. В. Исследование процессов съема материала при электрохимической размерной обработке проволочным электродом. *Вісник СевНТУ: зб. наук. праць*. 2011. Вип. 118. С. 107–112.
- Osipenko V. I., Plakhotny A. P., Denisenko A. Yu. Improved methodology for calculating the processes of surface anodic dissolution of spark eroded recast layer at electrochemical machining with wire electrode. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2014. Вип. 1 (43). С. 55–60.
- Hackert-Oschätzchen M., Kreißig M., Kowalick M., Zeidler H., Schubert A., Kröning O., Herzig M., Schulze H.-P. Single discharge simulations of needle pulses for electrothermal ablation. *Proceedings of the 2013 COMSOL Conference in Rotterdam*. 2013.
- Осипенко В. І., Плахотний О. П., Нестеренко І. М. Розрахунок мікрогеометричних параметрів поверхневого шару при електроерозійному дротяному вирізанні повного зйому. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 3. С. 95–102.
- Hackert-Oschätzchen M., Kowalick M., Paul R., Zinecker M., Kuhn D., Meichsner G., Schubert A. 2-D axisymmetric simulation of the electrochemical machining of internal precision geometries. *Proceedings of the European COMSOL Conference*. 2016.
- Kozak J., Gulbinowicz D., Gulbinowicz Z. The mathematical modeling and computer simulation of pulse electrochemical micromachining. *Engineering Letters*. 2008. Т. 16, № 4. Р. 556–561.
- Житников В. П., Зайцев А. Н. Импульсная электрохимическая размерная обработка: монография. Москва: Машиностроение, 2008. 413 с.
- Волгин В. М., Любимов В. В., Давыдов А. Д. Моделирование электрохимического формообразования поверхностей подвижным электродом-инструментом. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2015. № 10. С. 54–67.
- Проничев Н., Палютин С., Нехорошев М. Моделирование электрических полей в электрохимической ячейке в условиях ЭХО средствами программного комплекса «ANSYS». *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва*. 2006. № 2–1. С. 317–321.
- Purcar M., Dorochenko A., Bortels L., Decoinck J., Van den Bossche B. Advanced CAD integrated approach for 3D electrochemical machining simulations. *Journal of Materials*

- Processing Technology*. 2008. T. 203, № 1. P. 58–71.
11. Penzel M., Hackert-Oschätzchen M., Kreibig M., Kowalick M., Zinecker M., Schubert A., Meichsner G. Transient simulation of an electrochemical machining process for stamping and extrusion dies. *Proceedings of the European COMSOL Conference*. 2016.
 12. Kumsa D., Scherson D. A. Theoretical aspects of pulsed electrochemical micromachining. *Journal of The Electrochemical Society*. 2013. T. 160, № 8. P. H481–H488.
 13. Yao J., Chen Z., Nie Y., Li Q. Investigation on the electrochemical machining by using metal reinforced double insulating layer cathode. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017. T. 89, № 5–8. P. 2031–2040.
- ### References
1. Osipenko, V. I., Plakhotnyi, A. P. and Bilan, A. V. (2011) Investigation of material removal processes in electrochemical machining using wire electrode. *Visnik SevNTU: zb. nauk. pr.*, (118), pp. 107–112 [in Russian].
 2. Osipenko, V. I., Plakhotnyi, A. P. and Denisenko, A. Yu. (2014) Improved methodology for calculating the processes of surface anodic dissolution of spark eroded recast layer at electrochemical machining with wire electrode. *Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu*, 1 (43), pp. 55–60.
 3. Hackert-Oschätzchen, M., Kreibig, M., Kowalick, M., Zeidler, H., Schubert, A., Kroning, O., Herzig, M. and Schulze, H.-P. (2013) Single discharge simulations of needle pulses for electrothermal ablation. *Proceedings of the 2013 COMSOL Conference in Rotterdam*.
 4. Osypenko, V. I., Plakhotnyi, O. P., Nesterenko, I. M. (2015) Calculation of microgeometrical parameters of surface layer at electroerosion wire cutting of complete removal. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seria: Tekhnichni nauky*, (3), pp. 95–102 [in Ukrainian].
 5. Hackert-Oschätzchen, M., Kowalick, M., Paul, R., Zinecker, M., Kuhn, D., Meichsner, G. and Schubert, A. (2016) 2-D axisymmetric simulation of the electrochemical machining of internal precision geometries. *Proceedings of the European COMSOL Conference*.
 6. Kozak, J., Gulbinowicz, D. and Gulbinowicz, Z. (2008) The mathematical modeling and computer simulation of pulse electrochemical micromachining. *Engineering Letters*, 16 (4), pp. 556–561.
 7. Zhitnikov, V. P. and Zaitsev, A. N. (2008) Pulse precision electrochemical machining. Moscow: Mashinostroenie, 413 p. [in Russian].
 8. Volgin, V. M., Liubimov, V. V. and Davydov, A. D. (2015) Modeling of electrochemical formation of surfaces by a moving tool electrode. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, (10), pp. 54–67 [in Russian].
 9. Pronichev, N., Paliutin, S. and Nekhoroshev, M. (2016) Modeling of electric fields in electrochemical cell under conditions of ECHO by means of a program complex "ANSYS". *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika S. P. Koroleva*, No. 2-1, pp. 317–321 [in Russian].
 10. Purcar, M., Dorochenko, A., Bortels, L., Deconinck, J. and Van den Bossche, B. (2008) Advanced CAD integrated approach for 3D electrochemical machining simulations. *Journal of Materials Processing Technology*, 203 (1), pp. 58–71.
 11. Penzel, M., Hackert-Oschätzchen, M., Kreibig, M., Kowalick, M., Zinecker, M., Schubert, A. and Meichsner, G. (2016) Transient simulation of an electrochemical machining process for stamping and extrusion dies. *Proceedings of the European COMSOL Conference*.
 12. Kumsa, D. and Scherson, D. A. (2013) Theoretical aspects of pulsed electrochemical micromachining. *Journal of The Electrochemical Society*, 160 (8), pp. H481–H488.
 13. Yao, J., Chen, Z., Nie, Y. and Li, Q. (2017) Investigation on the electrochemical machining by using metal reinforced double insulating layer cathode. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89 (5–8), pp. 2031–2040.

O. P. Plakhotnyi, *Ph.D., associate professor,*
associate professor of the department of energy technology
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
e-mail: pldecor@ukr.net

**ENHANCEMENT OF ACCURACY OF DIMENSIONAL ELECTROCHEMICAL
PROCESSING BY A WIRE ELECTRODE ON THE BASIS
OF THREE-DIMENSIONAL ELECTROSTATIC FIELD MODELING**

Combined technology for the sequential use of electroerosive treatment and electrochemical machining with a wire electrode allows the surface to be structured and the metal components to be fused with high accuracy, regardless of the strength and hardness of materials. Within the scope of this study, some issues which may limit the further development of the proposed technology are eliminated. A simple three-dimensional model by the finite element method is used to calculate the distribution of primary current on the surface of the anode. Three-dimensional results are compared with the data of two-dimensional analytical modeling. This allows to check the accuracy of the algorithm. As a result of the calculations, it is established that a cathode with an insulating layer applied to the side wall can improve the localization and accuracy of the treatment.

Key words: *electro-erosive treatment, electrochemical machining, wire electrode-tool, computer modeling.*

Є. В. Ланських, к.т.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії
e-mail: yevhenlanskykh@gmail.com

С. В. Сисоєнко, асистент
кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії
e-mail: s.sysoienko@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДВОХОПЕРАНДНОГО ГРУПОВОГО МАТРИЧНОГО КРИПТОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

У статті розглянуто і теоретично обґрунтовано результати перевірки коректності запропонованої математичної моделі побудови прямого та оберненого двохоперандного групового матричного криптографічного перетворення за допомогою математичного апарату теорії блочних матриць. За результатами досліджень встановлена коректність математичної моделі побудови оберненого групового матричного криптографічного перетворення, яка перевірена на повних множинах групових і негрупових операцій. Запропонована модель побудови оберненого групового матричного криптографічного перетворення забезпечує коректний синтез оберненого перетворення при відсутності негрупових операцій на основній діагоналі матриці групової операції. Отримані результати підтверджують коректну побудову оберненого перетворення на основі запропонованої моделі, реалізація якої забезпечує зменшення складності обчислень.

Отриманий результат показав правильність знаходження оберненої матриці за допомогою запропонованої моделі.

Ключові слова: *пряме та обернене криптографічне перетворення, двохоперандні криптографічні перетворення, коректність моделі, матрична операція.*

Актуальність досліджень. Ефективний захист інформації в реальному часі функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем неможливий без використання криптографічних методів [1], які забезпечують швидкодію апаратного забезпечення для реалізації шифрування. Захист даних та безпека інформації можливі за допомогою вдосконалення існуючих та пошуку нових методів криптографічного захисту інформації [2].

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування матричних операцій криптографічного перетворення для розробки і вдосконалення криптоалгоритмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед останніх досліджень і публікацій варто виділити [3], де досліджено використання групових операцій криптографічного перетворення, що забезпечують підвищення якості шифрування та можливість розшифрування інформації, і [4], де було розглянуто питання підвищення стійкості комп'ютерних криптографічних алгоритмів за рахунок вико-

ристання операцій криптоперетворення та алгоритмів криптографічного перетворення двох блоків змінних. В [5] проведено розробку алгоритмів застосування операцій матричного криптографічного перетворення та оцінювання статистичних властивостей результатів криптографічного перетворення на їх основі.

Проте в цих дослідженнях не було сформульовано та математично обґрунтовано правила побудови оберненої операції за допомогою математичного апарату теорії блочних матриць.

Мета статті – дослідження й оцінювання властивостей математичної моделі двохоперандного групового матричного криптографічного перетворення.

Виклад основного матеріалу. В процесі дослідження матричних групових криптографічних перетворень [6–7] було запропоновано формалізовану модель прямого та оберненого двохоперандного групового матричного криптографічного перетворення.

$$\text{Якщо } G^k = \begin{pmatrix} a_{11}F_1^k(z_1) \oplus a_{12}F_2^k(z_2) \\ a_{21}F_1^k(z_1) \oplus a_{22}F_2^k(z_2) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{тоді } G^d = \begin{pmatrix} b_{11}F_1^d(w_1) \oplus b_{12}F_1^d(w_2) \\ b_{21}F_2^d(w_1) \oplus b_{22}F_2^d(w_2) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де $a_{ij} \in [0,1]$ – коефіцієнти матриці прямого групового криптографічного перетворення, $b_{ij} \in [0,1]$ – коефіцієнти матриці оберненого групового криптографічного перетворення, F_i^k – операції негрупових двохоперандних криптографічних перетворень, F_i^d – операції обернених негрупових двохоперандних криптографічних перетворень; $\oplus$ – операція «сума за mod 2».

Перевіримо коректність запропонованої математичної моделі побудови оберненого групового матричного криптографічного перетворення. Для перевірки коректності скористаємося математичним апаратом теорії блочних матриць [8–10]. Будемо вважати, що перетворення на основі запропонованої моделі (1), (2) є коректним, якщо результат побудови оберненої матриці збігся з оберненою матрицею, побудованою на основі теорії блочних матриць [8–10].

Згідно з даними (табл. 1–2) [4] представимо:

$$G^k = G_{6,5}^k, \quad F_1^k = F_{6,5}^k, \quad F_2^k = F_{5,6}^k.$$

Оскільки $G_{6,5}^k \rightarrow G_{6,5}^d$, $F_{6,5}^k \rightarrow F_{6,5}^d$, $F_{5,6}^k \rightarrow F_{6,3}^d$, то відповідно до (1), (2) отримаємо:

$$\text{для } G_{6,5}^k = \begin{bmatrix} F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \\ F_2^k(z_2) \end{bmatrix} \text{ обернене}$$

$$\text{перетворення буде } G_{6,5}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \oplus F_1^d(w_2) \\ F_2^d(w_2) \end{bmatrix}.$$

Для зручності проведення математичних розрахунків приймемо [4]

$z_{1.1}, z_{1.2}, z_{2.1}, z_{2.2} \in \{0,1\}$ – вхідні дані для прямого перетворення:

$$z_1 = \begin{bmatrix} z_{1.1} \\ z_{1.2} \end{bmatrix}, \quad z_2 = \begin{bmatrix} z_{2.1} \\ z_{2.2} \end{bmatrix},$$

та $w_{1.1}, w_{1.2}, w_{2.1}, w_{2.2} \in \{0,1\}$ – вхідні дані (результати прямого перетворення) для оберненого перетворення:

$$w_1 = \begin{bmatrix} w_{1.1} \\ w_{1.2} \end{bmatrix}, \quad w_2 = \begin{bmatrix} w_{2.1} \\ w_{2.2} \end{bmatrix}.$$

Таблиця 1

Операції криптографічного перетворення інформації двох блоків змінних

Номер операції	Модель операції	
	Модель операції прямого перетворення	Модель операції оберненого перетворення
1	$F_{6,5}^k = \begin{bmatrix} z_1 \oplus z_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$	$F_{6,5}^d = \begin{bmatrix} w_1 \oplus w_2 \\ w_2 \end{bmatrix}$
2	$F_{3,6}^k = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_1 \oplus z_2 \end{bmatrix}$	$F_{3,6}^d = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_1 \oplus w_2 \end{bmatrix}$
3	$F_{5,6}^k = \begin{bmatrix} z_2 \\ z_1 \oplus z_2 \end{bmatrix}$	$F_{6,3}^d = \begin{bmatrix} w_1 \oplus w_2 \\ w_1 \end{bmatrix}$
4	$F_{6,3}^k = \begin{bmatrix} z_1 \oplus z_2 \\ z_1 \end{bmatrix}$	$F_{5,6}^d = \begin{bmatrix} w_2 \\ w_1 \oplus w_2 \end{bmatrix}$

Таблиця 2

Алгоритм криптографічного перетворення двох блоків змінних

Номер алгоритму	Алгоритми криптографічного перетворення	
	Алгоритм прямого перетворення	Алгоритм оберненого перетворення
1	$G_{6,5}^k = \begin{bmatrix} F_1 \oplus F_2 \\ F_2 \end{bmatrix}$	$G_{6,5}^d = \begin{bmatrix} F_1 \oplus F_2 \\ F_2 \end{bmatrix}$
2	$G_{3,6}^k = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_1 \oplus F_2 \end{bmatrix}$	$G_{3,6}^d = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_1 \oplus F_2 \end{bmatrix}$
3	$G_{5,6}^k = \begin{bmatrix} F_2 \\ F_1 \oplus F_2 \end{bmatrix}$	$G_{6,3}^d = \begin{bmatrix} F_1 \oplus F_2 \\ F_1 \end{bmatrix}$
4	$G_{6,3}^k = \begin{bmatrix} F_1 \oplus F_2 \\ F_1 \end{bmatrix}$	$G_{5,6}^d = \begin{bmatrix} F_2 \\ F_1 \oplus F_2 \end{bmatrix}$

Перевіримо правильність отриманого результату, використавши формулу Фробеніуса [8–10].

Умова невиродженості (несингулярності) матриці A є необхідною і достатньою для існування оберненої матриці A^{-1} [8]. Якщо визначник $\det A \neq 0$, то матриця A має обернену A^{-1} [8].

A – невироджена матриця, яка є блочною

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}.$$

Для оберненої матриці [8] A^{-1} виконується рівність:

$$AA^{-1} = A^{-1}A = \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Обернена до A матриця – також блочна відповідно до формули Фробеніуса [8], причому

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A_{11}^{-1} + FQ^{-1}F' & -FQ^{-1} \\ -Q^{-1}F' & Q^{-1} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $Q = A_{22} - A_{21}A_{22}^{-1}A_{12}$, $F = A_{11}^{-1}A_{12}$.

Якщо матриця $\begin{bmatrix} A & 0 \\ C & D \end{bmatrix}$ – невироджена з квадратними блоками [9] A і D , то з невиродженості випливає, що $\det A \neq 0$ і $\det D \neq 0$.

Для випадку

$$\begin{bmatrix} A & 0 \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & 0 \\ -D^{-1}CA^{-1} & D^{-1} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Аналогічно для випадку

$$\begin{bmatrix} A & B \\ 0 & D \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & -A^{-1}BD^{-1} \\ 0 & D^{-1} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Для цього випадку представимо матрицю A .

$$G_{6,5}^k = \begin{bmatrix} F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \\ F_2^k(z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{6,5}^k(z_1) \oplus F_{5,6}^k(z_2) \\ F_{5,6}^k(z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{1,1} \oplus z_{1,2} \oplus z_{2,2} \\ z_{1,2} \oplus z_{2,1} \oplus z_{2,2} \\ z_{2,2} \\ z_{2,1} \oplus z_{2,2} \end{bmatrix}$$

$$G_{6,5}^k = A_{6,5} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Обернену матрицю $A_{6,5}^{-1}$ до матриці $A_{6,5}$ знайдемо згідно з випадком (6)

$$\begin{bmatrix} A & B \\ 0 & D \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & -A^{-1}BD^{-1} \\ 0 & D^{-1} \end{bmatrix}.$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Оскільки $-1 \equiv 1(\text{mod } 2)$, $1^{-1} = 1$, то операції додавання, віднімання, множення і ділення за модулем 2 збігаються:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$$

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} (\text{mod } 2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} (\text{mod } 2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$-A^{-1}B = -\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} (\text{mod } 2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$-A^{-1}BD^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Побудуємо обернену матрицю на основі попередніх розрахунків:

$$A_{6,5}^{-1} = \begin{bmatrix} A & B \\ 0 & D \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & -A^{-1}BD^{-1} \\ 0 & D^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Провівши відповідні математичні обчислення, перевіримо, чи виконується рівність (3) для оберненої матриці [8].

$$A_{6,5}A_{6,5}^{-1} = A_{6,5}^{-1}A_{6,5} = \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ця перевірка показала правильність знаходження оберненої матриці.

Порівняємо результат оберненого перетворення $G_{6,5}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \oplus F_1^d(w_2) \\ F_2^d(w_2) \end{bmatrix}$ на основі запропонованої моделі (1), (2) з результатом побудови оберненої матриці, що побудована на основі теорії блочних матриць (7).

$$G_{6,5}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \oplus F_1^d(w_2) \\ F_2^d(w_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{6,5}^d(w_1) \oplus F_{6,5}^d(w_2) \\ F_{6,3}^d(w_2) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} w_{1,1} \oplus w_{1,2} \oplus w_{2,1} \oplus w_{2,2} \\ w_{1,2} \oplus w_{2,2} \\ w_{2,1} \oplus w_{2,2} \\ w_{2,1} \end{bmatrix}$$

$$G_{6,5}^d = A_{6,5}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Перетворення на основі запропонованої моделі (1), (2) є коректним, оскільки результати розрахунків (7) та (8) збіглися.

Нехай $G^k = G_{5,6}^k$, $F_1^k = F_{6,5}^k$, $F_2^k = F_{6,3}^k$.

Оскільки $G_{5,6}^k \rightarrow G_{6,3}^d$, $F_{6,5}^k \rightarrow F_{6,5}^d$, $F_{6,3}^k \rightarrow F_{5,6}^d$, то відповідно до (1), (2) отримаємо:

$$\text{для } G_{5,6}^k = \begin{bmatrix} F_2^k(z_2) \\ F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \end{bmatrix} \text{ обернене}$$

$$\text{перетворення буде } G_{6,3}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \oplus F_1^d(w_2) \\ F_2^d(w_1) \end{bmatrix}.$$

Згідно з даними (табл.1–2) [4] представимо матрицю A .

$$G_{5,6}^k = \begin{bmatrix} F_2^k(z_2) \\ F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{6,3}^k(z_2) \\ F_{6,5}^k(z_1) \oplus F_{6,3}^k(z_2) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} z_{2,1} \oplus z_{2,2} \\ z_{2,1} \\ z_{1,1} \oplus z_{1,2} \oplus z_{2,1} \oplus z_{2,2} \\ z_{1,2} \oplus z_{2,1} \end{bmatrix}$$

$$G_{5,6}^k = A_{5,6} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Для цього випадку згідно з (5), (6) матриця $A_{5,6}$ – вироджена.

А згідно з [8] для існування оберненої матриці A^{-1} потрібно виконання умови невиводженості матриці A .

У випадках обмежень на математичний апарат блочних матриць скористаємося математичним апаратом перевірки коректності синтезованої оберненої матриці. Представимо обернену матрицю на основі запропонованої моделі (1), (2) та перевіримо, чи виконується рівність (3) для оберненої матриці [8].

Результат оберненого перетворення запропонованої моделі (1), (2) буде наступним:

$$G_{6,3}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \oplus F_1^d(w_2) \\ F_2^d(w_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{6,5}^d(w_1) \oplus F_{6,5}^d(w_2) \\ F_{5,6}^d(w_1) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} w_{1,1} \oplus w_{1,2} \oplus w_{2,1} \oplus w_{2,2} \\ w_{1,2} \oplus w_{2,2} \\ w_{1,2} \\ w_{1,1} \oplus w_{1,2} \end{bmatrix}$$

$$G_{6,3}^d = A_{6,3}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Провівши відповідні математичні обчислення, підставивши у вираз (3) отримані результати, перевіримо, чи виконується рівність для оберненої матриці [8].

$$\begin{aligned}
 A_{5,6}A_{6,3}^{-1} &= A_{6,3}^{-1}A_{5,6} = \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Цей результат показав правильність знаходження оберненої матриці за допомогою запропонованої моделі.

Нехай $G^k = G_{3,6}^k$, $F_1^k = F_{3,6}^k$, $F_2^k = F_{5,6}^k$.

Оскільки $G_{3,6}^k \rightarrow G_{3,6}^d$, $F_{3,6}^k \rightarrow F_{3,6}^d$, $F_{5,6}^k \rightarrow F_{6,3}^d$, то відповідно до (1), (2) отримаємо:

$$\begin{aligned}
 \text{для } G_{3,6}^k &= \begin{bmatrix} F_1^k(z_1) \\ F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \end{bmatrix} \text{ обернене} \\
 \text{перетворення буде } G_{3,6}^d &= \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \\ F_2^d(w_1) \oplus F_2^d(w_2) \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Знайдемо матрицю A для цього випадку.

$$\begin{aligned}
 G_{3,6}^k &= \begin{bmatrix} F_1^k(z_1) \\ F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \end{bmatrix} = \\
 \begin{bmatrix} F_{3,6}^k(z_1) \\ F_{3,6}^k(z_1) \oplus F_{5,6}^k(z_2) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} z_{1,1} \\ z_{1,1} \oplus z_{1,2} \\ z_{1,1} \oplus z_{2,2} \\ z_{1,1} \oplus z_{1,2} \oplus z_{2,1} \oplus z_{2,2} \end{bmatrix} \\
 G_{3,6}^k = A_{3,6} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Обернену матрицю $A_{3,6}^{-1}$ до матриці $A_{3,6}$ знайдемо згідно з випадком (5):

$$\begin{bmatrix} A & 0 \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & 0 \\ -D^{-1}CA^{-1} & D \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Побудуємо обернену матрицю на основі попередніх розрахунків:

$$\begin{aligned}
 A_{3,6}^{-1} &= \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A^{-1} & 0 \\ -D^{-1}CA^{-1} & D \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)
 \end{aligned}$$

Перевіримо виконання рівності (3) для оберненої матриці [8].

$$\begin{aligned}
 A_{3,6}A_{3,6}^{-1} &= A_{3,6}^{-1}A_{3,6} = \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix} = \\
 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Ця перевірка показала правильність знаходження оберненої матриці.

Порівняємо результат оберненого перетворення $G_{3,6}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \\ F_2^d(w_1) \oplus F_2^d(w_2) \end{bmatrix}$ на основі (1), (2) з результатом побудови оберненої матриці, що побудована на основі теорії блочних матриць (10).

$$\begin{aligned}
 G_{3,6}^d &= \begin{bmatrix} F_1^d(w_1) \\ F_2^d(w_1) \oplus F_2^d(w_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{3,6}^d(w_1) \\ F_{6,3}^d(w_1) \oplus F_{6,3}^d(w_2) \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{1,1} \oplus w_{1,2} \\ w_{1,1} \oplus w_{1,2} \oplus w_{2,1} \oplus w_{2,2} \\ w_{1,1} \oplus w_{2,1} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$G_{3,6}^d = A_{3,6}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Перетворення на основі (1), (2) є коректним, оскільки результати розрахунків (10) та (11) збіглися.

Нехай $G^k = G_{6,3}^k$, $F_1^k = F_{5,6}^k$, $F_2^k = F_{6,3}^k$.

Оскільки $G_{6,3}^k \rightarrow G_{5,6}^d$, $F_{5,6}^k \rightarrow F_{6,3}^d$,
 $F_{6,3}^k \rightarrow F_{5,6}^d$, то згідно з (1), (2) отримаємо:

$$\text{для } G_{6,3}^k = \begin{bmatrix} F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \\ F_1^k(z_1) \end{bmatrix} \text{ обернене}$$

перетворення буде $G_{5,6}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_2) \\ F_2^d(w_1) \oplus F_2^d(w_2) \end{bmatrix}$.

Перевіримо коректність побудованого оберненого перетворення.

Згідно з даними (табл. 1–2) [4] представимо матрицю $A_{6,3}$.

$$G_{6,3}^k = \begin{bmatrix} F_1^k(z_1) \oplus F_2^k(z_2) \\ F_1^k(z_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{5,6}^k(z_1) \oplus F_{6,3}^k(z_2) \\ F_{6,5}^k(z_1) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} z_{1,2} \oplus z_{2,1} \oplus z_{2,2} \\ z_{1,1} \oplus z_{1,2} \oplus z_{2,1} \\ z_{1,2} \\ z_{1,1} \oplus z_{1,2} \end{bmatrix}$$

$$G_{6,3}^k = A_{6,3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Для цього випадку згідно з (5), (6) матриця $A_{6,3}$ – вироджена. Для існування оберненої матриці A^{-1} потрібно виконання умови невиводженості матриці A [8].

Представимо обернену матрицю на основі запропонованої моделі та перевіримо, чи виконується рівність (3) для оберненої матриці [8].

Провівши відповідні математичні обчислення, підставивши у вираз (3) отримані результати, перевіримо, чи виконується рівність для оберненої матриці [8].

$$G_{5,6}^d = \begin{bmatrix} F_1^d(w_2) \\ F_2^d(w_1) \oplus F_2^d(w_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{6,3}^d(w_2) \\ F_{5,6}^d(w_1) \oplus F_{5,6}^d(w_2) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} w_{2,1} \oplus w_{2,2} \\ w_{2,1} \\ w_{1,2} \oplus w_{2,2} \\ w_{1,1} \oplus w_{1,2} \oplus w_{2,1} \oplus w_{2,2} \end{bmatrix}$$

$$G_{5,6}^d = A_{5,6}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

$$A_{6,3}A_{5,6}^{-1} = A_{5,6}^{-1}A_{6,3} = \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Цей результат показав правильність знаходження оберненої матриці за допомогою запропонованої моделі. Коректність математичної моделі побудови оберненого групового матричного криптографічного перетворення перевірена на повних множинах групових і негрупових операцій (табл. 1, 2) [4].

Слід відзначити, що запропонована модель побудови оберненого групового матричного криптографічного перетворення забезпечує коректний синтез оберненого перетворення при відсутності негрупових операцій на основній діагоналі матриці групової операції. В теорії блочних матриць [8,

9] якщо матриця $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$ – невиводжена з квадратними блоками A і D , то з її невиводженості випливає, що $\det A \neq 0$ і $\det D \neq 0$, якщо ж навпаки, вважається виродженою і обернене перетворення для цієї матриці побудувати неможливо. Також не виконується рівність $AA^{-1} = A^{-1}A = \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix}$ для оберненої матриці [8].

Висновок. У статті на основі узагальнення отриманих результатів розглянуто і теоретично обґрунтовано перевірку коректності запропонованої математичної моделі побудови прямого та оберненого двооперандного групового матричного криптографічного перетворення за допомогою математичного апарату теорії блочних матриць. Знаходження оберненої матриці для двооперандного групового матричного криптографічного перетворення за допомогою запропонованої моделі забезпечує зменшення складності обчислень.

Список літератури

1. Криптографическое кодирование: кол. монографія / под ред. В. Н. Рудницького, В. Я. Мильчевича. Харьков: Щедрая усадьба плюс, 2014. 240 с.
2. Бабенко В. Г., Мельник Р. П., Гончар С.В. Оцінка ефективності використання операцій криптографічного перетворення. *Вісник інженерної академії України*. Вип. 2. Київ, 2014. С. 39–41.
3. Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: монография / под общ. ред. В. М. Безрука, В. В. Баранника. Харьков: Лидер, 2017. 600 с.
4. Рудницький В. М., Сисоєнко С. В., Мельник О. Г., Пустовіт М. О. Дослідження методу підвищення стійкості комп'ютерних криптографічних алгоритмів. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 3. С. 5–10.
5. Бабенко В. Г., Рудницький С. В. Реалізація методу захисту інформації на основі матричних операцій криптографічного перетворення. *Системи обробки інформації*. 2012. № 9 (107). С. 130–139.
6. Сисоєнко С. В., Мельник О. Г., Пустовіт М. О. Синтез операцій оберненого групового матричного криптографічного перетворення інформації. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 4. С. 118–125.
7. Сисоєнко С. В., Мельник О. Г. Дослідження операцій оберненого групового матричного криптографічного перетворення інформації. *Наука у контексті сучасних глобалізаційних процесів: Міжнарод. наук.-практ. конф. (19 листопада 2017 р.)*. Т. 10. Полтава, 2017. С. 44–46.
8. Наконечний С. І., Терещенко Т.О., Романюк Т. П. Економетрія: підручник. Вид. 3-тє, доп. та перероб. Київ: КНЕУ, 2004. 520 с.
9. Фадеев Д. К. Лекции по алгебре: учебное пособие для вузов. Москва: Наука, 1984. 416 с.
10. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. 5-е изд. Москва: Физматлит, 2004. 560 с.

References

1. Cryptographic coding (2014): a collective monograph under the ed. of V. N. Rudnitsky, V. Y. Milcevich. Kharkiv: Schedraya Usadba Plus, 240 p. [in Russian].
2. Babenko, V. G., Melnyk, R. P. and Gonchar, S.V. (2014) Evaluating the effectiveness of using cryptographic transformation operations. *Visnyk inzhenernoyi akademiyi Ukrainy*, No. 2. Kyiv, pp. 39–41 [in Ukrainian].
3. High technologies in infocommunications: information processing, cybersecurity, information struggle (2017): monograph under the ed. of V. M. Bezruk, V. V. Barannyk. Kharkov: Lider, 600 p. [in Russian].
4. Rudnitsky, V. M., Sysoenko, S. V., Melnyk, O. G. and Pustovit, M. O. (2017) Investigation of the method of increasing the stability of computer cryptographic algorithms. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 5–10 [in Ukrainian].
5. Babenko, V. G. and Rudnitsky, S. V. (2012) Realization of the method of information protection on the basis of matrix operations of cryptographic transformation. *Systemy obrobky informatsiyi*, No. 9 (107), pp. 130–139 [in Ukrainian].
6. Sysoenko, S. V., Melnyk, O. G. and Pustovit, M. O. (2017) Synthesis of operations of inverse group matrix cryptographic information transformation. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 118–125 [in Ukrainian].
7. Sysoenko, S. V. and Melnyk, O. G. (2017) Investigation of operations of inverse group matrix cryptographic information transformation. *Nauka u konteksti suchasnyh hlobalizatsiynyh procesiv: Internat. sci.-pract. conf. Vol. 10. Poltava*, pp. 44–46 [in Ukrainian].
8. Nakonechny, S. I., Tereshchenko, T. O. and Romanyuk, T. P. (2004) Econometrics. 3rd ed. Kyiv: KNEU, 520 p. [in Ukrainian].
9. Fadeev, D. K. (1984) Lectures on algebra. Moscow: Nauka, 416 p. [in Russian].
10. Gantmacher, F. R. (2004) Theory of matrices. 5th ed. Moscow: Fizmatlit, 560 p. [in Russian].

Ye. V. Lanskykh, *Ph.D., associate professor,*
associate professor of the department of information security and computer engineering
e-mail: yevhenlanskykh@gmail.com,

S. V. Sysoienko, *assistant lecturer*
of the department of information security and computer engineering
e-mail: s.sysoienko@gmail.com,

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

STUDY OF MATHEMATICAL MODEL OF TWO-OPERAND GROUP MATRIX CRYPTOGRAPHIC TRANSFORMATION

The article considers and theoretically substantiates the results of checking the correctness of the proposed mathematical model for constructing a direct and inverse two-operand group matrix cryptographic transformation using mathematical apparatus of block matrix theory. According to the results of the research, the correctness of mathematical model for constructing an inverse group matrix cryptographic transformation has been established, which is tested on complete sets of group and non-group operations. The proposed model for constructing an inverse group matrix cryptographic transformation provides the correct synthesis of inverse transformation in the absence of non-group operations on the main diagonal of the matrix of group operation. The obtained results confirm the correct construction of inverse transformation on the basis of the proposed model, the implementation of which provides a reduction in the complexity of calculations. This result has shown the correctness of finding the inverse matrix with the help of proposed model.

Key words: *direct and inverse cryptographic transformation, two-operand cryptographic transformations, model correctness, matrix operation.*

Л. Д. Мисник, к.т.н., доцент

e-mail: l.mysnyk@chdtdtu.edu.ua

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

УПРАВЛІННЯ ФОРМУВАННЯМ ТА РЕАЛІЗАЦІЄЮ ПІДГОТОВКИ І ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ

Стаття присвячена пошуку нових форм та методів навчання, вдосконаленню тестових технологій з метою їх відповідності європейським вимогам та можливості управління формуванням та реалізацією підготовки і проведення контролю знань при дистанційному навчанні. Представлено метод управління тестовими технологіями, що реалізується через функції організації, планування і моніторингу. Запропонований метод базується на відображенні процесів управління в дводольних графах з подальшим розрахунком моделі реалізації дії шляхом слідування активності між статичними та динамічними елементами цих технологій.

Ключові слова: дистанційні технології навчання, методи управління інформаційними технологіями, тестові технології та контроль знань.

Постановка проблеми. Третє тисячоліття ставить перед нашою країною нові завдання і вимагає пошуку шляхів для їх вирішення. Одним із таких завдань є інтеграція України у світову економіку, що неможливо без спеціалістів з високим рівнем кваліфікації. Особлива роль у цьому процесі належить вищим навчальним закладам. В умовах науково-технічного прогресу підвищуються вимоги до спеціалістів, якості їх знань, навиків і вмінь, здатності ефективно працювати в умовах світової інтеграції. Для здійснення цього традиційними засобами необхідні значні затрати на закордонні відрядження, організацію міжнародних зустрічей та конференцій, запрошення іноземних викладачів, що за нинішньої соціально-економічної ситуації в Україні є досить проблематичним. Вирішувати цю проблему значною мірою покликані сучасні інформаційні та телекомунікаційні технології, технології дистанційного навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом виконано чимало досліджень щодо проблеми впровадження дистанційних технологій у навчальний процес навчальних закладів різних типів, зокрема, наукове забезпечення дистанційної професійної освіти, проблеми та напрями досліджень (В. Биков, М. Михальченко, Л. Лещенко, П. Стефаненко) [1–3]; теоретико-методологічні основи дистанційної освіти (В. Олійник, В. Жулькевська, Н. Жевакіна, М. Танась, П. Таланчук, та ін.) [4–6]; психолого-педаго-

гічні аспекти і технології створення дистанційного курсу (В. Кухаренко, Т. Олійник, О. Рибалко, Н. Сиротенко, А. Петренко, М. Бесєдіна та ін.) [7]; можливості й перспективи дистанційного навчання у вищих навчальних закладах України та за кордоном, створення електронних навчальних курсів та електронних тестів (Р. Гуревич, В. Жулькевська, П. Стефаненко, В. Вишнівський та ін.) [8, 9].

Однак деякі аспекти впровадження технологій дистанційного навчання, зокрема ті, що стосуються управління формуванням і реалізацією підготовки та проведення контролю знань при дистанційному навчанні, потребують доопрацювання.

Мета роботи – розробка методу управління формуванням та реалізацією підготовки і проведення контролю знань, що дасть змогу швидко і оперативно адаптувати процеси дистанційного навчання до рівня знань студентів, забезпечити формування повної, достовірної, своєчасної інформації про хід засвоєння знань. Це актуально і в зв'язку з потребою розробки навчально-методичного забезпечення підготовки фахівців за цією системою, зокрема тестів та навчального матеріалу.

Основний матеріал досліджень. Досвід застосування інформаційних технологій свідчить про необхідність створення систем тестування на базі деякого інструментального програмного середовища з нарощуванням навколо нього інших функціональних і забезпечуючих компонентів. За такий базис пропо-

нується взяти модульне об'єктно-орієнтоване динамічне навчальне середовище – Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment). Це безкоштовна веб-платформа дистанційного навчання з відкритим кодом, основи якої були закладені в 90-х роках Мартіном Доуджіамосом (Martin Dougiamas, Австралія). З того часу зусиллями великої кількості фахівців з усього світу цей проект пройшов значний шлях розвитку, і продовжує інтенсивно розвиватися і сьогодні [10].

В результаті Moodle став найпопулярнішою і найбільш досконалою системою дистанційного навчання у світі, якою на даний момент користуються тисячі користувачів у більш ніж 200 країнах світу. Moodle перекладений понад 70 мовами, включно з українською, і є основною веб-платформою дистанційного навчання, рекомендованою Українським інститутом інформаційних технологій в освіті.

Але система тестування для поточного і підсумкового контролю знань студентів – це не тільки і не скільки програмний комплекс. Це, в першу чергу, чітка організація всіх дій з підготовки тестів, організації тестування та проведення тестування студентів. Виділення з сукупності наведених задач лише задачі розробки програм тестування і її вирішення у відриві від наведених, порушує системність вдосконалення навчального процесу. Потрібна цілісна упорядкована система зв'язків наступності між процесами тестової технології, яка забезпечить організацію, планування, проведення і використання результатів тестування [11]. Потрібно управління технологією.

Для управління процесами формування та реалізації підготовки і проведення контролю знань студентів необхідно використати методи планування. В практиці управління для цього найчастіше використовують сітьові моделі. Та для вирішення поставленої задачі краще застосувати моделі, які містять три типи об'єктів: екземпляри інформаційного представлення (сукупність документів, таблиць баз даних, описів та ін., які відображають інформаційне середовище процесу навчання студентів і формуються в процесі тестування студентів), процедури породження нової інформації (сукупність взаємопов'язаних дій, пов'язаних з класифікацією, інтеграцією, зіставленням, оцінюванням, виконанням операцій над параметрами екземплярів інформаційних представлень, що поро-

джує нову інформацію) та зв'язки між ними. Для моделювання процесів формування інформаційного ресурсу процесу навчання і контролю знань використаємо дводольні граfi, які дають змогу відобразити процеси взаємодії трьох типів об'єктів.

Щоб розробити методи управління, які базуються на плануванні процедур породження нової інформації та екземплярів інформаційного представлення, необхідно спочатку створити структуру задач і наповнити її змістом (табл. 1).

Таблиця 1

Структура задач по підготовці тестів та тестуванню студентів

№ з/п	Задача
1	Створення та реалізація тестових технологій навчання
1.1	Підготовка тестових завдань
1.1.1	Організація підготовки
1.1.2	Підготовка засобів тестування
1.1.3	Підготовка робочих програм дисциплін відповідно до умов реалізації тестових технологій
1.1.4	Планування розробки тестів
1.1.5	Створення тестів
1.1.6	Формування інформаційного середовища тестування
1.1.7	Звітування про виконання
1.2	Тестування студентів
1.2.1	Розробка плану тестування
1.2.2	Підготовка студентів до тестування
1.2.3	Тестування
1.2.4	Обробка результатів тестування
1.2.5	Моніторинг тестових технологій
1.2.6	Звітування про виконання плану

Процеси наповнення інформаційного ресурсу при формуванні та реалізації підготовки і проведенні контролю знань студентів представимо через дводольні граfi D , які містять вершини (L – ліва підмножина вершин дводольного графа і P – права підмножина) та Z – зв'язки наступності (ребра) в дводольному графі.

Задаємося параметрами вершин та ребер.

Вершини типу L (ліва підмножина вершин графа) – це дії по реалізації чи управлінню тестовою технологією. Вершини типу P

(права підмножина вершин) – екземпляри інформаційних представлень, які є результатом реалізації дій і являють собою інформаційний ресурс системи навчання і тестового контролю знань.

Зв'язки в такій моделі відображають порядок формування і використання інформації в процесах навчання і тестового контролю знань та задають терміни формування екземплярів інформаційного представлення і початку реалізації дій. Метод полягає у виконанні наступних моментів.

1. Сформованість екземпляра інформаційного представлення оцінюється за максимальним часом завершення дій, які передують цьому формуванню:

$$t(p_j) = \max_{z(l_i, p_j)=1} (t(l_j)),$$

де $p_j \in P$ – вершина правої підмножини P дводольного графа;

$l_i \in L$ – вершина лівої підмножини L дводольного графа;

$t(p_j)$ – момент часу сформованості екземпляра інформаційного представлення, що відповідає вершині p_j ;

$t(l_j)$ – момент часу завершення виконання дій у технології навчання і контролю чи в процесах управління тестовою технологією, що відповідає вершині l_i ;

$z(l_i, p_j)$ – функція, що визначає наявність зв'язку (ребра) між вершинами l_i, p_j (1 – зв'язок є, 0 – зв'язку немає).

2. Завершення виконання дій у технології навчання і тестового контролю знань чи в процесах управління технологією визначається за максимальним часом сформованості відповідного екземпляра інформаційного представлення:

$$t(l_k) = \max_{z(p_s, l_k)=1} (t(p_s)).$$

Реалізація методу управління процесами навчання і тестового контролю знань полягає у виконанні наступних дій.

– Створення дводольного графа, ліва підмножина L вершин якого відображає процедури по реалізації технології навчання і тестового контролю знань. Права підмножина P відповідає результатам реалізації цих дій. Ребра дводольного графа означають порядок і умови виконання дій по формуванню елементів процесу.

– Розрахунок планових моментів часу початку виконання дій і формування елементів тестової технології.

Якщо розраховані показники часу виконання окремих підмножин дій влаштовують учасників процесу – затвердження плану.

– Визначення підмножини елементів тестової технології $P^* = \{p_k^*, k = 1, N^*, \text{ час формування яких не влаштовує учасників тестування.}$

– Вибір підмножини $P^{**} = \{p_y^{**}, y = 1, N^{**}$ підмножини P^* , в якій елементи тестової технології можуть бути сформовані без отримання інших елементів множини:

$$\forall p_y^{**} \in P^{**}, p_l^* \in P^*, m, \bar{l}_l \in L, \bar{p}_{q_j} \in P^*:$$

$$z(p_y^{**}, \bar{l}_l) \cdot \prod_{j=1}^{m-1} \left[z(\bar{l}_l, \bar{p}_{q_j}) \cdot z(\bar{p}_{q_j}, l_{j+1}) \right] \cdot z(\bar{l}_m, p_l^*) = 0.$$

– Виконання від дії l_{i_1} до дії l_{i_m} . І коли для всіх шляхів (всіх проміжних продуктів $\forall \bar{p}_{q_j} \in P^*$) (m – кількість проміжних вершин графа) добуток дорівнює 0, це означає, що шляхів немає.

– Вибір з підмножини P^{**} того елемента, який формується найраніше:

$$p_z^{**} \in P^{**} \Rightarrow t(p_z^{**}) \leq t(p_x^{**}), x = 1, N^{**}.$$

– Знаходження необхідного моменту часу формування елемента тестової технології $p_z^{**} - t_0(p_z^{**})$.

– Внесення змін в дії, які приводять до створення елемента тестової технології p_b^{**} в момент часу, більший ніж $t_0(p_z^{**})$:

$$\forall p_b^{**} \in P^{**}, t(p_z^{**}) > t_0(p_b^{**}).$$

– Розрахунок нових моментів часу виконання дій і формування елементів тестової технології.

Представлений метод дає змогу створити раціональний план виконання дій в навчальній і тестовій технології, починаючи процес з найбільш незалежних елементів технології, та створити систему дистанційного навчання і тестування, що включатиме компоненти, які забезпечать:

- регламентацію (організацію) робіт з підготовки тестів і тестування студентів;
- створення тестів та розміщення їх на сторінках навчальних дисциплін;
- автоматичну ідентифікацію і верифікацію осіб, що проходять тестування;

- контроль за роботою системи тестування;
- статистичну обробку та відображення результатів тестування;
- моніторинг результатів тестування.

На рис. 1 і 2 показано графи взаємодії в процесах підготовки засобів тестування та розробки тестів як приклади детального виконання задач табл. 1.



Рис. 1. Граф взаємодії в процесі підготовки засобів тестування

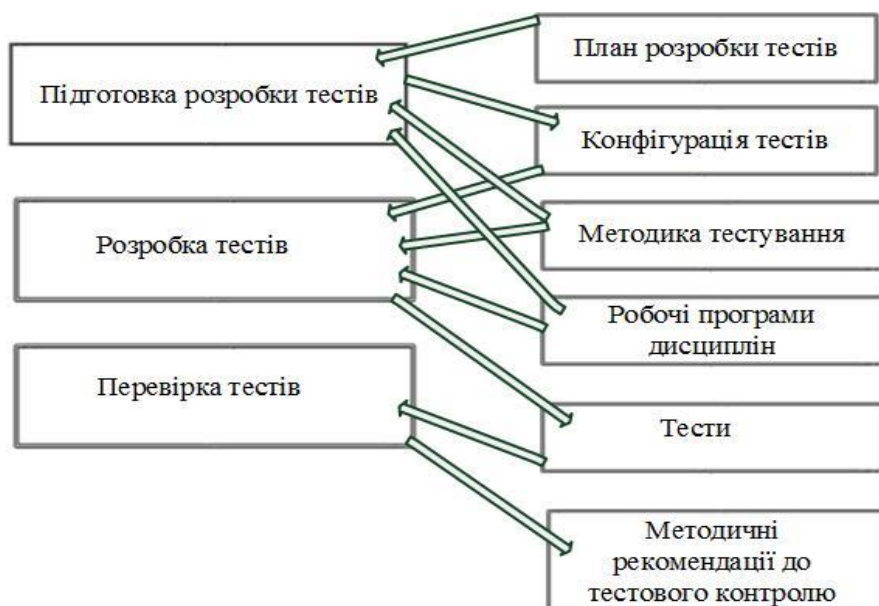


Рис. 2. Граф взаємодії в процесі розробки тестів

Висновок. Запропоновано метод управління формуванням та реалізацією підготовки і проведення тестового контролю знань при дистанційному навчанні студентів на основі сучасних інструментальних програмних середовищ. Основними критеріями вибору засобів тестування були: відкритість, безкоштовність, простота використання. Таким критеріям відповідає безкоштовна веб-платформа дистанційного навчання Moodle.

Визначено специфіку управління навчальними і тестовими інформаційними технологіями. Виділення в технології навчання компонента управління дає змогу представити реалізацію технології дистанційного навчання і тестування на рівнях управління і навчання як сукупність методів і засобів взаємодоповнюючого перетворення інформації, що використовується як для навчання, так і для управління вищим навчальним закладом. Це забезпечить якісний процес взаємодії в середовищі знань суб'єктів навчання та дозволить ефективно автоматизувати процес підготовки фахівців у вищих навчальних закладах України.

Список літератури

1. Биков В. Ю. Структура актуальних напрямків (тематики) досліджень проблем дистанційної професійної освіти. *Вісник Академії дистанційної освіти*. 2003. № 1. С. 22–26.
2. Биков В. Ю., Кухаренко В. М., Сиротенко Н. Г., Рибалко О. В., Богачков Ю. М. Технології розробки дистанційного курсу: навч. посіб. Київ: Міленіум, 2008. 324 с.
3. Михальченко М. Освіта і наука: пошуки нових парадигм модернізації. *Вища освіта України*. 2001. № 2. С. 14–23.
4. Олійник В. В. Теоретичні та методичні засади розвитку системи підвищення кваліфікації працівників профтехосвіти на основі дистанційних технологій: навч. посіб. НАПН України, Ун-т менедж. освіти. Київ, 2010. 268 с.
5. Жулкевська В. Теоретико-методологічні основи дистанційного навчання. *Педагогіка і психологія професійної освіти*. 2002. № 1. С. 52–59.
6. Жевакіна Н. В. Ефективність дистанційних технологій навчання. *Освіта Донбасу*. 2004. № 2. С. 73–78.
7. Кухаренко В. М., Березенська С. М., Бугайчук К. Л., Олійник Н. Ю., Олійник Т. О., Рибалко О. В., Сиротенко Н. Г., Столяревська А. Л. Теорія та практика змішаного навчання: монографія. Харків: Міськдрук, НТУ «ХПІ», 2016. 284 с.
8. Стефаненко П. Теоретичні і методичні засади дистанційного навчання у вищій школі: дис. д-ра пед. наук: 13.00.04. Київ, 2002. 470 с.
9. Вишнівський В. В., Гніденко М. П., Гайдур Г. І., Ільїн О. О. Організація дистанційного навчання. Створення електронних навчальних курсів та електронних тестів: навч. посіб. Київ: ДУТ, 2014. 140 с.
10. Анисимов А. М. Работа в системе дистанционного обучения Moodle: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Харьков: ХНАГХ, 2009. 292 с.
11. Лізунов П. П., Тесля Ю. М., Білошицький О. А., Щербина А. О., Білошицька С. В., Мисник Л. Д. Організаційні аспекти системи тестування для проміжного і підсумкового контролю знань студентів. *Інформаційні технології в освіті: зб. наук. пр.* Вип. 4. Херсон: Вид-во ХДУ, 2009. 288 с.
12. Bykov, V. Yu. (2003) Structure of actual directions (topics) of research of problems of distance professional education. *Visnyk Akademii dystantsiinoi osvity*, No. 1, pp. 22–26 [in Ukrainian].
13. Bykov, V. Yu., Kuharenko, V. M., Syrotenko, N. H., Rybalko, O. V. and Bohachkov, Yu. M. (2008) Technologies of development of remote course. Kyiv: Milenium, 324 p. [in Ukrainian].
14. Mychalchenko, M. (2001) Education and science: in search of a new modernization paradigm. *Vyshcha osvita Ukrainy*, No. 2, pp. 14–23 [in Ukrainian].
15. Oliynyk, V. V. (2010) Theoretical and methodological bases of the development of the system of professional skills of professional education workers on the basis of remote technologies. Ukrainian National Pedagogical Academy, Economy Studies University, Kyiv, 268 p. [in Ukrainian].
16. Zhulkevskaya, V. (2002) Remote education theoretical and methodological bases.

References

- Pedahohika i psykholohiia profesiinoi osvity*, No. 1, pp. 52–59 [in Ukrainian].
17. Zhevakina, N. V. (2004) Effectiveness of remote educational technologies. *Osvita Donbasu*, No. 2, pp. 73–78 [in Ukrainian].
 18. Kuharenko, V. M., Berezenska, S. M., Buhaychuk, K. L., Oliynyk, N. Yu., Oliynyk, T. O., Rybalko, O. V., Syrotenko, N. H. and Stolyarevska, A. L. (2016) Theory and practice of combined education: monograph. Kharkiv: Miskdruk, NTU «KhPI», 284 p. [in Ukrainian].
 19. Stephanenko, P. (2002) Theoretical and methodological bases of remote high education: diss. for D.Sc.: 13.00.04, Kyiv, 470 p. [in Ukrainian].
 20. Vyshnivsky, V. V., Hnidenko, M. P., Haydur, H. I. and Ilyin, O. O. (2014) Organization of distance learning. Creating e-learning courses and electronic tests. Kyiv: DUT, 140 p. [in Ukrainian].
 21. Anisimov, A. M. (2009) Work in the Moodle distance learning system. 2nd ed.. Kharkiv: KhNAHKh, 292 p. [in Russian].
 22. Lizunov, P. P., Teslya, Yu. M., Byloshytsky, O. A., Shcherbyna, A. O., Byloshchyska, S. V. and Mysnyk, L. D. (2009) Organizational aspects of the testing system for intermediate and final student knowledge control. *Informatsiini tekhnolohii v osviti*, vol. 4, Kherson, Vyd-vo KhDU, 288 p. [in Ukrainian].

L. D. Mysnyk, Ph.D., associate professor
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
e-mail: l.mysnyk@chdtu.edu.ua

MANAGEMENT BY FORMATION AND IMPLEMENTATION OF TRAINING AND KNOWLEDGE CONTROL AT DISTANCE LEARNING OF STUDENTS

The article is devoted to the search for new forms and methods of teaching, to the improvement of test technologies in order to meet the European requirements and the ability to manage the formation and implementation of training and management of knowledge in distance learning. The method of test technologies management, which is realized through the functions of organization, planning and monitoring, is presented. The proposed method is based on the reflection of management processes in bipartite graphs with a further elaboration of the model of implementation of actions by following the activity between static and dynamic elements of these technologies.

Key words: distance learning technologies, methods of management by information technologies, test technologies and knowledge control.

Т. В. Савельєва, к.т.н, доцент,
e-mail: tam2003@ukr.net

О. М. Панаско, к.т.н, доцент,
e-mail: lena.pa@ukr.net

О. М. Пригодюк
e-mail: prigoduk@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА

Стаття присвячена актуальній проблемі сучасності – розвитку інформаційної безпеки з урахуванням ризик-орієнтованого підходу для вирішення задач управління інформаційною безпекою підприємства. Сучасні тенденції розвитку підприємств обумовлюють необхідність управління ризиками. Авторами досліджено методи та засоби, що дають можливість реалізувати ризик-орієнтований підхід у контексті забезпечення інформаційної безпеки підприємства і провести аналіз та оцінювання інформаційних ризиків системи захисту інформації. В роботі розглянуто серію представників інструментальних засобів, найбільш поширених в зазначеній сфері, а також проаналізовано кілька методологій, за допомогою яких здійснюється оцінювання ризиків, зокрема, методологія аналізу і управління ризиками CRAMM (Великобританія), оцінювання активів і уразливості інформаційної безпеки OCTAVE тощо, а також серію регулятивних документів, серед яких NIST SP800-30 (управління ризиками в системі інформаційних технологій); ISO/IEC 27005:2011 (методи управління ризиками інформаційної безпеки); ENISA (оцінювання ризиків інформаційної безпеки) і багато інших. В роботі представлено аналіз переваг та недоліків програмного забезпечення для визначення і оцінювання ризиків інформаційної безпеки (CRAMM, CORAS, Risk Watch, OCTAVE, Oracle Crystal Ball) і сформовано ряд рекомендацій щодо доцільності застосування розглянутих програмних засобів та управляючої документації з урахуванням відповідних потреб і критеріїв підприємств та організацій.

Ключові слова: інформаційні технології, інформаційна безпека, загрози, вразливість, інформаційні ризики, оцінювання ризику.

Постановка проблеми. Актуальність теми обумовлена тим, що протягом останніх років інформація стала відігравати важливу роль в усіх сферах людського життя, що пов'язано з поступовим становленням інформаційного суспільства.

В умовах сьогодення для підвищення показників ефективності і працездатності складних систем застосовують сучасні інформаційні технології та системи, внаслідок чого інформація виступає універсальним товаром для взаємовідносин між різними структурами підприємства чи організації. Питання її захисту набувають великої актуальності. Особливе значення відводиться оптимальному проектуванню систем захисту, що дозволяє з найбільшою ймовірністю вибирати найкращі рішення на множині альтернатив. В наші часи це стає актуальним для більшості підпри-

ємств, оскільки правильно спроектована і впроваджена система захисту буде запорукою успішного функціонування і конкурентоспроможності всієї організації.

Зважаючи на ускладнення комп'ютерних систем і збільшення кількості загроз, виникає потреба в оцінюванні інформаційної безпеки таких систем.

Оцінювання ризиків порушення інформаційної безпеки є однією з найважливіших складових процесу управління інформаційною безпекою. В результаті питання необхідності оцінювання ризиків інформаційної безпеки для побудови ефективних систем захисту інформації на підприємстві є актуальним. Згідно зі стандартом ISO/IEC 17799:2000 [1] оцінювання ризиків інформаційної безпеки визначається як систематичний аналіз можливої шкоди, що завдається бізнесу в результаті

порушень інформаційної безпеки, з урахуванням можливих наслідків від втрати конфіденційності, цілісності або доступності інформації та інших ресурсів і ймовірності настання такого порушення, враховуючи існуючі загрози, вразливості, а також впроваджені заходи захисту [1].

Існує цілий ряд методів оцінювання ризиків, зокрема, *CRAMM*, *CORAS*, *Risk Watch*, *OCTAVE*, *Oracle Crystal Ball*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день дослідженням в галузі забезпечення інформаційної безпеки в комп'ютерних системах та мережах приділяється велика увага. В цьому контексті слід відзначити роботи Замули А. А., Северінова О. В., Корнієнка М. О., Гарасима Ю. Р., Ромака В. А., Рибія М. М., Левадного С. М. та інших.

В [2] автори дослідили ризики інформаційної безпеки, провели аналіз моделей на основі матриці системи управління інформаційною безпекою, включаючи якісні й кількісні шкали, а також на базі теорії нечітких множин. Автори праці [3] займалися вирішенням задачі управління ризиками інформаційної безпеки в процесі забезпечення властивості живучості систем. Переваги та недоліки методів оцінювання інформаційних ризиків (ІР) можна спостерігати в праці [4] Левадного С. М.

В цьому напрямку також слід відзначити роботи Юдіна О. К., Горбенка І. Д., Домарьова В. В., Корченка О. Г., Луцького М. Г. Досліджувана проблематика знайшла своє відображення і в багатьох працях зарубіжних вчених, таких як Астахов А. М., Daniel Wentre, Thomas R., Whitman M. E. Abdallah, Vicki Chen, H. Sassanein, Sanjay Goel та ін.

Динамічність ринкового середовища, виникнення кризових ситуацій, зміни в системі функціонування і розвитку підприємств та організацій, поява нових серйозних загроз інформаційній безпеці спричиняють виникнення нових питань і проблем, які супроводжують запровадження інформаційних технологій та їх захист, а тому потребують більш глибокого аналізу та вивчення можливих шляхів їх подолання.

Метою роботи є дослідження та аналіз методів і засобів з метою реалізації ризикорієнтованого підходу для проектування ефективної системи захисту інформації підп-

приємств та організацій і забезпечення їх інформаційної безпеки.

Виклад основного матеріалу. Інформаційні системи і технології являють собою комплекс програмно-технічних засобів і методів виробництва, передачі, обробки та споживання інформації. Метою їх впровадження є створення системи, в якій інформаційні потоки налагоджені таким чином, що користувачі з мінімальними витратами одержують доступ до необхідної інформації в той час, коли вона потрібна, і там, де вона потрібна, а базовими принципами є: релевантність, час та місце [5, 6].

Оскільки інформація перестала бути просто необхідним допоміжним ресурсом для виробництва, а набула відчутної вартісної ваги, яка чітко визначається реальним прибутком, що одержується при її використанні, або розмірами збитку, з різним ступенем ймовірності завданого власнику інформації в разі її спотворення або втрати, проблема забезпечення інформаційної безпеки набула в умовах сьогодення виняткового значення.

Якщо інформація підприємства становить державну таємницю, то процес створення систем захисту інформації (СЗІ) полягає в задоволенні нормативним вимогам із застосуванням спеціального обладнання, програмного забезпечення та залученням спеціалізованих організацій. У комерційних організаціях, в яких наявна інформація, що становить комерційну та професійну таємницю, а також персональна інформація, процес побудови СЗІ повинен ґрунтуватися на аналізі ризиків.

Ризик – функція ймовірності реалізації певної загрози, що використовує деякі уразливості, і величини можливого збитку.

Аналіз інформаційних ризиків – це процес оцінювання ступеня захисту інформаційної системи (ІС) разом з визначенням кількісних (у формі грошових ресурсів) і якісних (рівні ризику: високий, середній, низький) показників ризику. Аналіз ІР здійснюється за допомогою різних інструментів і методів формування процесів захисту інформації. На основі його результатів виділяють найкритичніші ризики, які є небезпечною загрозою і потребують негайного вжиття додаткових захисних заходів.

Аналіз ІР є основою для побудови підсистеми управління інформаційною безпекою підприємства. В ході аналізу та оцінювання

рівня ІР слід дотримуватися таких кроків: ідентифікація інформаційних ресурсів (активів) компанії, що можуть бути об'єктом ризику, можливих загроз активу та визначення рівня загроз безпеці КІС підприємства; оцінювання рівня дієвості засобів контролю безпеки корпоративної системи; оцінювання вразливості корпоративної системи, що розглядається як результат впливу факторів вірогідного рівня сили загрози та рівня дієвості засобів контролю; оцінювання частоти подій втрат від інформаційних ризиків як результату впливу факторів частоти виникнення загрози та вразливості корпоративної системи; оцінювання величини можливих збитків від інформаційних ризиків в корпоративній системі; оцінювання рівня інформаційних ризиків в корпоративній системі як результуючої двох факторів: частоти подій втрат і величини можливих втрат від інформаційних ризиків [7].

Управління ризиками – процес, що включає аналіз ризиків, вибір, реалізацію та оцінювання ефективних і економічних контрзаходів, перевірку встановлення ризиків на прийнятному рівні.

Ризик-орієнтований підхід висвітлює перелік небезпек, робить запобіжні заходи їх уникнення більш осмисленими і цілеспрямованими [8]. Основним завданням ризик-орієнтованого підходу є створення реальних наукових основ організації безпеки складних технічних систем. За оцінками експертів, його впровадження дає змогу за рахунок підвищення ефективності заходів на порядок скоротити витрати на створення безпечних систем (рис. 1).

Ризик-орієнтований підхід до вирішення задач управління інформаційною безпекою лежить в основі всіх міжнародних і галузевих стандартів на системи менеджменту (ISO 27001, ГОСТ Р 27001, СТО БР ІББС, Basel II, UK Turnbull Guidance, SOX, COSO ERM-Integrated Framework і т. д.) і забезпечує суттєві переваги організації, що його застосовує.

Для організацій, які не застосовують ризик-орієнтований підхід до управління інформаційною безпекою, характерні особливості, що зображені на рис. 2.

Мета аналізу ризиків: визначити цілі управління ІБ; оцінити основні критичні області, що негативно впливають на ключові бізнес-процеси організації; розробити ефективні і обґрунтовані рішення для контролю або мінімізації виявлених ризиків; визначити ба-

ланс між можливими збитками від витоку інформації та розміром витрат на ІБ; наочно представити і обґрунтувати структуру витрат на інформаційну безпеку для керівництва.

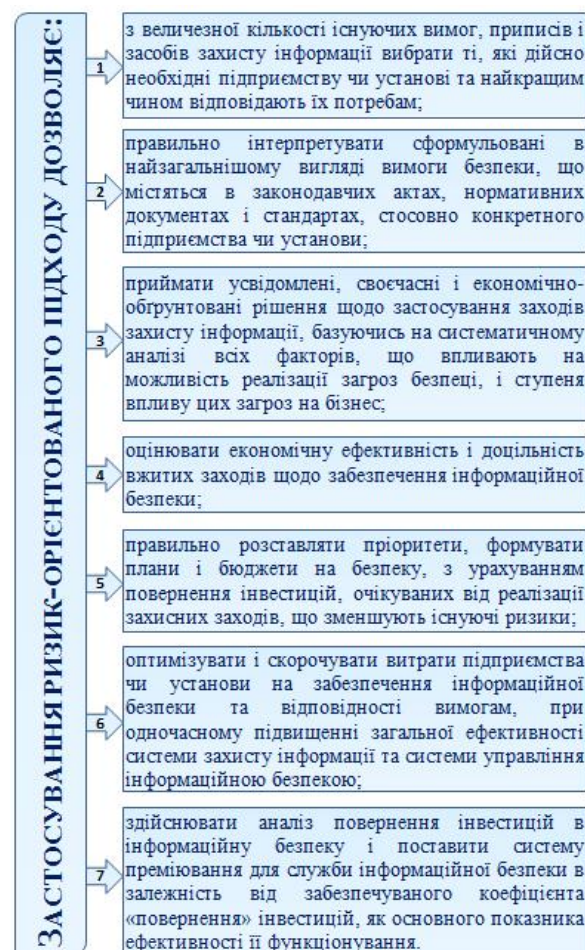


Рис. 1. Переваги ризик-орієнтованого підходу до управління інформаційною безпекою

Методи та засоби оцінювання ІР у систематизованому вигляді зображено на рис. 3.

Метод – систематизована сукупність кроків, дій, які необхідно виконати для розв'язання певного завдання чи досягнення поставленої мети, дати оцінку ризиків [9], тобто метод – це покрокова інструкція у поєднанні з інструментом (програмним продуктом) для оцінювання ризиків. Усі методи оцінювання ризиків можна поділити на кількісні, якісні або комбіновані (поєднання кількісних і якісних методів).

Кількісна оцінка (метод) – величина ризиків, які виражаються в цифрах, наприклад, грошах, часі простою сервера, втраченій вигоді.

Якісна оцінка (метод) – величини ризиків, що характеризуються відносно, наприклад «високий», «середній», «низький» ризик.

Кількісне управління ризиками, пов'язане зазвичай із надзвичайно трудомісткою роботою, яка зрештою не дає відчутного виграшу, все більше поступається місцем якісним методам оцінювання ризиків у сфері захисту інформації. Щодо комбінації кількісних і якісних методів, то вона, вочевидь, поєднує в собі як переваги, так і недоліки обох груп методів [9].

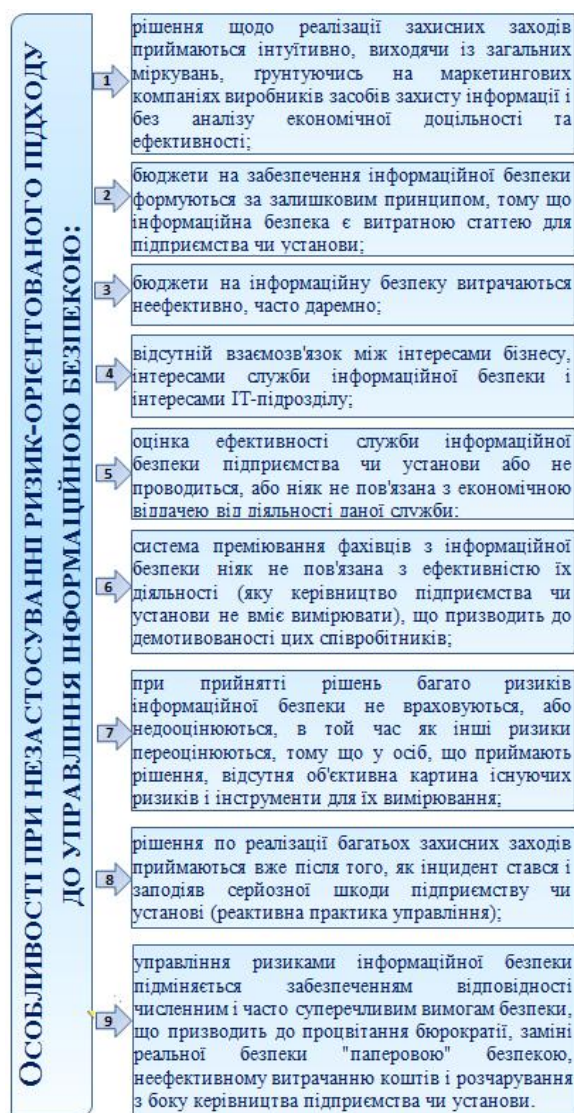


Рис. 2. Наслідки відсутності ризик-орієнтованого підходу при забезпеченні інформаційної безпеки підприємства чи організації

Програмні засоби та методики аналізу ризиків. Інформаційні технології удосконалюються з кожним днем, тому доводиться

підвищувати і якість управління ризиками. Неминуче застарівають одні методики, інші – виникають і удосконалюються, в зв'язку з чим дуже важливо працювати з максимально актуальними на даний момент. В результаті на ринку програм оцінювання ризиків закріплюються лише затребувані аналоги, витісняючи неефективні або такі, що рідко оновлюються.

CRAMM (Великобританія) – британський метод, що має відомий підхід до кількісного і якісного розрахунку ІР. Його основними цілями є: автоматизація управління ризиками, оптимізація фінансових витрат на управління, оптимізація часу на супровід систем безпеки компанії, підтримка безперервності бізнесу [10].

Переваги: метод використовує комплексний підхід до оцінювання ризиків державних і комерційних організацій, застосовує технології оцінювання загроз і вразливостей за непрямыми факторами з можливістю верифікації результатів, має широкую базу знань по контрзаходах і володіє універсальністю і адаптованістю під профілі різних організацій. Розроблено програмні продукти, що реалізують цю методику.

Недоліки: використання методу CRAMM вимагає спеціальної підготовки і високої кваліфікації аудитора, процес є досить трудомістким і може обрховуватись місяцями безперервної роботи аудитора, не дозволяє створювати власні шаблони звітів або модифікувати існуючі. Ця методика припускає використання лише методів зниження рівня ризиків ІБ, такі способи управління ризиками, як «уникнення» або «прийняття», не розглядаються. Програмне забезпечення існує тільки англійською мовою.

CORAS – інструмент, що дозволяє документувати, створювати звіти про результати аналізу шляхом моделювання ризику. У цій методології інформаційні системи представлені як складний комплекс з урахуванням людського фактора, а не тільки на основі використовуваних технологій.

Переваги: програмний продукт, що реалізує цю методологію, є безкоштовним і не потребує значних ресурсів для установки. Методика проста у використанні і не вимагає спеціальних знань.

Недоліки: не передбачена періодичність проведення оцінювання ризиків і оновлення їх величин. CORAS не дозволяє оцінити ефекти-

вність інвестицій, вкладених у впровадження заходів безпеки, так само як не дає можливості знайти необхідний баланс між заходами,

спрямованими на запобігання, виявлення, виправлення або відновлення інформаційних активів.

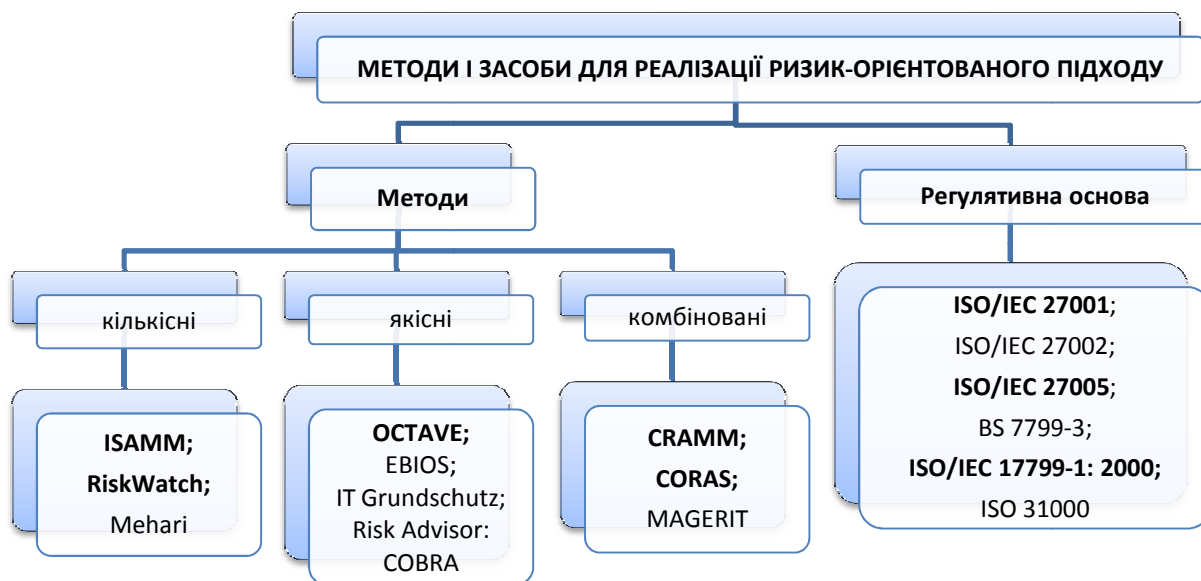


Рис. 3. Методи і засоби для ризик-орієнтованого підходу в контексті забезпечення інформаційної безпеки підприємства

Risk Watch (США) являє собою сімейство програмних продуктів, побудованих на загальному програмному ядрі, які призначені для управління різними видами ризиків та підтримки великого різновиду стандартів.

Переваги: у Risk Watch як критерії для оцінювання та управління ризиками використовуються «очікувані річні втрати» та оцінка «повернення інвестицій». Risk Watch орієнтована на точне кількісне оцінювання співвідношення втрат від загроз безпеці і затрат на створення системи захисту.

Недоліки: Отримані оцінки ризиків (математичне очікування втрат) далеко не вичерпують розуміння ризику з системних позицій – метод не враховує комплексний підхід до інформаційної безпеки [9].

OCTAVE (США) – метод оперативного оцінювання критичних загроз, активів і вразливостей і вказує на те, що персонал несе відповідальність за встановлення стратегії безпеки організації.

Переваги: простота у використанні і наочність вихідних даних; швидке впровадження і використання в організаціях і установах різного профілю; регулярне проведення оцінювання ризиків та оновлення їх величин як частини процесу оцінювання ризиків. Існує програмний продукт, що реалізує положення цієї методики.

Недоліки: не використовується такий спосіб управління ризиками, як обхід (виключення). Метод OCTAVE не дає кількісного оцінювання ризиків інформаційної безпеки, проте якісне оцінювання може бути використане у визначенні кількісної шкали їх ранжування.

Oracle Crystal Ball – додаток до Microsoft Excel для моделювання бізнес-процесів, визначення ризиків, прогнозування невизначених даних і оптимізації результатів. Використання моделювання за методом Монте Карло дає додаткові можливості по оптимізації. Crystal Ball забезпечує можливість моделювання та імітації для здійснення «What-If» аналізу.

Переваги: простота у використанні і наочність вихідних даних [11].

Управляючі документи. Крім методів оцінювання ризиків, використовують управляючі документи, де теоретично описуються і даються методичні вказівки процесу оцінювання ризиків, але не дається конкретних технологій. Найвідоміші стандарти, які використовуються на території України: ISO 27001, ISO 27005, ISO 17799.

ISO/IEC 27001 – міжнародний стандарт, що визначає інформаційну безпеку як збереження конфіденційності, цілісності та доступності інформації та представляє перелік вимог

до системи менеджменту інформаційної безпеки, обов'язкових для сертифікації. Цей стандарт визначає процеси, що дають можливість бізнесу встановлювати, використовувати, переглядати, контролювати і підтримувати ефективну систему менеджменту інформаційної безпеки; встановлює вимоги до розробки, впровадження, функціонування, моніторингу, аналізу, підтримки та вдосконалення документованої системи менеджменту інформаційної безпеки в контексті існуючих бізнес ризиків організації [12].

ISO/IEC 27005 – стандарт, що забезпечує рекомендації для менеджменту ризиків інформаційної безпеки, які включають інформацію і менеджмент ризиків безпеки технологій телекомунікації. Методи, описані в цьому стандарті, відповідають загальним поняттям, моделям і процесам, зазначеним в ISO/IEC 27001. Ці рекомендації призначені, щоб допомогти реалізувати достатню інформаційну безпеку, що ґрунтується на підході менеджменту ризиками. Стандарт є придатним до всіх типів організацій (наприклад комерційні підприємства, урядові агентства, некомерційні організації), що мають намір здійснювати менеджмент ризиками, які ставлять під загрозу інформаційну безпеку організації.

ISO/IEC 17799 – «Управління інформаційною безпекою – Інформаційні технології. – Information technology – Information security management» є найбільш відомим стандартом в сфері захисту інформації.

Цей міжнародний стандарт встановлює рекомендації та загальні принципи для ініціалізації, здійснення, підтримки і поліпшення управління безпекою інформації в установі. Цілі, виділені в цьому міжнародному стандарті, забезпечують загальне керівництво управління безпекою інформації на загальноприйнятих показниках. Цілі управління і контролю цього міжнародного стандарту призначені, щоб виконати і здійснити захист інформації відповідно до ідентифікованої оцінки ризику [1, 12].

Розглянуті методології дозволяють досить лаконічно оцінити весь асортимент пропонуєних засобів оцінювання ризиків в інформаційному середовищі. Всі вони добре справляються з оцінюванням ризиків та їх управлінням, але мають свої недоліки, пов'язані з моніторингом. У жодній системі не передбачається розрахунок оптимального балансу способів управління, не проводиться об-

робка залишкових ризиків, не даються вказівки щодо подальших аналізів ризиків у мережі, не враховується мінливість факторів ризику.

Критерію «Простота використання» не відповідають лише CRAMM і Risk Watch, для успішної і продуктивної роботи з якими необхідне навчання або залучення експертів. До того ж, CRAMM припускає більше часу для аналізу. Решта розглянутих комплексів таких проблем не виявляють, а Crystal Ball навіть є занадто простим у використанні.

Методологія OCTAVE є гнучкою, підприємства та організації можуть використовувати ряд критеріїв для «приладження» програми під свої потреби. OCTAVE не використовує кількісне оцінювання ризиків, але якісне оцінювання досить легко описує кількісний показник.

Дуже важливою повинна бути наявність «What-If» аналізу, тобто оцінювання ситуації при використанні профілю захисту. Це дозволяє підприємству заглянути вперед і оцінити можливі вигоди при використанні спеціальних засобів і дій по захисту інформації. Таке оцінювання дають лише Crystal Ball і Risk Watch.

У методології CRAMM відсутні: інтеграція способів управління і опису їх призначення; перерахунок максимально допустимих величин ризиків; реагування на інциденти. При роботі з ризиками CRAMM використовує тільки методи їх зниження, а такі методи управління ризиками, як «обхід» або «прийняття», не розглядаються.

Однією з переваг для підприємств з обмеженими фінансовими можливостями є безкоштовність використання. CORAS і OCTAVE не вимагають значних ресурсів при застосуванні.

На відміну від CRAMM, програма Risk Watch більш орієнтована на кількісне оцінювання і дає змогу проводити аналіз тільки на програмно-технічному рівні, але не враховує адміністративних чинників, а отже, одержувана оцінка не є повною і не враховує комплексний підхід до безпеки.

Якщо потрібно оцінити ризики одноразово, то доречно застосувати методологію CORAS, а в разі періодичного використання доцільнішою є система CRAMM. OCTAVE буде актуальною у великих організаціях, де постійне оцінювання ризиків є невід'ємною частиною роботи. З низки критеріїв неможливо встановити перевагу того чи іншого засобу оцінювання ризиків, але кожне підприємство

визначає для себе пріоритетні напрямки, за якими і вибирає методику. В ідеалі необхідно отримати не тільки задовільні результати оцінювання, а й зручний у використанні програмний комплекс, який би був інструментом при такому оцінюванні. Природним є бажання отримати ясні результати дослідження, а та-

кож рекомендації щодо зниження ризиків. Інструмент зобов'язаний простежити зв'язок між ризиками і причинами, що призводять до цих ризиків. Саме цим вимогам найбільш задовольняє OCTAVE.

Порівняльну характеристику основних систем аналізу ризиків подано в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння методологій управління інформаційними ризиками

Критерії	CRAMM	CORAS	Risk Watch	OCTAVE	Oracle Crystal Ball
Загальні характеристики					
Розрахованість на організації різного розміру і сфери діяльності	+	+	+	+	+
Автоматизація «What-if»	–	?	+	–	+
Зручність сприйняття графіків і звітів	–	+	–	+	+
Простота використання	–	+	–	+	+
Безкоштовне використання	–	+	–	+	–
Підтримка	+	+	+	+	+
Кількісна оцінка	+	+	+	–	?
Якісна оцінка	+	+	–	+	?
Російська локалізація	–	?	+	?	–
Підвищення інформованості співробітників	–	–	–	+	?
Придатність до регулярного використання	+	–	?	+	?
Використання незалежної оцінки	+	+	?	–	?
Вхідні дані					
Ресурси	+	+	+	+	+
Тип інформаційної системи	+	?	+	+	–
Цінність ресурсів	+	+	+	+	?
Загрози	+	+	+	+	+
Уразливості системи	+	+	+	+	+
Вибір контрзаходів	+	?	+	–	–
Базові вимоги в сфері безпеки	–	?	+	–	–
Втрати	–	?	+	–	–
Заходи захисту	+	–	+	+	–
Частота виникнення загроз	–	?	+	–	–
Мережеве обладнання	–	?	–	+	–
Види інформації	–	?	–	?	–
Групи користувачів	–	?	–	–	–
Засоби захисту	–	?	–	+	–

ПРИМІТКА: + відповідає критерію; – не відповідає критерію; ? – відповідність критерію залежить від інших факторів.

Усі перелічені методології спрямовані на проведення оцінювання ризиків інформаційної безпеки, що дає можливість сконцентрувати увагу на найбільш актуальних проблемах та запобігти нанесенню шкоди підприємству чи організації.

Висновки. В роботі здійснено аналіз найпоширеніших методик у сфері управління ризиками ІБ для реалізації ризик-орієнтованого підходу в контексті забезпечення інформаційної безпеки підприємств, що дало змогу визначити їх основні особливості,

встановити переваги та недоліки кожної з методологій аналізу ризиків на основі найбільш поширених на сьогоднішній день інструментальних засобів. В роботі представлено ряд рекомендацій щодо доцільності застосування розглянутих програмних засобів та управляючої документації з урахуванням відповідних потреб і критеріїв підприємств та організацій.

Список літератури

1. ISO/IEC 17799:2000 Международный стандарт Информационные технологии – практические правила управления информационной безопасностью. С. 87.
2. Замула А. А., Северинов А. В., Корниенко М. А. Анализ моделей оценки рисков информационной безопасности для построения системы защиты информации. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. № 2 (15). С. 133–138.
3. Гарасим Ю. Р., Ромака В. А., Рибій М. М. Аналіз процесу управління ризиками інформаційної безпеки в процесі забезпечення властивості живучості систем. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Сер.: Автоматика, вимірювання та керування*. 2013. № 753. С. 90–99.
4. Левадний С. М. Оцінка інформаційних ризиків. URL: http://www.rusnauka.com/21_SEN_2014/Informatica/4_174674.doc.htm
5. IT рынок. Дослідження та рекомендації. *IT Ukraine Association*. URL: <http://itukraine.org.ua/it-rynok>
6. Левченко М. О. Використання інформаційних технологій в управлінні ризиками машинобудівних підприємств. *Актуальні проблеми економіки*. 2012. № 4. С. 305–311.
7. Мельник Г. Модель оценивания уровня информационных рисков в корпоративных системах. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сер.: Економіка*. 2015. № 6 (171). С. 48–54.
8. Астахов А. Искусство управления информационными рисками. Москва: ДМК Пресс Год, 2010. 312 с.
9. Гловацький В. В., Методи оцінювання стану безпеки та загроз інформаційних

ресурсів. *Зв'язок*. 2016. № 5. С. 13–16.

10. Медведевский И. С. Современные методы и средства анализа и контроля рисков информационных систем компаний CRAMM, Risk Watch и ГРИФ (Опубликовано на "SecurityLab"). 2004. URL: <http://www.ixbt.com/cm/informationssystem-risks012004.shtml>
11. Axoft. Oracle Crystal Ball. URL: http://oracle.axoft.ru/catalog/rubric.php?RU_BRIC_ID=488
12. Сертифікація систем менеджменту ISO 27001:2005. URL: <http://www.qmsc.com.ua/index.php/iso-27001>

References

1. ISO/IEC 17799:2000 Information technology – Code of practice for information security management, p. 87 [in Russian].
2. Zamula, A., Severinov, A. and Kornienko, M. (2014) Analysis of information security risks assessment models for building a data protection system. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*, No. 2 (15), pp. 133–138 [in Russian].
3. Garasim, Yu., Romaka, V. and Rybiy, M. (2013) Analysis of the process of information security risk management in the process of ensuring the properties of system survivability. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Ser.: Avtomatyka, vymiruvannia ta keruvannia*, No. 753, pp. 90–99 [in Ukrainian].
4. Levadny, S. (2014) Assessment of information risks. URL: http://www.rusnauka.com/21_SEN_2014/Informatica/4_174674.doc.htm
5. IT market. Research and recommendations. *IT Ukraine Association*. URL: <http://itukraine.org.ua/it-rynok>
6. Levchenko, M. (2012) Application of information technologies in risk management at machine-building enterprises. *Aktualni problemy ekonomiky*, No. 4, pp. 305–311 [in Ukrainian].
7. Melnyk, H. (2015) Model of information risk measurement in corporate systems. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Ser.: Ekonomika*, No. 6 (171), pp. 48–54 [in Ukrainian].
8. Astahov, A. (2010) The art of information risks management. Moscow: DMC Press

- God, 312 p. [in Russian].
9. Glovatskyi, V. (2016) Methods of assessing information resources security condition and threats. *Zviazok*, No. 5, pp. 13–16 [in Ukrainian].
10. Medvedovskyi, I. (2004) Modern methods and tools for the analysis and control of the risks of information systems of companies CRAMM, Risk Watch and GRIF. URL: <http://www.ixbt.com/cm/informationssystem-risks012004.shtml>
11. Axoft. Oracle Crystal Ball. URL: http://oracle.axoft.ru/catalog/rubric.php?RU_BRIC_ID=488
12. Certification of management systems ISO 27001:2005. URL: <http://www.qmsc.com.ua/index.php/iso-27001>

T. V. Savelieva, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: tam2003@ukr.net

O. M. Panasko, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: lena.pa@ukr.net

O.M. Prigodyuk
e-mail: prigoduk@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

ANALYSIS OF METHODS AND MEANS TO IMPLEMENT A RISK-ORIENTED APPROACH IN THE CONTEXT OF PROVIDING ENTERPRISE INFORMATION SECURITY

The article is devoted to the actual problem of the present – the information security development on the base of risk-oriented approach for solving the problems of information security management for an enterprise. Modern business development trends require the need for risk management. The authors research methods and tools that allow to implement a risk-oriented approach in the context of providing enterprise information security and to analyze and evaluate information risks of information security system. The paper considers a series of the tools representatives, most commonly used in this area, and analyzes several risk assessment methodologies, in particular CRAMM (UK) – the methodology for analysis and risk management, OCTAVE for assessing assets and vulnerability of information security, etc., and a series of regulatory documents, among which NIST SP800-30 (risk management in information technology system); ISO/IEC 27005:2011 (information security risk management methods); ENISA (information security risk assessment) and many others. The analysis of the software advantages and disadvantages for the determination and assessment of information security risks (CRAMM, CORAS, Risk Watch, OCTAVE, Oracle Crystal Ball) is presented and a number of recommendations according to the feasibility of using the considered software and management documentation taking into account relevant requirements and criteria of enterprises and organizations is formed.

Key words: *information technologies, information security, threats, vulnerability, information risks, risk assessment.*

О. А. Тригуб, к.т.н., доцент,
e-mail: toa_oks@ukr.net

Л. А. Тарандушка, к.т.н., доцент,
e-mail: Tarandushkal@ukr.net

Б. Ю. Бичок, студент
e-mail: i2@crus.org.ua

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, Україна

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ

Представлено комутаційну схему компонентів системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля (САВКА) з електронним блоком керування на базі Arduino Uno. Ця схема забезпечує повністю автономну, незалежну від двигуна внутрішнього згоряння вентиляцію кузова автомобіля та усуває вплив людського фактора. Проведено підбір компонентів схеми. Розроблено лінійний алгоритм для написання керуючої програми системою автоматичної вентиляції кузова автомобіля, що забезпечує її енергетичну економічність та ефективність відводу акумульованого тепла з салону в будь-який час доби.

Ключові слова: системи вентиляції повітря, акумулювання теплової енергії, комфорт та безпека автомобіля.

Вступ. В попередній статті авторів [1] розглянуто проблему смертності дітей та домашніх тварин, залишених у салоні автомобіля на парковці під палючим сонцем. Явище акумулювання тепла в салоні автомобіля є досить актуальним з точки зору підвищення комфорту та безпеки автомобіля. Але дослідження, спрямовані на усунення такого явища, не проводились. Отже, смертність дітей або тварин змушує більш прискіпливо відноситись до створення умов, в яких, навіть за необачності батьків, залишена дитина в салоні автомобіля буде в умовній безпеці та не загине внаслідок гіпертермії.

Салон автомобіля є своєрідним парником, до якого надходить тепло від навколишнього середовища. В результаті цього повітря салону нагрівається та акумулюється, не оновлюючись свіжим та прохолодним повітрям ззовні. Наявність, наприклад, автономної вентиляції салону сприяє тепловідведенню від його елементів, коли автомобіль перебуває тривалий час на стоянці.

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1] запропоновано створити САВКА, яка працює автономно від двигуна внутрішнього згоряння і не залежить від людського фактора. Задача САВКА – забезпечити оптимальний температурний режим автомобіля, який перебуває на стоянці, шляхом примусової вентиляції салону. Крім цього, САВКА створює

умови, сприятливі для безпечного перебування дітей або тварин в салоні автомобіля.

Конструктивно САВКА (рис. 1) – це система повітряних шляхів, через які свіже повітря з навколишнього середовища подається в салон автомобіля, забезпечуючи не загрозливий для життя оптимальний температурний режим. Наповнення салону автомобіля свіжим повітрям здійснюється за допомогою вентиляторів, що розташовані в багажному відділенні. Відведення повітря салону забезпечують додаткові вентилятори, які вмонтовані в передній частині автомобіля (в моторному відсіку). Ввімкнення вентиляторів здійснюється автоматично при спрацюванні теплового реле, налаштованого на оптимальний температурний режим в салоні транспортного засобу. Роботу вентиляторів забезпечує автономна система енергопостачання (АСЕП), яка живиться від окремої акумуляторної батареї (АКБ). АКБ, в свою чергу, заряджається енергією сонця від сонячної панелі, встановленої на даху автомобіля. Рекомендовано застосовувати гнучку сонячну батарею, щоб не змінювати аеродинамічні показники автомобіля.

В такий спосіб повністю забезпечується автономний режим роботи запропонованої системи без використання штатної АКБ автомобіля. Основним критерієм вимкнення системи САВКА є оптимальна температура в салоні автомобіля.

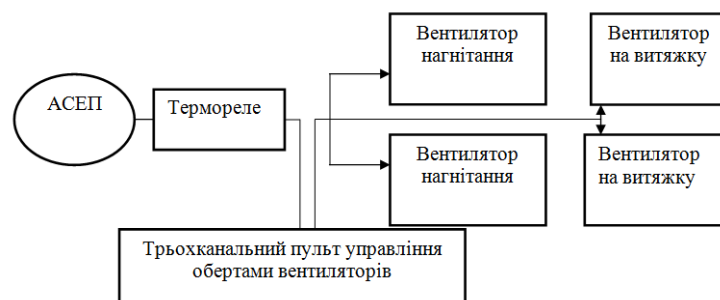


Рис. 1. Блок-схема роботи системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля

Разом з тим технічне рішення авторів є лише концептуальним і потребує вдосконалення. Зокрема важливим є питання комплектації САВКА та алгоритмізації роботи її компонентів задля ефективного відведення акумульованого тепла з салону.

Мета роботи. Розробити комутаційну схему й універсальний алгоритм роботи САВКА, який забезпечуватиме ефективне відведення акумульованого тепла з салону будь-якого транспортного засобу.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення ефективної роботи САВКА треба виключити людський фактор впливу. Для цього можна застосувати варіант виконання системи, що базується на електронних компонентах з використанням електронного блока керування. Як електронний блок керування пропонується використання Arduino Uno (рис. 2), основні характеристики занесено в табл. 1 [2].

Таблиця 1

Основні характеристики Arduino Uno

№	Назва	Характеристика
1	Мікроконтролер	ATmega328
2	Робоча напруга	5 В
3	Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
4	Напруга живлення (гранична)	6-20В
5	Цифрові входи / виходи	14 шт.
6	Аналогові входи	6 шт.



Рис. 2. Загальний вигляд плати Arduino Uno

Цей блок дає можливість підключитися до 14 різноманітних електронних датчиків, що, в свою чергу, може розширити функціональність системи САВКА.

Сприймання значень температури всередині салону та передача їх на електронний

блок керування забезпечуються шістьма електронними термодатчиками (рис. 3), які являють собою плату з трьома виводами: два контакти живлення та контакт передачі електронних даних. Діапазон вимірюваних температур – від -35°C до +125°C.

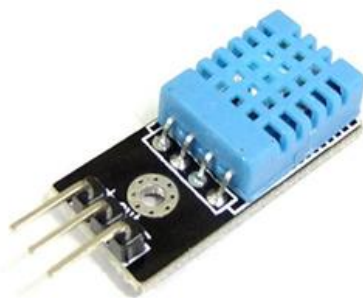


Рис. 3. Електронний термодатчик

Для виконання функції ввімкнення нагнітаючих та відбірних вентиляторів необхід-

но використовувати реле ввімкнення та вимкнення споживачів (рис. 4).



Рис. 4. Реле ввімкнення та вимкнення споживачів

Це реле являє собою електронну плату з використанням потужних пускових реле для забезпечення працездатності та безвідмовного функціонування САВКА.

Живлення системи забезпечується сонячною панеллю (рис. 5), вихідна потужність якої становить 200 Вт.



Рис. 5. Сонячна панель

Для зберігання та накопичення енергії пропонується використання акумуляторної батареї. З цією метою можна використовувати штатну акумуляторну батарею автомобіля, але задля уникнення непередбачуваних ситу-

ації краще використовувати окрему батарею для живлення САВКА. Найкращим варіантом для накопичення та зберігання електроенергії, безумовно, є літій-іонні акумулятори, побудовані на елементах живлення 18650 (рис. 6).



Рис. 6. Загальний вигляд літій-іонної акумуляторної батареї та її складові елементи 18650

Використання цього типу акумуляторів дає змогу отримати силу струму близько 120 А при напрузі в 12 В. Це значення сили струму може бути отримане завдяки схемі підключення $4_{\text{пс}} \cdot N_{\text{пр}}$, що означає комутацію елементів живлення 18650 по чотири штуки послідовно ($4_{\text{пс}}$) для забезпечення напруги в 12 В, та подальшому паралельному з'єднанню їх у кількості $N_{\text{пр}}$ для підтримки сумарної сили струму в акумуляторі. Основною перева-

гою використання цього типу АКБ є відсутність можливості сульфатації пластин, як в свинцево-кислотних АКБ. При відмові навіть 20 % елементів живлення потужність батареї зменшується менш ніж на 8 % [3].

Для комутації сонячної панелі з акумуляторною батареєю обов'язкове використання модуля зарядження-розрядження батарей (рис. 7).



Рис. 7. Блок контролю зарядження-розрядження АКБ

Цей блок контролює процеси зарядження та розрядження АКБ споживачами, забезпечує правильну роботу і довговічність батареї, компенсує та вирівнює ступінь заряду банок АКБ.

Таким чином, загальне компонування САВКА міститиме компоненти, зазначені в табл. 2.

Таблиця 2

Перелік основних компонентів управління САВКА

№	Компонент	Кількість
1.	Електронний блок керування Arduino Uno	1 шт.
2.	Електронний термодатчик	6 шт.
3.	Реле ввімкнення – вимкнення споживачів	1 шт.
4.	Сонячна панель	1 шт.
5.	Акумуляторна батарея, побудована з елементів живлення 16850	1 шт.
6.	Блок контролю зарядження-розрядження АКБ	1 шт.

Наступним кроком для оптимізації та алгоритмізації роботи САВКА є правильна комутація складових компонентів. Розроблена комутаційна схема САВКА наведена на рис. 9.

Схема працює таким чином: сонячні промені, що потрапляють на сонячну панель (1), створюють постійний електричний струм (12 V DC). Далі струм прямує на модуль контролю зарядження-розрядження АКБ (2). В разі, коли АКБ (3) розряджена, починається її дозарядження, у випадку 100 % зарядження струм відразу передається на контакти підключення споживачів. З контактів підключення споживачів струм прямує на живлення електронного блока керування (4) та живлення плати реле ввімкнення-вимкнення споживачів (6). До блока електронного керування підключено шість електронних термодатчиків (5), які послідовно підключені до контактів живлення на електронному блоці керування. Також кожний датчик підключений до окремого інформаційного

роз'єму, що, в свою чергу, дає змогу сприймати з кожного датчика унікальне значення температури і в подальшому обробляти ці значення для корегування режиму роботи САВКА.

Після обробки даних з датчиків по інформаційному каналу зв'язку плати реле з електронним блоком керування передається керуючий сигнал, що визначає режим роботи системи. Залежно від середньої температури з шести датчиків у кузові необхідне реле замикається і вмикає, в свою чергу, вентилятори САВКА (7).

Електронний блок керування САВКА потребує керуючої програми, алгоритм роботи якої визначатиме ефективність роботи системи в різних температурних режимах.

Керуюча програма являє собою покрокове виконання команд. Головною задачею цієї програми буде інформаційне комутування усіх електронних компонентів, що задіяні в схемі (рис. 8).

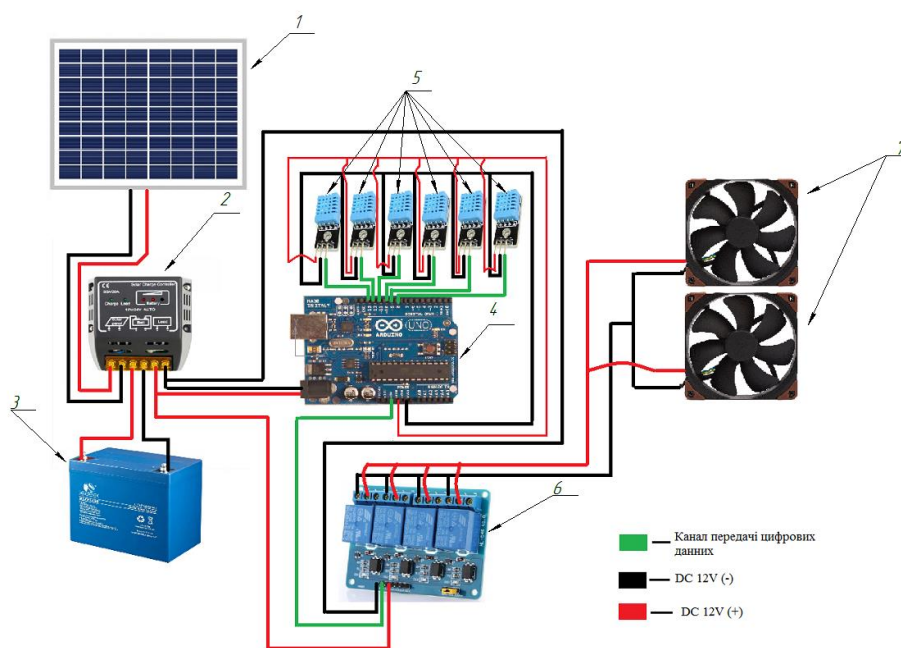


Рис. 8. Комутаційна схема компонентів САВКА: 1 – сонячна панель; 2 – модуль контролю зарядження-розрядження АКБ; 3 – АКБ; 4 – електронний блок керування Arduino Uno; 5 – електронні термодатчики 6 шт.; 6 – реле ввімкнення-вимкнення споживачів; 7 – вентилятори системи САВКА

Основні кроки – це:

- 1) збір інформації з датчиків температури;
- 2) передача їх на електронний блок керування (ЕБК);
- 3) обробка отриманих даних ЕБК;
- 4) порівняння значень з максимально допустимою температурою;
- 5) вибір режиму роботи системи.

Алгоритм розпочинається з введення максимально допустимого значення температури всередині кузова. Ця умова в подальшому буде регулювати потужність ввімкнення вентиляторів.

Після того як електронний блок керування отримає значення максимальної температури, електронний блок починає працювати в штатному режимі. Отримує це

значення блок керування при завантаженні на нього необхідної керуючої програми.

Програма працює за таким алгоритмом (рис. 9):

1. Отримання інформації щодо ввімкнення запалювання автомобіля:

- Так (мається на увазі наявність у салоні водія, автомобіль в дорозі) – САВКА працює в режимі ручного керування і пасажери мають змогу корегувати продуктивність роботи системи. Функція автономності САВКА відключена, алгоритм завершений;

- Ні (автомобіль на паркуванні) – система працює в автономному режимі. Перехід до наступного кроку.

2. Збір показників з термодатчиків t_i .

3. Обробка отриманих даних ЕБК.

4. Визначення середнього значення показників термодатчиків t_c , $t_{сер}$ температури в кузові.

5. Порівняння даних з максимальною температурою. Умова порівняння ($10\%T < t_{сер} \leq 25\%T$): чи середнє значення температури лежить в діапазоні від 10 до 25 % від максимальної?

- Так – САВКА автоматично вмикається на 25 % від максимальної потужності. Алгоритм закінчений;

- Ні – Перевірка наступної умови ($25\%T < t_{сер} \leq 60\%T$): чи середнє значення температури лежить в діапазоні від 25 до 60 % від максимальної?

- Так – САВКА автоматично вмикається на 50 % потужності;

- Ні – перевірка третьої умови ($60\%T < t_{сер} \leq T$): чи середнє значення температури більше 60 % від максимально допустимого значення? САВКА вмикається автоматично на 100 % потужності.

6. Кінець алгоритму.

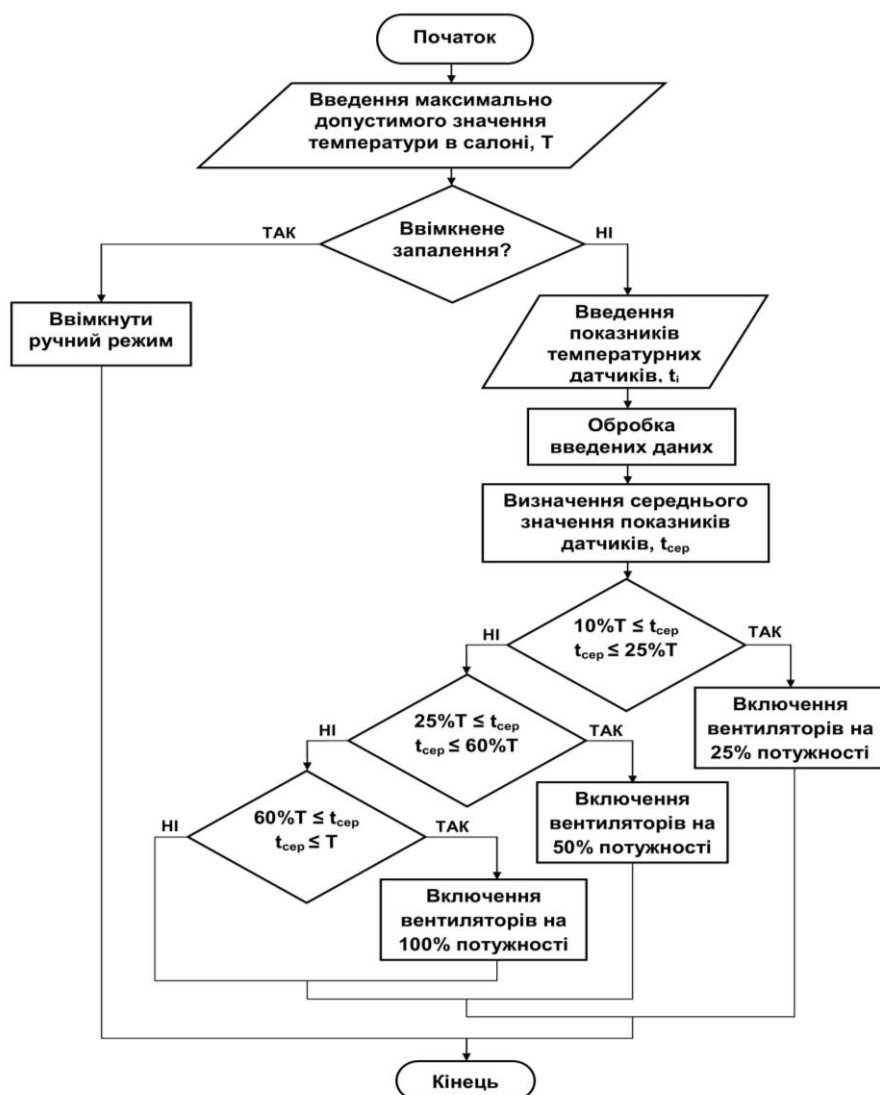


Рис. 9. Лінійний алгоритм роботи системи САВКА

Цей алгоритм дає можливість адаптувати САВКА до різних умов використання, зокрема усуває людський фактор під час знаходження автомобіля на паркуванні, залишаючи при цьому можливість керувати системою, коли водій за кермом. При різному рівні надходження тепла в салон система вмикається на необхідну потужність. Це дозволить підвищити ефективність відводу тепла опівдні та не призведе до надмірних енерговитрат АСЕП в ранішню і вечірню пору.

Висновки:

1. Розроблено комутаційну схему, яка може бути застосована при серійному виготовленні системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля. Представлена схема дозволяє не лише ефективно відводити тепло із салону автомобіля, але й запобігати його акумулюванню, що забезпечить комфортні умови для перебування залишених у салоні дітей і тварин, коли автомобіль припаркований на відкритому сонці.

2. Розроблено лінійний алгоритм для написання та налагодження програмного забезпечення системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля. Алгоритм припускає повністю автоматичну роботу системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля, повністю усуваючи людський фактор.

3. Наявність багатоканального електронного блока керування дає можливість пода-

льшої модернізації й удосконалення системи автоматичної вентиляції кузова автомобіля.

Список літератури

1. Тригуб О. А., Балута М. М., Шльончак І. А. Автоматична система усунення акумулюючого тепла в салоні автомобіля. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 3. С. 162–167.
2. Arduino Starter Kit (ASK) manual: a complete beginners guide to the Arduino. *Earthshine Design*. March 2010. 105 p.
3. LIR18650 Datasheet. Li-ion Battery. EEMB Co. Ltd. Edition. NOV. 2010. 9 p.

References

1. Tryhub, O. A., Baluta, M. M., Shlionchak, I. A. (2015) Automatic system for eliminating the accumulated heat in the car interior. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo technologichnogo universitetu. Seria: Tehnich-ni nauky*, No. 3, pp. 162–167 [in Ukrainian].
2. Arduino Starter Kit (ASK) manual: a complete beginners guide to the Arduino (2010) *Earthshine Design*, March, 105 p.
3. LIR18650 Datasheet. Li-ion Battery (2010) EEMB Co. Ltd. Edition, NOV., 9 p.

O. A. Trigub, Ph.D., associate professor,
e-mail: toa_oks@ukr.net

L. A. Tarandushka, Ph.D., associate professor,
e-mail: Tarandushkal@ukr.net

B.Y. Bichok, student

e-mail: i2@crus.org.ua

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, Ukraine

ALGORITHMIZATION OF THE PROCESSES OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC VENTILATION OF THE CAR BODY

The switching scheme of components of the car body ventilation system with an electronic control unit based on Arduino Uno is presented. This scheme provides a fully autonomous ventilation of the car body, independent of engine, and eliminates the influence of the human factor. The design of components of the scheme is selected. The linear algorithm for the program of control by the system of automatic ventilation of the car body is developed which ensures its energy efficiency and efficiency of accumulated heat removal from the cabin at any time of the day. The presented scheme allows to prevent heat accumulation, which will provide comfortable conditions for staying of children and animals in the cabin when the car is parked under the sun.

Key words: air ventilation systems, accumulation of thermal energy, comfort and safety of the car.

УДК 504.75.05: 504.3.054](477.46)

Т. П. Гончаренко, к.х.н., доцент,
e-mail: t.p.g@inbox.lv

Л. І. Жицька, к.б.н., доцент
e-mail: zhytska_lyudmila@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

АНАЛІЗ І ОЦІНКА РИЗИКІВ ЗАХВОРЮВАННЯ НАСЕЛЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ ЧЕРКАСИ У 2017 РОЦІ

Проведено аналіз статистичної інформації про об'єми викидів пересувних та стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря. Дано оцінку комплексного впливу викидів шкідливих речовин на якість повітряного басейну та здоров'я населення міста. Розглянуто причини, що сприяють накопиченню забруднюючих речовин. Розраховано рівні ризику захворюваності населення м. Черкаси, що проживає у місцях небезпечного забруднення атмосферного повітря.

Ключові слова: атмосферне повітря, викиди, концентрація, забруднююча речовина, здоров'я, ризик, Черкаси.

Постановка проблеми. Одним із важливих об'єктів навколишнього природного середовища є атмосферне повітря. Стійкість біосфери залежить від його чистоти. Забруднення біосфери впливає на рослини, тварини, людей, будови, обладнання та різні матеріали. Повітря, яким ми дихаємо, являє собою фізичну суміш газів, які становлять атмосферу. Повітря має постійні складові атмосфери й непостійну кількість різних домішок природного й антропогенного походження. Під впливом антропогенної діяльності людини до атмосферного повітря потрапляють різного роду забруднювачі, внаслідок чого формуються негативні тенденції до виникнення надзвичайних ситуацій, погіршення умов життєдіяльності і зростання захворюваності населення.

Здоров'я людини визначається взаємодією низки таких факторів: спадковість, спосіб життя, наявність шкідливих звичок, соціально-економічне і психологічне благополуччя, доступність медичного обслуговування, умови життєдіяльності та якість навколишнього середовища [1]. Для людини несприятливе забруднення будь-якого з компонентів природного середовища, з яким вона контактує, при цьому можуть уражатися всі її системи й органи. З погляду здоров'я людини особливу роль відіграє атмосфера. Контакти людини з забруднювачами середовища через повітря відбуваються частіше, ніж через воду, рослини та інші його компоненти [2, с. 278].

На сьогоднішній день оцінка якості та безпеки повітря розраховується не тільки порівнянням рівня забруднення з гранично допустимими значеннями концентрації викиду, а й із позицій концепції екологічного ризику. Екологічний ризик – можливість виникнення несприятливих для життєдіяльності суспільства обставин і ситуацій, зумовлених антропогенними чи природними факторами і впливами [3, с. 390].

Дуже важливим є визначення ризику для здоров'я населення при сучасному стані забруднення атмосферного повітря, бо при виникненні надзвичайних ситуацій (аварій, пожеж, вибухів) рівень небезпеки для населення і природних екосистем зростає в кілька разів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Черкаси – обласний центр в Україні, промисловий центр Центрального економічного району. Місто розташоване на правому березі Кременчуцького водосховища, створеного у середній течії Дніпра, та простяглось на 17 км уздовж берега. Клімат міста є помірно континентальним з м'якою зимою і теплим літом. Як показав аналіз літературних джерел [4, 5], метеорологічний режим в м. Черкаси не сприяє розсіюванню домішок як від високих джерел емісії, так і низьких. До основних метеорологічних чинників, що визначають рівень забруднення в місті, належать температурні інверсії, швидкість та напрям вітру, бризова циркуляція повітря. Для м. Черкаси характерні вітри південного напрямку, які

мають високий відсоток повторюваності та здійснюють перенесення забруднюючих речовин від потенційно-небезпечних об'єктів ПАТ «Азот» і ПАТ «Черкаське хімволокно» на всю територію міста. А періоди слабкої швидкості вітру (0-1 м/с) та наявності стійких інверсій, які досить часто спостерігаються в місті (до 20 % за рік, влітку в 1,5–2 рази біль-

ше), створюють небезпечні умови накопичення шкідливих домішок і від низьких джерел, зокрема автотранспорту.

Аналіз статистичних матеріалів показує, що забруднення атмосферного повітря у місті відбувається за рахунок стаціонарних (40-70% від загальної кількості викидів) та пересувних (60-30%) джерел (табл. 1) [6, 7, 8].

Таблиця 1

Динаміка викидів в атмосферне повітря м. Черкаси

Роки	Викиди в атмосферне повітря, тис. т			Щільність викидів у розрахунку на один км ² , кг	Обсяги викидів у розрахунку на одну особу, кг
	Всього	У тому числі			
		стаціонарними джерелами	пересувними джерелами		
2000	36,907	16,821	20,086	527,2	120,1
2010	48,707	32,277	16,430	695,8	169,1
2012	51,989	35,736	16,253	666,5	181,4
2013	55,546	39,893	15,653	712,1	194,1
2014	50,652	36,389	14,263	649,4	177,2
2015	42,319	29,826	12,493	542,6	148,5
2016		23.845	*	305.7	84.2

* За даними Головного управління статистики у Черкаській області, у 2016 р. розрахунки щодо обсягів викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення не проводились

Протягом останніх років перелік основних забруднюючих речовин атмосферного повітря міста залишається майже без змін. Динаміку викидів стаціонарними джерелами в атмосферне повітря м. Черкаси, в тому числі за найпоширенішими речовинами (пил, діок-

сид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю) подано в табл. 2. Табл. 2 показує, що у 2016 р. знизилися викиди пилу (майже в 2000 разів) та діоксиду сірки (в 2 рази), а викиди діоксиду азоту та оксиду вуглецю збільшилися в 1,1 разу [6, 7, 8].

Таблиця 2

Динаміка викидів стаціонарними джерелами в атмосферне повітря м. Черкаси, в тому числі за найпоширенішими речовинами (пил, діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю), тис. т

Назва пункту	Всього	Пил	Діоксид сірки	Діоксид азоту	Оксид вуглецю
Черкаси	2000				
	16,821	2,971	5,211	2,407	2,747
	2014				
	36,389	5,844	18,889	8,794	0,649
	2015				
	29,826	5,905	12,625	8,702	0,584
	2016				
	23,845	0,003	5,962	9,854	0,662

Постійні спостереження за станом атмосферного повітря в м. Черкаси здійснюються Черкаським обласним центром з гідрометорології. Лабораторією спостережень за забрудненням атмосферного повітря Черкаського обласного центру гідрометорології, який

має три пости спостереження у м. Черкаси, у 2016 р. контролювалось 4 основних і 14 специфічних поллютантів, включаючи важкі метали та бенз/а/пірен. Високе забруднення (вище 5 ГДК максимально разової) у 2016 р. у місті не було зафіксовано. Для розрахунку комплек-

сного індексу забруднення атмосфери (ІЗА) міста в 2016 р. використовувались п'ять найбільш важливих домішок: пил, діоксид азоту, аміак, формальдегід, оксид вуглецю. За 2016 р. ІЗА становив 5,5 (за 2015 р. – 5,72), що вважається приблизно рівним середньому забрудненню атмосферного повітря ($5 < \text{ІЗА} < 8$).

За даними Державної установи «Черкаський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України» з метою здійснення моніторингу забруднення атмосферного повітря лабораторним центром у 2016 р. проведено дослідження на маршрутних та пересувних (підфакельних) точках, а також на межі санітарно-захисних зон промислових підприємств, у межах житлової забудови, поблизу вуличних магістралей, з них у 150 (2,1%) пробах виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин [9].

В основному зареєстровані перевищення гігієнічних нормативів за вмістом формальдегіду (13%), оксиду вуглецю (4,1%), діоксиду азоту (0,1%), сірководню (3,9%), аміаку (1,2%), пилу (0,85%).

У структурі загальної захворюваності населення все більшої уваги набувають хвороби, пов'язані з техногенним забрудненням атмосферного повітря. За даними Комунального закладу «Черкаський обласний інформаційно аналітичний центр медичної статистики», у 2016 р. відмічається зниження показника загальної захворюваності населення на 1,1% та збільшення показника первинної захворюваності населення на 2,1 % [10].

У структурі загальної захворюваності всього населення переважають хронічні хвороби (системи кровообігу, органів дихання, органів травлення, кістково-м'язової та сечостатевої системи). Хвороби органів дихання займають друге рангове місце в структурі загальної захворюваності всього населення (у 2016 р. – 19,2%, у 2015 р. – 18,2%, у 2014 р. – 18,5%) та перше рангове місце у структурі первинної захворюваності всього населення (у 2016 р. – 44,8%, у 2015 р. – 42,9%, у 2014 р. – 43,4%). Показник первинної захворюваності дітей віком до 17 років становив: у 2014 р. – 15669 (на 10 тис. населення); у 2015 р. – 15149 (на 10 тис. населення); у 2016 р. – 15299 (на 10 тис. населення) [8].

Визначення ризику захворюваності населення, що проживає у місцях небезпечного забруднення атмосферного повітря, дає мож-

ливість прогнозувати ймовірність порушень здоров'я при різних сценаріях його впливу та встановлювати першочерговість і пріоритетність заходів щодо управління чинниками ризику на індивідуальному та загальному рівнях.

Метою роботи є проведення аналізу і оцінювання ризику виникнення захворювань від впливу забруднення атмосферного повітря на прикладі м. Черкаси з використанням міжнародної методології.

Матеріали та результати досліджень. Схема аналізу ризику для здоров'я людини запропонована Американським агентством з охорони навколишнього середовища (USEPA) [11]. Міжнародна методологія була адаптована до умов України і викладена в методичних рекомендаціях «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» МР 2.2.12-142-2007 (наказ № 184 МОЗ України від 13.04.07). Повна схема оцінки ризику передбачає проведення чотирьох взаємопов'язаних етапів: ідентифікації небезпеки; оцінювання експозиції; характеристики небезпеки (оцінювання залежності «доза-відгук»); характеристики ризику [12].

Першим етапом процедури оцінювання екологічного ризику є ідентифікація джерел можливої небезпеки повітряному басейну. Сутність цього етапу полягає у виявленні найбільш небезпечних промислових об'єктів з точки зору їх впливу на стан здоров'я населення.

Розглядаючи м. Черкаси як промислове місто, можна виділити ряд підприємств, які забруднюють атмосферне повітря, тим самим шкодячи здоров'ю людей. Серед таких підприємств основними забруднювачами атмосферного повітря міста є: ПАТ «Черкаське хімволокно» з валовим викидом 18,2 тис. т, що на 5,98 тис. т менше, ніж у 2015 р., та ПАТ «Азот» з валовим викидом 4,8 тис. т, що на 1,3 тис. т більше, ніж у 2015 р. Загальний викид від цих підприємств становив у 2016 р. 23 тис. т забруднюючих речовин, що становить 96% від викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, які здійснювалися стаціонарними джерелами міста.

Наступним кроком у процедурі оцінювання ризику є оцінювання експозиції. Оцінювання експозиції полягає у вимірюванні або визначенні частоти, тривалості і шляхів дії забруднюючих речовин, що знаходяться в навколишньому середовищі, на організм лю-

дини. Маршрут дії, який описує рух хімічної речовини від джерела її надходження в природне середовище до індивідуума, що піддається дії, є обов'язковою складовою частиною будь-якого сценарію експозиції. Існує три типи експозиційного маршруту: пероральний, інгаляційний, шкірна абсорбція. Визначаючи ризик впливу атмосферного повітря на здоров'я людей, можна констатувати, що забруднюючі речовини потрапляють до організму інгаляційним шляхом, тобто в процесі дихання через легені. Наслідки дії порогових забруднювачів можуть з'являтися через декілька днів, тижнів, місяців, років або безпосередньо після дії першої дози забруднювача. Короткочасні дії тривають близько 0,5-1,0 години і викликають гостру реакцію. Тривалі дії забруднювачів супроводжуються хронічними захворюваннями. Під тривалими діями розуміють дії, які тривають понад 12 % тривалості життя, тобто близько 8 років.

Оцінювання залежності «доза-відгук» – це процес кількісної характеристики токсикологічної інформації і встановлення зв'язку між концентрацією забруднюючої речовини, що впливає на організм людини, і випадками шкідливих ефектів в експонованій популяції. Інтенсивне забруднення атмосферного повітря викидами забруднюючих речовин є суттєвим фактором ризику виникнення та ускладнення перебігу у населення гострих і хронічних захворювань дихальних шляхів, бронхолегеневої системи, алергічних станів тощо. Доведено прямий зв'язок між інтенсивністю забруднення повітря і станом здоров'я, а також зростанням хронічних неспецифічних захворювань, зокрема таких, як атеросклероз, хвороби серця, рак легенів тощо. Забруднене повітря значно знижує імунітет.

Негативно впливає на стан здоров'я людини смог, що утворюється в повітрі міст в результаті фотохімічних реакцій забруднюючих речовин, спричинених викидами підприємств та автотранспорту. Він спричиняє слюкотечу, різь в очах, сухий кашель, нудоту, головний біль, стискання в грудях, задишку, загальну слабкість, є причиною розладів функцій органів дихання.

Забруднення атмосферного повітря діюкислом сірки найчастіше призводить до виникнення таких захворювань, як хронічний і астматичний бронхіт, бронхіальна астма, емфізема легенів.

Дуже небезпечна для організму людини дія оксиду вуглецю. Наявність оксиду вуглецю в організмі стає причиною скарг (особливо у регулювальників руху) на головний біль, запаморочення, порушення сну, зниження пам'яті й уваги, задишку, біль у ділянці серця тощо.

В атмосферному повітрі м. Черкаси спостерігається перевищення середньорічних ГДК по аміаку та формальдегіду. Аміак (NH_3) – безбарвний газ з характерним різким запахом нашатирного спирту. При охолодженні до мінус $33,4^\circ\text{C}$ аміак під звичайним тиском перетворюється в прозору рідину, що твердіє при мінус $77,8^\circ\text{C}$. Розчиняється у воді, ефірі та інших органічних розчинах. Один об'єм води поглинає близько 750 об'ємів аміаку (при 20°C). Корозійний для деяких металів. Ступінь токсичності – 4. Аміак майже вдвічі легший від повітря. Запах аміаку відчувається при концентрації (порог сприйняття) більш ніж $0,5 \text{ мг/м}^3$. Смертельною вважається концентрація 250 мг/м^3 при експозиції 60 хвилин. Дія аміаку на організм людини проявляється у пошкодженні органів дихання, очей, слизових оболонок та шкіри. Людина скаржиться на свербіж, почервоніння, опіки шкіри, різь в очах та слюкотечу, задуху, сильний кашель. У випадку попадання рідкого аміаку і його розчинів на шкіру можливе обмороження, при високих концентраціях парів аміаку – судоми.

Характеристика ризику інтегрує дані про небезпеку хімічних речовин, величину експозиції, параметри залежності «доза-відгук», отримані на усіх попередніх етапах досліджень, з метою кількісного і якісного оцінювання ризику, виявлення і оцінювання порівняльної значимості існуючих проблем для здоров'я людини.

Екологічний ризик від дії неканцерогенного (порогового) забруднювача оцінюється шляхом визначення коефіцієнта небезпеки (HQ), який являє собою відношення визначеної концентрації (C) забруднювача до їх референтних значень:

$$\text{HQ} = C / \text{RfC}, \quad (1)$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки; C – середня концентрація, мг/м^3 ; RfC – референтна концентрація, мг/м^3 .

Залежно від значення HQ рівень ризику становить (табл. 4) [12].

Таблиця 4

Класифікація рівнів ризику

HQ	Рівень ризику
$\leq 1,0$	Мінімальний – бажана величина ризику при проведенні оздоровчих і природоохоронних заходів
1,0-10,0	Середній – допустимий для виробничих умов. За впливу на все населення необхідні динамічний контроль і поглиблене вивчення джерел і можливих наслідків шкідливих впливів для вирішення питання про заходи щодо управління ризиком
10,0-100,0	Значний – недопустимий для населення
≥ 100	Високий – неприйнятний для виробничих умов і населення. Необхідне проведення заходів щодо усунення або зниження ризику

У випадку впливу кількох забруднювачів, які впливають на той самий орган, їх дія додається, і ризик визначається за індексом небезпеки (НІ), який являє собою суму коефіцієнтів небезпек:

$$HI = \sum HQ_i, \quad (2)$$

де HQ_i – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші хімічних речовин, що впливають.

Розрахунок індексів небезпеки проводили з урахуванням критичних органів та систем, які зазнають негативного впливу досліджуваних речовин. Статистичний розрахунок ризиків виникнення захворювань від забруднення атмосферного повітря виконано за допомогою персонального комп'ютера з використанням стандартних програм пакета Microsoft Excel.

Для дослідження було використано матеріали спостережень за станом атмосферного повітря Черкаського обласного центру з гідрометеорології у 2017 р. На основі даних моніторингу якості атмосферного повітря на трьох стаціонарних постах спостереження

забруднення (ПСЗ) з періодичністю відбору проб чотири рази на добу було визначено забруднюючі речовини, які робили найбільший внесок у забруднення атмосфери міста.

Встановили, що пріоритетними неканцерогенними хімічними речовинами є пил, діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, сірководень, аміак. Результати контролю за якістю повітря у м. Черкаси у 2017 р. надано в табл. 5 [4, 5].

Всі речовини відносяться до неканцерогенних речовин з пороговим механізмом дії, які негативно впливають на органи дихання людини. Референтні концентрації при гострому та хронічному впливі визначаються з таблиць методичних рекомендацій «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» МР 2.2.12-142-2007 (наказ № 184 МОЗ України від 13.04.07) (табл. 6) [1, 12]. Розрахуємо індекс небезпеки для гострого та хронічного впливів для трьох мікрорайонів міста за рівнянням (2).

Результати розрахунків – сумарні індекси неканцерогенної небезпеки (НІ) пріоритетних хімічних речовин – наведено в табл. 7.

Таблиця 5

Середньорічні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Назва домішки	Концентрація, мг/м ³				Середньодобова концентрація, мг/м ³
	Центр міста	Дніпровський мікрорайон	Південно-Західний мікрорайон	По місту	
Пил	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15
Діоксид сірки	0,008	0,010	0,009	0,009	0,05
Оксид вуглецю	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0
Діоксид азоту	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04
Сірководень	0,001	0,001	0,001	0,001	–
Аміак	0,05	0,07	0,04	0,05	0,04

Таблиця 6

**Референтні концентрації при гострому та хронічному впливі забруднювачів,
які знаходяться у повітрі м. Черкаси**

Речовина	RfC, мг/м ³ (гострий вплив)	RfC, мг/м ³ (хронічний вплив)
Пил	0,15	0,05
Діоксид сірки	0,66	0,05
Оксид вуглецю	23	3,0
Діоксид азоту	0,47	0,04
Сірководень	0,1	0,002
Аміак	0,35	0,1

Таблиця 7

Сумарні індекси неканцерогенної небезпеки (НІ) пріоритетних хімічних речовин

Мікрорайон	Назва речовини						НІ
	Пил	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Сірководень	Аміак	
	Гострий вплив						
Центр міста	1,33	0,01	0,04	0,10	0,01	0,14	1,62
Дніпровський мікрорайон	1,33	0,02	0,04	0,10	0,01	0,20	1,88
Південно-Західний мікрорайон	1,33	0,01	0,04	0,06	0,01	0,11	1,56
	Хронічний вплив						
Центр міста	4,00	0,16	0,33	1,25	0,50	0,50	6,74
Дніпровський мікрорайон	4,00	0,20	0,33	1,25	0,50	0,70	6,98
Південно-Західний мікрорайон	4,00	0,18	0,33	0,75	0,50	0,40	6,16

Використовуючи табл. 7, робимо висновок, що в плані гострого та хронічного впливу рівень ризику – середній, але при гострому отруєнні рівень ризику в усіх мікрорайонах близький до мінімального ризику, а при хронічному отруєнні – близький до значного. Із трьох мікрорайонів найменший рівень ризику як при гострому, так і при хронічному отруєнні спостерігається в Південно-Західному мікрорайоні, найбільший – у Дніпровському районі.

Висновки. У результаті дослідження було встановлено, що:

1. Основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря міста Черкаси у 2017 р. є пил, діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, сірководень, аміак. Всі речовини відносяться до неканцерогенних сполук з пороговим механізмом дії, які негативно впливають на органи дихання людини.

2. Згідно з критеріями неканцерогенного ризику сумарний ризик для здоров'я насе-

лення при вмісті шкідливих речовин у концентраціях від 0,001 до 0,200 мг/м³ в атмосферному повітрі не можна вважати допустимим, оскільки існує вірогідність виникнення шкідливих ефектів у населення (захворювання органів дихання).

3. Найбільший внесок як у сумарну величину НІ, так і в ризик впливу на органи дихання при гострому і хронічному впливах має пил. Найменш вагомим у формуванні ризику є діоксид сірки.

4. Розрахований інтегральний неканцерогенний ризик для здоров'я населення при забрудненні атмосферного повітря м. Черкаси у 2017 р. можна віднести до середнього. Із трьох мікрорайонів найменший рівень ризику як при гострому, так і при хронічному отруєнні спостерігається в Південно-Західному мікрорайоні, найбільший – у Дніпровському районі. Необхідні подальший моніторинговий контроль за якістю повітря і здійснення заходів щодо зниження ризику.

Список літератури

1. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: Наказ МОЗ України № 184 від 13.04.2007 р. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6902>
2. Гончаренко М. С. Екологія людини: навч. посіб. / за ред. Н. В. Кочубей. Суми: ВТД «Університетська книга»; Київ: ВД «Княгиня Ольга», 2005. 394 с.
3. Кожушко Л. Ф., Скрипчук П. М. Екологічний менеджмент: підручник. Київ: ВЦ «Академія», 2007. 432 с.
4. Управління екології та природних ресурсів Черкаської обласної державної адміністрації. Моніторинг. Стан довкілля у 2017 році. URL: eco.ck.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=1108&Itemid=244
5. Черкаси – офіційний портал міської ради. Новини. Екологія. URL: www.rada.cherkasy.ua/ua/news.php?s=18&l=69
6. Довкілля Черкащини за 2016 рік: стат. зб. Черкаси, 2016. 160 с.
7. Екологічний паспорт Черкаської області. URL: eco.ck.ua/docs/Dop_2016
8. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2016 році. Черкаси, 2017. URL: eco.ck.ua/docs/Ecopasport2016.pdf
9. Державна установа «Черкаський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України». Соціально-гігієнічний моніторинг. Атмосферне повітря. URL: www.obles.ck.ua/index.php?option=com_content&view=categorie&layout=blog&id=59&Itemid=79
10. Комунальний заклад «Черкаський обласний інформаційно-аналітичний центр медичної статистики». URL: oblmedstat.ck.ua
11. US EPA. An examination of EPA risk assessment principles and practices. EPA/100/B-04/001. Washington, DC: EPA, 2004. 193 p.
12. Орел С. М., Мальований М. С., Орел Д. С. Оцінка екологічного ризику. Вплив на здоров'я людини: навч. посіб. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 232 с.

References

1. Assessment of the risk from atmospheric air pollution on public health: Decree of the Ministry of Health of Ukraine No. 184, dated April 13, 2007. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6902>
2. Goncharenko, M. S. (2005) Human ecology: textbook / ed. by N. V. Kochubei. Sumy: VTD «Universytetska knyha»; Kyiv: VD «Kniahynia Olha», 394 p. [in Ukrainian].
3. Kozhushko, L. F. and Skrypchuk, P. M. (2007) Ecological management: textbook. Kyiv: VC «Academiya», 432 p. [in Ukrainian].
4. Department of ecology and natural resources of Cherkasy regional state administration. Monitoring. The state of the environment in 2017. URL: eco.ck.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=1108&Itemid=244
5. Cherkasy – an official portal of the city council. News. Ecology. URL: www.rada.cherkasy.ua/ua/news.php?s=18&l=69
6. The environment of Cherkasy region in 2016: stat. collection (2016). Cherkasy, 160 p.
7. Ecological passport of Cherkasy region. URL: eco.ck.ua/docs/Dop_2016
8. Regional report on the environmental state of Cherkasy region in 2016 (2017). Cherkasy. URL: eco.ck.ua/docs/Ecopasport2016.pdf
9. Public institution «Cherkasy regional laboratory center of the Ministry of Health of Ukraine». Social-hygienic monitoring. Atmospheric air. URL: www.obles.ck.ua/index.php?option=com_content&view=categorie&layout=blog&id=59&Itemid=79
10. Communal institution «Cherkasy regional information-analytical center of medical statistics». URL: oblmedstat.ck.ua
11. US EPA. An examination of EPA risk assessment principles and practices (2004). EPA/100/B-04/001. Washington, DC: EPA, 193 p.
12. Orel, S. M., Malyovanyy, M. S., Orel, D. S. (2014) Assessment of environmental risk. Influence on human health: textbook. Khereson: OLDI-PLUS, 232 p. [in Ukrainian].

T. P. Honcharenko, *Ph.D. (Chemical Sciences), associate professor,*
e-mail: t.p.g@inbox.lv

L. I. Zhytska, *Ph.D. (Biological Sciences), associate professor*
e-mail: zhytska_lyudmila@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

**ANALYSIS AND ESTIMATION OF THE RISKS OF THE POPULATION DISEASE
DEPENDING ON THE QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR
IN THE CITY OF CHERKASY IN 2017**

The analysis of statistical information on the volumes of emissions from mobile and stationary sources of atmospheric air pollution is carried out. The assessment of complex influence of harmful substances emissions on the quality of air basin and the health of the city population is made. The reasons that lead to the accumulation of pollutants are investigated. The level of the risk of morbidity of the population of Cherkasy, living in places with dangerous pollution of atmospheric air, is calculated.

Key words: *atmospheric air, emissions, concentration, pollutant, health, risk, Cherkasy.*

Т. Є. Вуж, аспірант, старший викладач

e-mail: tatiana.vuzh@gmail.com

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

вул. Пирогова, 56, м. Вінниця, 21000, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВО-ХРОНОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ СТАЦІОНАРНИХ У ПРОСТОРІ ОБ'ЄКТІВ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Розроблено нову інформаційну технологію аналізу просторово-хронологічного впливу на стан атмосферного повітря стаціонарних у просторі об'єктів за умов невизначеності. Вплив формалізується як індивідуальний ризик захворюваності кожної людини, залежно від її перебування в той чи інший час у зоні, де має місце чи прогнозується підвищене забруднення атмосферного повітря. Сформульовано типові природні та ситуаційні невизначеності для цієї задачі, пов'язані зі збиранням вхідних даних, знанням точних місць розташування та інших параметрів стаціонарних у просторі джерел забруднення атмосферного повітря, а також динаміки розсіювання викидів від них. Запропоновано відомі та авторські методи і підходи для розкриття чи мінімізації цих невизначеностей на прикладі задачі аналізу просторово-хронологічного впливу алергенних рослин на жителів міста з використанням даних Європейської аеробіологічної мережі.

Ключові слова: інформаційна технологія, просторово-хронологічна модель, ситуаційна невизначеність, природна невизначеність, аналіз даних.

Актуальність. На стан атмосферного повітря впливає багато факторів, серед яких чільне місце займають стаціонарні у просторі об'єкти природного та антропогенного походження. Прикладами таких об'єктів є стаціонарні джерела викидів в атмосферу підприємств, ареали алергенних рослин, що своїм пилом також забруднюють атмосферу і впливають на стан здоров'я населення [1]. Саме ці види забруднень атмосфери найбільше впливають на життєдіяльність людей і тому найбільше контролюються. У світі та в Європі є спеціальні системи спостережень за цими викидами, наприклад Європейська аеробіологічна мережа (ЕАМ). В Україні теж є пости моніторингу, які входять до європейських і світових мереж. Їх дані намагаються включити у глобальні математичні моделі, наприклад у SILAM («System for Integrated modelling of Atmospheric composition»), але поки мережа не стане достатньо щільною з перекриттям зон контролю, вони будуть використовуватись у цих моделях лише як додаткові чи контрольні для перевірки прогностичних функцій моделей [2].

Головною особливістю системи моніторингу стану забруднення атмосферного повітря хімічними речовинами та пилом в Україні й аналізу та прогнозування впливу цього забруднення на життєдіяльність населення кра-

їни є розмаїття видів та рівнів невизначеності, що не дозволяє ефективно застосовувати відомі у світі методи та інформаційні технології.

Тому актуальною є класифікація цих видів невизначеностей та пошук підходів і методів, які забезпечать можливість аналізу просторово-хронологічного впливу на стан атмосфери та людей стаціонарних у просторі об'єктів за умов невизначеності. Особливо цінним є не тільки розроблення методологічної теоретичної бази, а й розроблення алгоритмів та комп'ютерних програм, які дадуть можливість обробляти вітчизняні дані з європейських та світових моніторингових мереж, дозволять знаходити нові закономірності та робити ефективне прогнозування впливу забруднення атмосферного повітря на життєдіяльність людей.

Метою статті є розроблення інформаційної технології аналізу просторово-хронологічного впливу на стан атмосфери стаціонарних у просторі об'єктів за умов невизначеності, яка об'єднає авторські та відомі підходи і методи для більш комплексної та ефективної обробки даних моніторингу.

Аналіз та класифікація видів невизначеностей. Існує багато класифікацій та видів невизначеностей [3–5]. Вони є різними у задачах з моделювання стану та управління складними системами, якими є системи за-

бруднення стану атмосферного повітря стаціонарними у просторі об'єктами природного та/чи антропогенного походження. Якщо врахувати, що у цій задачі немає взаємодії між суб'єктами, а є тільки вплив різних факторів на стан атмосферного повітря та, через нього, на людей і за умови, коли людина створює умови для такого впливу, тоді матимуть місце такі два основні типи невизначеності [4]:

- *ситуаційна* (невизначеність знань про можливі ситуації або інформаційна невизначеність) – характеризується непередбаченим впливом неконтрольованих факторів різного походження (діяльністю людини, стихійними лихами, впливами ноосфери тощо), які зумов-

люють непередбачувану поведінку досліджуваної системи – розкриття часто здійснюється шляхом вибору дій за певним критерієм оптимальності з урахуванням якогось узагальненого параметра невизначеності;

- *природна* – виникає внаслідок випадкового впливу важкопрогнозованих і важкоконтрольованих факторів природи (опадів, повеней, посух тощо).

Охарактеризуємо ці види невизначеності та підходи до їх розкриття на прикладі аналізу впливу алергенних рослин на жителів міста.

Схему впливу алергенних рослин (на прикладі амброзії) на людей зображено на рис. 1.

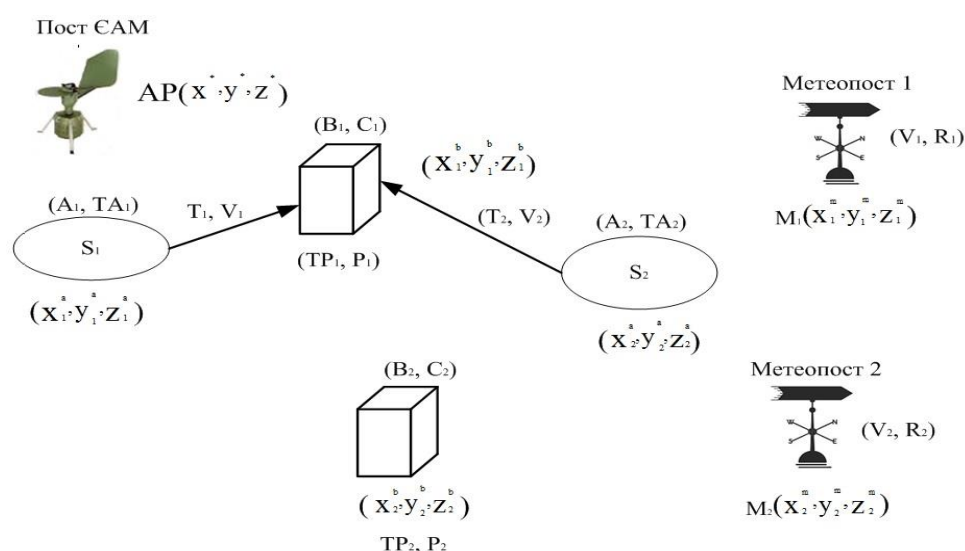


Рис. 1. Схема впливу амброзії на мешканців міста

На деякій території знаходяться багатоповерхові будинки з координатами (X_k^b, Y_k^b, Z_k^b) , в яких мешкають люди, що підпадають під вплив пилку амброзії. Ареали амброзії з площею S_i та координатами (X_i^a, Y_i^a, Z_i^a) знаходяться на певній відстані від будинків. Наявність пилку у повітрі фіксується одним із постів ЄАМ з координатами $AP(X^*, Y^*, Z^*)$, а метеорологічні умови – метеопостами з координатами $M(X_j^m, Y_j^m, Z_j^m)$.

У роботі [5] було розглянуто побудову інформаційної моделі впливу просторово-розподілених шкідливих факторів на стан здоров'я людей, з урахуванням закономірностей змін цих факторів на основі просторово-хронологічної моделі даних, а також удосконалено метод для оцінювання цього впливу.

Наведено приклад аналізу захворюваності населення на бронхіальну астму з урахуванням метеоумов. Розроблено інформаційну модель просторово-часових даних (ПЧД), за якими можна формалізувати та проаналізувати вплив алергенних рослин на здоров'я дітей чи дорослих за одним із відомих методів, наприклад за удосконаленням у цій же роботі методом «кошиків». Ця модель дозволяє знайти величину W , що характеризує силу впливу пилку рослин-алергенів на людей:

$$W_i = F(D_i, L_i, H_i), \quad (1)$$

$$D_i = G(E_i, M_i), \quad (2)$$

$$L_i = [P_i, TP_i], \quad (3)$$

$$H_i = [B_i, C_i], \quad (4)$$

$$E_i = [A_i, TA_i, S_i], \quad (5)$$

$$M_i = [V_i, R_i], \quad (6)$$

де введено такі позначення:

- TA – години найбільшого алергенного впливу рослини (початок і завершення продукування пилку протягом доби, місяця, року тощо);
- A – ареали розташування рослини (наприклад амброзії) із площею S та іншими параметрами, які утворюють множину E ;
- B – інформація про кожний будинок міста – цю інформацію можна знайти з достатньою точністю;
- H – характеристики кожного будинку і місцевості навколо нього;
- P – інформація про кожного пацієнта у кожному будинку – ця інформація є у лікарнях, саме цей показник характеризує цільову групу задачі, відносно якої аналізується вплив;
- L – характеристики людей, потенційний вплив на яких досліджується з урахуванням

параметрів TP (перебування пацієнта P в зоні дії пилку);

- M – характеристики метеофакторів, у т. ч. V – напрямок вітру – дані беруться з найближчого метеопоста;
- R – інші метеофактори, наприклад наявність опадів на території, що досліджується (вказуються лише години, коли ці опади мали місце у відповідному секторі) – дані беруться з найближчого метеопоста;
- D – місця, куди під дією метеофакторів вітер приносить пилок рослин-алергенів, які визначаються функцією (чи алгоритмом) G .

Схематичний вигляд інформаційної моделі та видів невизначеності поставленої задачі поданий у табл. 1.

Таблиця 1

Схематичний вигляд інформаційної моделі та видів невизначеності задачі

Вхідні дані	Елементи моделі (1)-(6)	Види невизначеності та що визначено	Типи невизначеності		
 Дані біологічних досліджень Дані ЄАМ $AP(x^*, y^*, z^*)$ Невизначеність Н1: неповна інформація щодо наявності пилку через ручну обробку мікроскопічних зображень з ним	TA_i $S_i - ?$ $X_i^a, Y_i^a, Z_i^a - ?$	Визначеність: Закономірності продукування пилку Невизначеність Н2: координати та параметри (площа та інтенсивність) ареалів $E(X_i^a, Y_i^a, Z_i^a) - ?$	<i>Природна невизначеність</i>	$D - ?$ Невизначеність Н5: місця, куди під дією метеофакторів вітер приносить пилок рослин-алергенів	$W - ?$
 Метеодані Місцезнаходження поста ЄАМ 	V_j R_j X_j^m, Y_j^m, Z_j^m X^*, Y^*, Z^*	Визначеність: метеодані у місцях розташування метеопостів $M(X_j^m, Y_j^m, Z_j^m)$ Невизначеність Н3: метеодані у місцях розташування постів ЄАМ $M(X^*, Y^*, Z^*)$	<i>Природна невизначеність</i>		

Продовження табл. 1

 Місто-будівний кадастр	B_k C_k X_k, Y_k, Z_k	Усі параметри визначені $H(X_k, Y_k, Z_k)$		H	
 Бази даних лікарень про пацієнтів	P_q TP_q $[t_{q0} - t_{q1}] \Rightarrow H_1$ $[t_{q1} - t_{q2}] \Rightarrow H_2$	Визначеність: інформація про адреси пацієнтів L_q Невизначеність H4: інформація про пересування пацієнтів протягом доби	Ситуаційна невизначеність	L – ?	

Деталізуємо зазначені у табл. 1 види невизначеності та запропонуємо методи і підходи щодо їх розкриття та мінімізації.

Невизначеність Н1. *Неповна інформація щодо наявності пилку через ручну обробку мікроскопічних зображень з ним.* Обробка даних з аеробіологічного моніторингу, зібраних на посту САМ у м. Вінниця, здійснюється повністю вручну: кожен із 60 видів пилку фахівець класифікує і підраховує за його мікроскопічним зображенням на плівці з вимірювального приладу типу «Буркард» і цей процес триває до двох років.

Класичний метод підрахунку в аеробіологічних експериментах ґрунтується на ручному процесі обробки аналізу зразків повітря, що вимагає високого ступеня досвіду та концентрації дослідника, який не завжди можна гарантувати. Ручний підхід триває багато часу, дуже залежить від досвіду та фізичного стану експерта, зазвичай він виконується на площі, що не перевищує 12% від загальної площі стрічки з даними за кожні дві години спостережень. Для полегшення ручного процесу аналізу зразків повітря в останні роки розроблялися автоматичні та напівавтоматичні підходи.

Автоматичний підхід є найбільш точним, але дуже дорогим і дає змогу точно розпізнати 3-6 типів пилку. Ручне розпізнавання пилку дозволяє діагностувати

майже всі типи аеробіологічного зразка. Змішаний або напівавтоматичний підхід припускає сканування зразків людиною та визнання особливостей пилку комп'ютером.

Тому для прискорення аналізу пилку у роботі [7] було розроблено структуру системи підтримки прийняття рішень (СППР) з класифікації видів алергенного пилку на основі нечітких експертних даних про їх ознаки на мікроскопічних зображеннях та удосконалено метод їх ідентифікацій. Удосконалено генетичний алгоритм навчання класифікатора з урахуванням просторово-часових особливостей поширення пилку у повітрі. Цей алгоритм може бути застосований і до інших задач класифікації об'єктів, які мають значні відмінності ознак у різний час та в різних місцях, частина з яких формалізується у вигляді категорій.

Застосування розробленої структури СППР продемонструвало ефективність удосконаленого методу за реальними даними, отриманими на пості м. Вінниця. Випробування створеної системи дало результати прийнятної точності (рис. 2).

Таким чином, застосування СППР для обробки мікроскопічних зображень дасть можливість оперативно отримувати інформацію щодо наявності пилку в атмосфері міста та усувати чи мінімізувати невизначеність Н1.

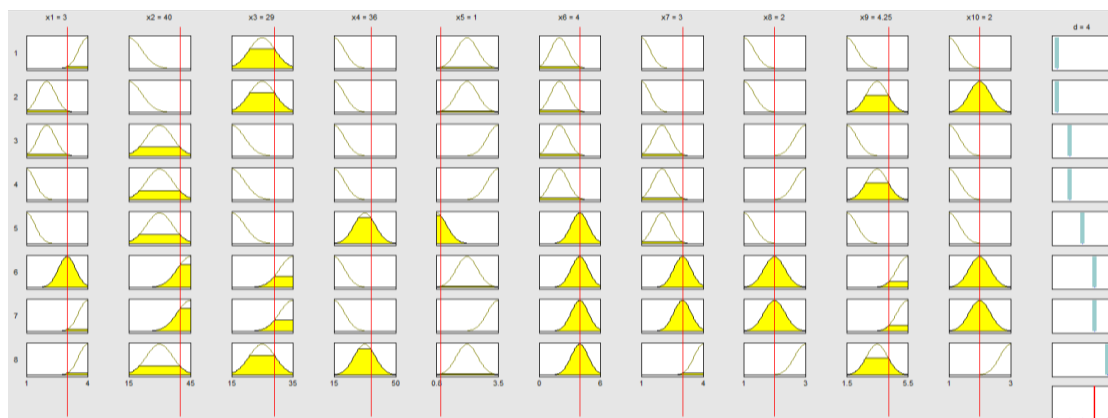


Рис. 2. Приклад з Matlab класифікації нечітких висновків для пилку *Carpinus* [7]

Невизначеність Н2. Точно не відомі координати та інші параметри (в першу чергу, площа та інтенсивність) ареалів.

Особливо ця задача ускладнюється в умовах України, де відстань між сусідніми постами сягає 280 км і більше. Оскільки місця розташування ареалів достовірно невідомі, то має місце природна невизначеність, тому що ці ареали утворюються під дією природних факторів. Для розкриття цієї невизначеності було розроблено метод, що базується на просторово-хронологічній моделі поширення пилку у повітрі від цих ареалів [8] – метод здійснює зворотне розв'язання задачі поширення пилку, тобто за даними ретроспективних спостережень за наявністю пилку у повітрі АР і метеоданими М оцінює параметри ареалів, які формалізуються у вигляді еліпсів (оцінюються координати центру, радіуси, нахил еліпсу та площа), з яких надійшов цей пилок:

$$E_i = Q[AP_i, AP_{i-1}, \dots, M_i, M_{i-1}, \dots]. \quad (7)$$

Розроблено комп'ютерну програму мовою програмування R, яка автоматизує застосування цього методу за даними одного поста ЄАМ і метеоданих для вимірювань за кожні дві години протягом періоду найбільш активної палінації пилку.

Для усунення невизначеності годин TA_i найбільшого алергенного впливу рослини (початок і завершення продукування пилку протягом доби, місяця, року тощо) для Європи можна, у першому наближенні, скористатись результатами робіт [2, 9], згідно з якими продукування починається через 135 хвилин (перший пік) і 285 хвилин (другий пік) після сходу сонця. Піки продукування пилку амброзії також залежать від вологості повітря (рис. 3).

Невизначеність Н3. Неточні метеодані у місцях розташування постів ЄАМ.

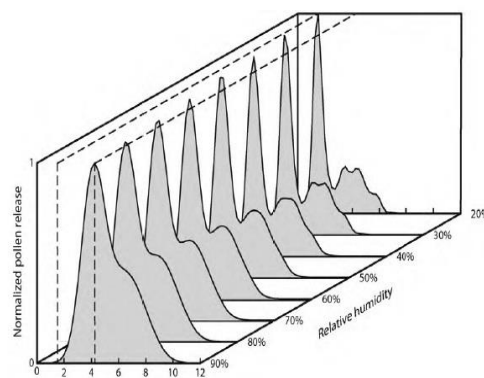


Рис. 3. Результати досліджень продукування пилку за умов постійної відносної вологості [9]

Ця невизначеність пов'язана з тим, що в Україні часто стаціонарні метеопости є досить віддаленими від постів, наприклад ЄАМ, а пости ЄАМ, через фінансові складнощі, не обладнані портативними метеостанціями. Такі станції придбати і встановити можна, але треба мінімізувати їх вартість, для чого варто спочатку визначити, що саме ними слід вимірювати.

Було проведено кореляційний аналіз вмісту пилку в повітрі міста з метеорологічними даними щодо стану цього повітря, який дозволив відпрацювати технологію такого аналізу, виявлення закономірностей та визначення можливих причин їх появи [10]. В результаті аналізу було виявлено кореляційний зв'язок між наявністю алергенного пилку в атмосфері міста та напрямком вітру (у градусах) (DD) – 0,80, швидкістю вітру на висоті 10-12 м над землею поверхнею (Ff) – 0,71, температурою точки роси на висоті 2 м над поверхнею землі (Td) – 0,62, відносною вологістю (%) на висоті 2 м над поверхнею землі (U) – 0,50, тобто виявлено наявність стохастичного зв'язку (рис. 4).

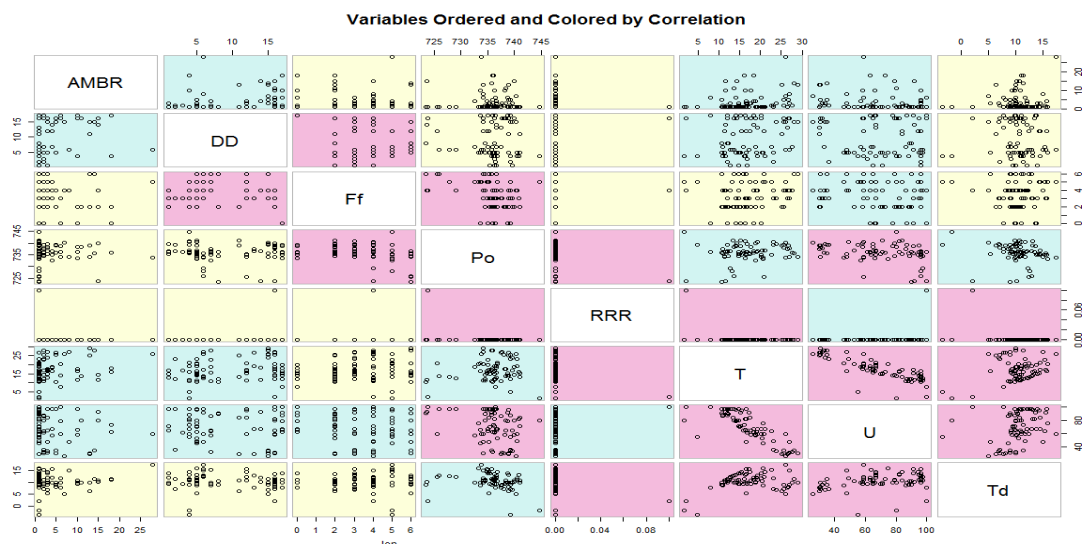


Рис. 4. Результат кореляційного аналізу між вмістом пилку амброзії в атмосферному повітрі м. Вінниця у 2013 р. та основними метеоданими, зібраними з якомога меншим інтервалом (2-3 години) (більш темні комірки (прямокутники) відповідають більшим значенням кореляції) [10]

Це дозволило уточнити та мінімізувати кількість метеопараметрів, які дійсно варто вимірювати безпосередньо біля поста ЄАМ для підвищення точності урахування метеоумов, які супроводжували кожне виміряне ним значення. Було запропоновано доповнити пристрій Burkard комплексом додаткових приладів, тобто побудувати інформаційно-вимірювальну систему, центральним елементом якої буде цей пристрій. Це дозволить підвищити точність аналізу вмісту пилку алергенних рослин в атмосферному повітрі міст та мінімізувати невизначеність НЗ.

Невизначеність Н4. Інформація про пересування пацієнтів протягом доби.

Для розкриття цієї ситуаційної невизначеності пропонується згенерувати типові можливі варіанти (рис. 5) і для кожного оцінити потенційний ризик – для цього у роботі [11] було удосконалено відомий метод «кошиків» (basket-метод) для комплексного оцінювання впливу просторово-розподілених шкідливих факторів на стан здоров'я людей на основі просторово-хронологічної інформаційної моделі, за рахунок просторової формалізації усіх факторів по секторах навколо будинків, де можуть знаходитись люди протягом доби, та узагальнення значень показників цих факторів по характерних періодах протягом доби.

Також ефективним підходом усунення невизначеності інформації про пересування населення є використання медичних браслетів з GPS чи звичайних смартфонів зі спеціальним додатком, що буде точно фіксувати маршрути пацієнтів за їх бажанням.

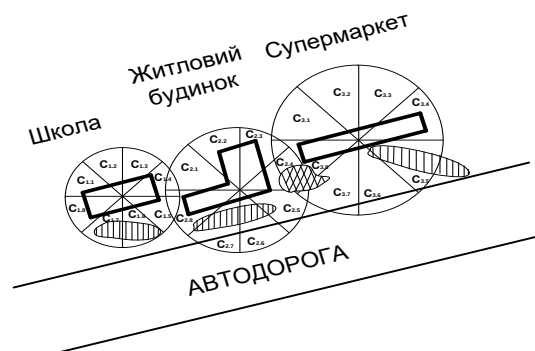


Рис. 5. Схема ділянки вулиці міста з трьома типами будинків, де може перебувати, наприклад, дитина протягом доби, та чотирма ареалами поширення амброзії [11]

Невизначеність Н5. Місце D, куди під дією метеофакторів вітер приносить пилок рослин-алергенів, що визначається функцією (чи алгоритмом) G – природно-ситуаційна невизначеність, оскільки це обумовлено як дією природних факторів, так і забудовою місцевості та іншими особливостями, на що може впливати антропогенна діяльність; для розкриття природної складової цієї невизначеності слід спочатку ідентифікувати місця розташування ареалів методом, зазначеними вище для розкриття невизначеності Н1, побудувати регресійну модель прогнозування інтенсивності продукування пилку залежно від метеофакторів за попередній період (наприклад, використовуючи методологію роботи [12]) і потім, знаючи дані метеопрогнозу, здійснювати прогнозування місць D та значень AP, які потім, у свою чергу, можуть ви-

користовуватися в моделі (1)-(6) для уточнення параметрів E та S :

$$AP_{i+1} = F_3(E_i, M_{i+1}). \quad (8)$$

Розкриття ситуаційної складової невизначеності щодо D запропоновано здійснювати шляхом вибору оптимальної системи координат. В роботі [13] набув подальшого розвитку метод формалізації та обробки даних про ареали розташування карантинних рослин шляхом побудови геоінформаційної моделі просторово-розподілених природних шкідливих факторів, які впливають на стан здоров'я людей, що знаходяться у зоні цього впливу, з урахуванням просторово-часових закономірностей змін цих факторів на основі просторово-хронологічних моделей даних, а також удосконалення методу оцінювання цього впливу. Як відомо, вміст у повітрі пилку алергенних рослин, як правило, зменшується з висотою. Тому при створенні інформаційної моделі для визначення ризику захворювання населення на бронхіальну астму необхідно окремо аналізувати відстань між зонами умовного розсіювання пилку від ареалів амброзії до будинку не тільки на площині координат (X, Y), а й по висоті (H) відносно кожного поверху будинку, на якому проживає людина.

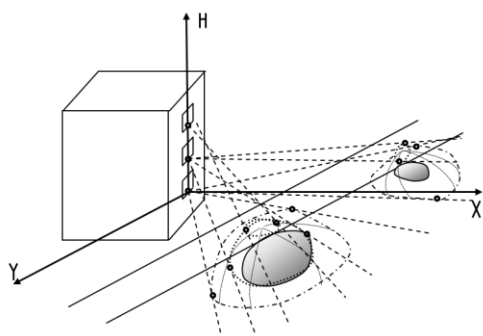


Рис. 6. Приклад формалізованої схеми розташування ареалів амброзії (суцільно заштриховані зони) з їх умовними зонами розсіювання пилку (вітер дує в бік будинку) як по ширині, так і по висоті, відносно різних поверхів будинку [13]

У разі розкриття усіх невизначеностей стає можливим безпосереднє кількісне оцінювання просторово-хронологічного впливу стаціонарних у просторі об'єктів через стан атмосферного повітря на здоров'я людей. У роботі [14] для цього запропоновано вираз для обчислення індивідуального ризику R_j захворюваності кожної j -ї людини (пацієнта) від впливу рослин-алергенів, формалізованого у вигляді просторово-хронологічної моделі:

$$R_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{ij} \frac{S(U_{ij})}{C(U_{ij})} \cdot k_{vij}, \quad (9)$$

де $S(U_{ij})$ – площа розповсюдження карантинного організму у секторі U_{ij} , га; $C(U_{ij})$ – площа сектора, га; n – кількість дат, для яких виявлено збіг умов для j -ї людини у зоні дії природних факторів; k_{vij} – коефіцієнт, який характеризує силу вітру в i -й момент часу відносно місця розташування j -ї людини (дату, годину чи ін.) у відсотках від критичної

$$k_{v_i} = \begin{cases} \frac{v_i}{v_m}, & v_i \leq v_m, \\ 1, & v_i > v_m \end{cases}$$

де v_m – мінімальна швидкість вітру, за якої весь пилкоз з ареалів амброзії долітає до місця розташування людини.

Висновок. Враховуючи вищезазначене, можна зазначити, що мета цієї статті досягнена. Розроблено інформаційну технологію аналізу просторово-хронологічного впливу на стан атмосферного повітря стаціонарних у просторі об'єктів за умов невизначеності. Така технологія включила в себе й об'єднала авторські та відомі підходи, методи, алгоритми і програми для більш комплексної та ефективної обробки даних моніторингу.

Список літератури

1. Жицька Л. І. Екологічна оцінка впливу функціонування АЗС на атмосферу міста Сміла. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2014. № 1. С. 74–80.
2. Sofiev M., Siljamo P., Ranta H., Linkosalo T., Jaeger S., Rasmussen A., Rantio-Lehtimäki A., Severova E., Kukkonen J. A. Numerical model of birch pollen emission and dispersion in the atmosphere. Description of the emission module. *Int. J. Biometeorol.* 2013. 57. P. 45–48. doi: 10.1007/s00484-012-0532-z.
3. Дубовий В. М., Кветний Р. Н., Михайлов О. І., Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем: підручник. Вінниця: ТД «Едельвейс», 2017. С. 116–125.
4. Згуровский М. З., Панкратова Н. Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. Киев: Наук. думка, 2011. 728 с.
5. Глонь О. В., Дубовий В. М. Моделювання систем керування в умовах невизначено

- сті: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 169 с.
6. Мокін В. Б., Вуж Т. Є. Оцінювання впливу просторово-розподілених шкідливих факторів на стан здоров'я населення на основі просторово-хронологічної моделі даних. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2014. Т. 28. № 2. С. 71–80.
 7. Mokin V. B., Kozachko O. M., Rodinkova V. V., Palamarchuk O. O., Vuzh T. Ye. The decision support system for the classification of allergenic pollen types based on fuzzy expert data of pollen features on the microscope images. *Electrical and Computer Engineering (UKRCON): IEEE First Ukraine Conf. on 29 May-2 June 2017*. INNS: 17353707. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100368. P. 850–856.
 8. Мокін В. Б., Вуж Т. Є. Метод просторово-часового оцінювання параметрів стаціонарних у просторі об'єктів по їх сумарному впливу в одній точці. *Проблеми інформаційних технологій*. Херсон: ХНТУ, грудень 2017.
 9. Martin Michael D., Chamecki Marcelo, Brush Grace S. Anthesis synchronization and floral morphology determine diurnal patterns of ragweed pollen dispersal. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2010. 150. P. 1307–1317. doi: 10.1016/j.agrformet.2010.06.001.
 10. Mokin V. B., Rodinkova V. V., Vuzh T. Ye., Wojcik W., Sailarbek S. The improvement of the monitoring system on the basis of Burkard to raise the analysis accuracy for the allergic pollen found in the atmospheric air of the city. *Przegląd Elektrotechniczny*. ISSN 0033-2097, R. 93 NR 5/2017. doi: 10.15199/48.2017.05.17.
 11. Mokin V. B., Vuzh T. Ye., Wójcik W., Imanbek B. Control and minimization of allergenic plants impact on bronchial asthma morbidity, based on spatial-temporal data model. *SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015*, 98161M (December 18, 2015). doi:10.1117/12.2229083.
 12. Родінкова В. В., Мотрук І. І., Александрова О. Є. Вплив метеорологічних факторів на концентрацію алергенного пилку трав'янистих рослин в атмосферному повітрі Вінницької області. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2016. № 2 (Т. 20). С. 366–369.
 13. Мокін В. Б., Вуж Т. Є. Побудова геоінформаційної моделі природних шкідливих факторів, які впливають на стан здоров'я людей, на основі просторово-хронологічної моделі даних у циліндричній системі координат. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф., 5–9 жовтня 2015 р. Київ, 2015*. С. 121–125.
 14. Мокін В. Б., Вуж Т. Є. Аналіз ризику впливу алергенних рослин на здоров'я дітей чи дорослих у населених пунктах на основі просторово-хронологічної моделі даних. *Екологічна безпека та природокористування: фаховий зб. № 16*. Київ: КНУБіА. С. 54–59.

References

1. Zhytska, L. I. (2014) Environmental assessment of the impact of gas station operation on the atmosphere of Smila. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 1, pp. 74–80 [in Ukrainian].
2. Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., Linkosalo, T., Jaeger, S., Rasmussen, A., Rantio-Lehtimäki, A., Severova, E., Kukkonen, J. (2013) A numerical model of birch pollen emission and dispersion in the atmosphere. Description of the emission module. *Int. J. Biometeorol.*, (57), pp. 45–48. doi: 10.1007/s00484-012-0532-z.
3. Dubovyi, V. M., Kvietnyi, R. N., Mykhailov, O. I., Usov, A. V. (2017) Modeling and optimization of systems: a textbook. Vinnytsya: TD "Edelweiss", pp. 116–125 [in Ukrainian].
4. Zgurovsky, M. Z., Pankratova, N. D. (2011) System analysis: problems, methodology, applications. Kiev: Naukova dumka, 728 p. [in Russian].
5. Glon, O. V., Dubovyi, V. M. (2004) Modeling of control systems under uncertainty: monograph. Vinnytsya: UNIVERSUM-Vinnytsia, 169 p. [in Ukrainian].
6. Mokin, V. B., Vuzh, T. Ye. (2014) Estimation of influence of spatially distributed harmful factors on the state of health of the population on the basis of spatio-chronological data model. *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii*, vol. 28 (2), pp. 71–80 [in Ukrainian].
7. Mokin V. B., Kozachko O. M., Rodinkova V. V., Palamarchuk O. O., Vuzh T. Ye.

- (2017) The decision support system for the classification of allergenic pollen types based on fuzzy expert data of pollen features on the microscope images. *Electrical and Computer Engineering (UKRCON): IEEE First Ukraine Conf. on 29 May-2 June 2017*. INNS: 17353707, doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100368, pp. 850–856.
8. Mokin, V. B., Vuzh, T. Ye. (2017) Method of spatial-temporal estimation of parameters of stationary objects in space according to their total impact at one point. *Problemy informatsiynykh tekhnolohii*. Kherson: KhNTU, December [in Ukrainian].
 9. Martin, Michael D., Chamecki, Marcelo, Brush, Grace S. (2010) Anthesis synchronization and floral morphology determine diurnal patterns of ragweed pollen dispersal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, pp. 1307–1317, doi: 10.1016/j.agrformet.2010.06.001.
 10. Mokin, V. B., Rodinkova, V. V., Vuzh, T. Ye., Wojcik, W., Sailarbek, S. (2017) The improvement of the monitoring system on the basis of Burkard to raise the analysis accuracy for the allergic pollen found in the atmospheric air of the city. *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 5/2017, doi: 10.15199/48.2017.05.17.
 11. Mokin, V. B., Vuzh, T. Ye., Wójcik, W., Imanbek, B. (2015) Control and minimization of allergenic plants impact on bronchial asthma morbidity, based on spatial-temporal data model. *SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 98161M (December 18, 2015). doi:10.1117/12.2229083.
 12. Rodinkova, V. V., Motruk, I. I., Alexandrova, O. E. (2016) Influence of meteorological factors on the concentration of allergenic pollen of herbaceous plants in the atmospheric air of Vinnytsia region. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho medychnoho universytetu*, No. 2 (20), pp. 366–369 [in Ukrainian].
 13. Mokin, V. B., Vuzh, T. Ye. (2015) Construction of a geoinformation model of natural harmful factors that affect the health of people, based on spatio-chronological model of data in a cylindrical coordinate system. *Suchasni informatsiini tekhnolohii upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu, pryrodokorystuvanniam, zakhodamy v nadzvychaynykh sytuatsiakh: XIV Internat. sci.-pract. conf.*, October, 5–9, Kyiv, pp. 121–125 [in Ukrainian].
 14. Mokin, V. B., Vuzh, T. Ye. Analysis of the risk of allergenic plants affecting the health of children or adults in settlements based on spatial-chronological data model. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia: professional coll.*, No. 16. Kyiv: KNUBAA, pp. 54–59 [in Ukrainian].

T. Ye. Vuzh, postgraduate student, senior lecturer,
e-mail: tatiana.vuzh@gmail.com

National M. I. Pirogov Medical University, Vinnytsya
Pirogova str., 56, Vinnytsya, 21000, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY OF THE ANALYSIS OF SPATIAL-TEMPORAL INFLUENCE ON THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR OF STATIONARY IN SPACE OBJECTS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

A new information technology of the analysis of spatial-temporal influence on the state of atmospheric air of stationary in space objects under uncertainty has been developed. The influence is formalized as an individual risk of morbidity of each person, depending on its stay at one time or another in the zone where there is or is predicted increased pollution of atmospheric air. Typical natural and situational uncertainties for this task, related to the collection of input data, the knowledge of precise locations and other parameters of stationary in space sources of atmospheric air pollution, as well as the dynamics of emission from them are formulated. Known and author methods and approaches for revealing or minimizing these uncertainties on the example of the task of analyzing spatial-temporal influence of allergenic plants on city residents using the data of the European Aerobic Network, are offered.

Key words: information technology, spatial-temporal model, situational uncertainty, natural uncertainty, data analysis.

В. В. Туз, к.т.н., доцент,
e-mail: clava2005@gmail.com

Т. Ю. Кісіль, к.т.н., доцент
e-mail: kisiltetyana@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет
6-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна,

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМОТЕХНІЧНОЇ МОДЕЛІ БІМОРФНОГО П'ЄЗОЕЛЕМЕНТА ДИНАМІЧНИХ ТИСКІВ З ДВОКОНТУРОВИМ ВІД'ЄМНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Розглянуто питання щодо вибору оптимальної схемотехнічної моделі біморфного п'єзоелемента динамічних тисків з двоконтуровим від'ємним зворотним зв'язком та досліджено характеристики п'єзоперетворювачів з вихідним підсилювачем заряду та підсилювачем напруги в додатковому каналі зворотного зв'язку.

Ключові слова: біморфний п'єзоелемент, п'єзоперетворювач, від'ємний зворотний зв'язок, температурні параметри, часові параметри, підсилювач заряду, підсилювач напруги.

Постановка проблеми. Як відомо, від характеристик перетворювачів значною мірою залежать точність і надійність роботи систем керування та регулювання, приладів контролю технологічних процесів, навколишнього середовища, безпеки роботи морських об'єктів, тому роботи по створенню нових та вдосконаленню відомих перетворювачів є досить актуальними.

В гідро- та електроакустиці, вимірювальній техніці й інших галузях контролю та вимірювання багатьох фізичних величин – сили, динамічного і статичного тиску, густини та інших величин – широке застосування знайшли п'єзоперетворювачі. Вони мають високу чутливість, малі габарити і масу, високу завадостійкість, малий рівень власних шумів, підвищену радіаційну стійкість.

Досягнуто значних результатів у цій галузі, внаслідок чого було розроблено велику кількість перетворювачів. Однак головним їх недоліком є обмежений робочий діапазон частот перетворювачів, зумовлений малою резонансною частотою п'єзоелемента.

Тому роботи по вдосконаленню поліморфних, у тому числі й найбільш поширених біморфних, п'єзоперетворювачів динамічних тисків для отримання нових властивостей, розширення робочого діапазону частот, а також підвищення стабільності температурних і часових параметрів п'єзоперетворювачів систем управління є актуальними.

Аналіз джерел досліджень і публікацій. При введенні зворотного зв'язку елект-

ричні сигнали вводяться і знімаються з п'єзоелемента за допомогою металевих електродів, розташованих на поверхні перетворювача. Однак через обмежені розміри електродів електричний сигнал зворотного зв'язку не може впливати на весь об'єм п'єзоелемента. Це знижує ефект від введення зворотного зв'язку і не дозволяє в ряді випадків досягти потрібних результатів. Таким чином, на практиці виконання умов рівності нулю похибки виміру ($\gamma=0$) є важкодосяжним [1].

Для компенсації зазначеної недостатності раніше було запропоновано використовувати метод структурно-енергозберігаючої трансформації з двоконтурним простим електромеханічним негативним зворотним зв'язком (ПЕСС) [2–5].

Як узгоджувальні підсилювачі в ланцюгах зворотних зв'язків у п'єзоперетворювачах можуть використовуватися як підсилювачі заряду, так і підсилювачі напруги, з виходу яких знімається корисний сигнал.

Нині з п'єзоелектричними датчиками застосовуються так звані підсилювачі заряду. Вони повністю виключають вплив довжин зв'язних кабелів на загальну чутливість відповідних комплектів і систем і, отже, допускають застосування зв'язних кабелів практично будь-якого розміру.

В роботах Шарапова В. М. [5, 6] і Мусієнка М. П. [1] розглянуто п'єзоперетворювачі з двоконтурним зворотним зв'язком, де як основний (вихідний) підсилювач засто-

совується напруга підсилювача, а в каналі додаткового зворотного зв'язку – підсилювачі напруги та заряду. У цих роботах не розглянуто перетворювачі, де як основний підсилювач виступає підсилювач заряду, а додатковий – напруги. Крім того, дослідження проводилися тільки для мономорфних п'єзоелементів, що також є лише окремим випадком великого класу п'єзоперетворювачів.

Мета роботи – вибір оптимальної схемотехнічної моделі біморфного п'єзоелемента динамічних тисків з двоконтуровим від'ємним зворотним зв'язком і дослідження п'єзоперетворювачів з вихідним підсилювачем заряду та підсилювачем напруги в додатковому каналі зворотного зв'язку.

Постановка задачі. П'єзоелемент поляризовано так, як це зображено на рис. 1. Електроди на відповідних гранях розділені на дві частини, утворюючи чотири пари електродів. Для чотирьох пар електродів (1-1', 2-2', 3-3', 4-4') вектор поляризації P направлений перпендикулярно цим електродам.

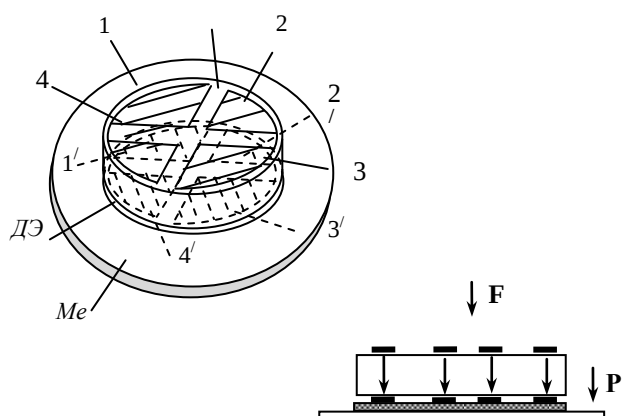


Рис. 1. Біморфний п'єзоелемент:
1-1', 2-2', 3-3', 4-4' – електроди

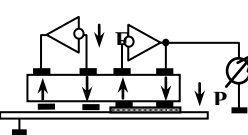
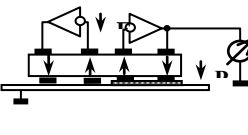
Підключення до такого електрода будемо позначати на схемах перетворювачів вертикальною стрілкою ($\downarrow$). Такий перетворювач є традиційним і буде мати властивості вібраційних систем [2, 5, 7]. Всі можливі варіанти перетворювачів наведено в табл. 1. У варіантах перетворювачів № 1-9 вектор сили F , що прикладається, паралельний вектору поляризації P .

Таблиця 1

Можливі варіанти перетворювачів

№ варіанта	Електроди				Схема перетворювача
	Основний канал з підсилювачем заряду		Додатковий канал з підсилювачем напруги		
	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	
1	1	1'	3-3'	4-4'	
2	1	1'	3'-3	4-4'	
3	1	1'	3-3'	4'-4	
4	2	1	3-3'	4-4'	
5	2'	1	3-3'	4-4'	
6	1'	2	3-3'	4-4'	
7	2'	1	3'-3	4-4'	

Продовження табл. 1.

8	2'	1	3-3'	4'-4	
9	2'	1	3'-3	4-4'	

Структурну схему перетворювача зображено на рис. 2.

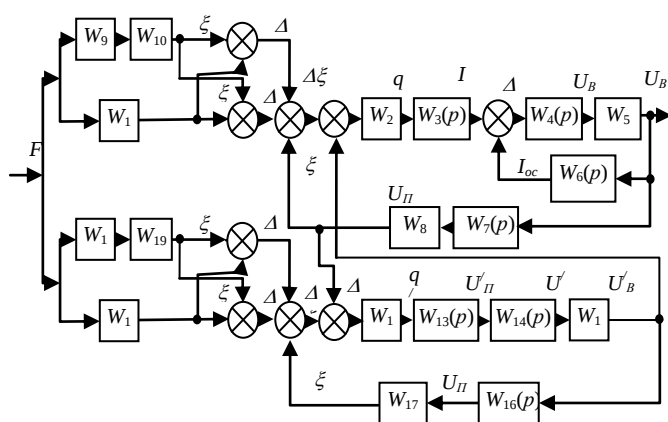


Рис. 2. Структурна схема п'єзоперетворювачів з двоконтуровим зворотним зв'язком з вихідним підсилювачем заряду і підсилювачем напруги в додатковому каналі зворотного зв'язку

$W_1, W_{11}, W_9, W_{19}, W_{18}$ і W_{10} – коефіцієнти передачі ланок, що відповідають перетворенню сили F , яка діє на п'єзоелемент, в деформацію п'єзоелемента; W_2 і W_{12} – перетворення ξ в заряд q на електродах п'єзоелемента; $W_3(p)$ – перетворення заряду q в ток I_q , який створює п'єзоелемент; $W_4(p)$ – перетворення сумарного струму у вхідну напругу, що надходить на вхід підсилювача заряду U_{BX} ; W_5 – посилення підсилювача заряду; $W_6(p)$ – перетворення вихідної напруги підсилювача $U_{ВХ}$ в струм зворотного зв'язку $I_{зз}$, що проходить через конденсатор зворотного зв'язку (33) операційного підсилювача; $W_7(p)$ і $W_{16}(p)$ – передача вихідної напруги підсилювача $U_{ВХ}$ в напругу між електродами п'єзоелемента $U_{ПЕ}$; W_8 і W_{17} – перетворення $U_{ПЕ}$ в деформацію п'єзоелемента; $W_{13}(p)$ – перетворення q' в напругу на електродах п'єзоелемента U' ПЕ₁; $W_{14}(p)$ – перетворення U' ПЕ₁ в напругу на

вході підсилювача напруги; W_{15} – посилення підсилювача напруги.

Передавальна функція має вигляд:

$$W_{oc}(p) = \frac{2 \cdot W_2 \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) \cdot W_5 \times}{1 + W_{12} \cdot W_{13}(p) \cdot W_{14}(p) \cdot W_{15} \cdot W_{16}(p) \cdot W_{17} + W_4(p) \cdot W_5 \times} \\ \times [W_1 - W_9 \cdot W_{10}] \cdot [1 + W_{12} \cdot W_{13}(p) \cdot W_{14}(p) \cdot W_{15} \cdot W_{16}(p) \cdot W_{17}] + \\ \times [W_6(p) \cdot [1 + W_{12} \cdot W_{13}(p) \cdot W_{14}(p) \cdot W_{15} \cdot W_{16}(p) \cdot W_{17}] + \\ + W_{12} \cdot W_{13}(p) \cdot W_{14}(p) \cdot W_{15} \cdot [W_{18} \cdot W_{19} - W_{11}]] \\ + W_2 \cdot W_3(p) \cdot W_8 \cdot W_7(p) \times \\ \times [1 + W_{12} \cdot W_{13}(p) \cdot W_{14}(p) \cdot W_{15} \cdot [W_{16}(p) \cdot W_{17} - 1]]]$$

Ланка з коефіцієнтом передачі W_1 відповідає перетворенню сили F , що діє на п'єзоелемент, в механічне напруження σ ; де F_m – діюча сила, m – маса п'єзоелемента, Δ – коефіцієнт згасання системи, F_p – частота власного резонансу, f – частота [1, 7, 8].

Тоді,

$$W_1 = \frac{Fm}{\sqrt{m^2 \cdot (Fp^2 - f)^2 + (2 \cdot m \cdot \Delta)^2 \cdot f^2}}$$

Ланка W_2 відповідає перетворенню механічної напруги в заряд q на електродах п'єзоелемента. Оскільки $q = d_{ij} \Delta \sigma$, то

$$W_2 = q / \Delta \sigma = d_{ij} S,$$

де d_{ij} – п'єзомодуль.

Ланка $W_3(p)$ – перетворення заряду q в струм I_q , який створює п'єзоелемент:

$$I_q = \frac{dq}{dt}$$

Тоді, з урахуванням переходу в Лапласовий простір, отримаємо:

$$W_3(p) = \frac{I_q}{q} = p$$

де p – оператор Лапласа.

Ланка $W_4(p)$ відповідає перетворенню сумарного струму у вхідну напругу, що надходить на вхід підсилювача U_{BX} :

$$U_{BX} = \frac{1}{C_\Sigma} \int I_q dt$$

де $C_\Sigma = C_{ПЭ} + C_K + C_{BX}$, $C_{ПЭ}$ – ємність п'єзоелемента, C_K – ємність з'єднувального кабелю і відповідних з'єднувачів, C_{BX} – ємність вхідного ланцюга підсилювача заряду.

Передавальна функція ланки $W_4(p)$ має вигляд:

$$W_4(p) = \frac{U_{BX}}{I_q} = \frac{1}{C_\Sigma \cdot p}$$

Ланка W_5 відповідає процесу посилення підсилювача заряду:

$$W_5 = K_{УЗ}$$

Ланка $W_6(p)$ відповідає перетворенню вихідної напруги підсилювача $U_{\text{вих}}$ в струм зворотного зв'язку I_{OC} , що проходить через конденсатор зворотного зв'язку операційного підсилювача

$$U_{BILX} = \frac{I}{C_{\Sigma}} \cdot \int I_{OC} dt$$

де $C_{\Sigma} = C_{\Sigma 3} + C_{\Sigma \text{вих}}$, $C_{\Sigma 3}$ – ємність конденсатора в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача, $C_{\Sigma \text{вих}}$ – ємність вихідного ланцюга підсилювача.

Після перетворення отримаємо:

$$W_6(p) = \frac{I_{OC}}{U_{BILX}} = C_{\Sigma} \cdot p$$

Ланка з коефіцієнтом передачі W_7 відповідає перетворенню сили F , що діє на п'єзоелемент, в механічне напруження σ :

$$W_7 = \frac{BEhy}{R^2}$$

де h – товщина пластини біморфного п'єзоелемента, E – модуль пружності матеріалу пластини, y – переміщення центру пластини, що залежать від впливу сили

$$B = \frac{4}{1-\mu} \cdot \frac{k^2(k^2-1)}{k^4-4k^2 \cdot \ln k - 1} \quad k = \frac{R}{r}$$

R, r – радіус пластини біморфного п'єзоелемента відповідно. μ – коефіцієнт Пуассона.

Ланка W_8 відповідає перетворенню механічної напруги в деформацію біморфного п'єзоелемента

$$W_8 = \frac{\sigma}{E}$$

Було розроблено кілька варіантів схем, запропонованих на рис. 3 [9, 10].

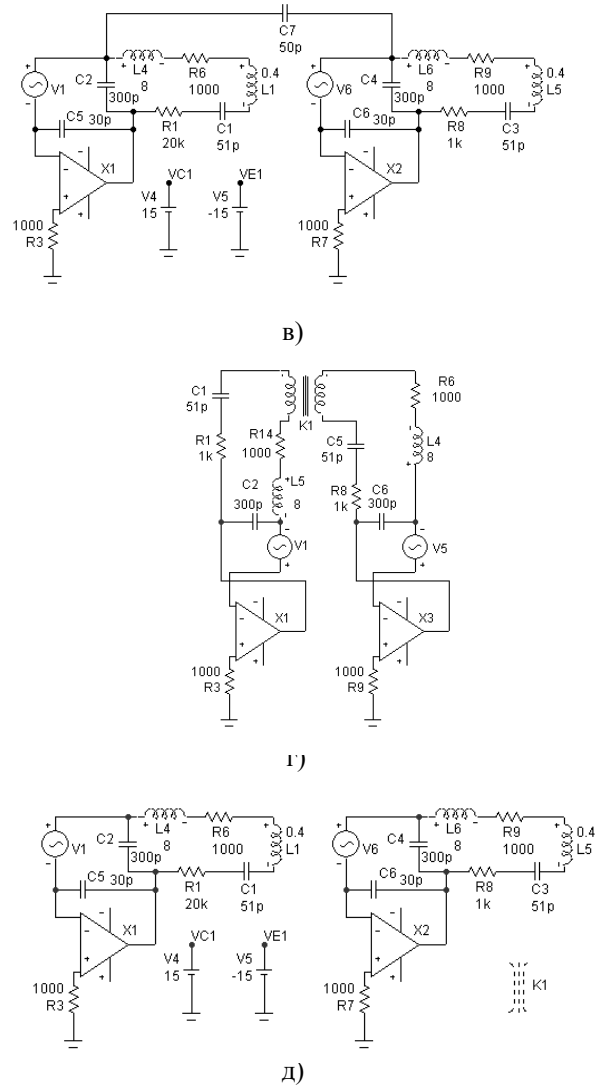
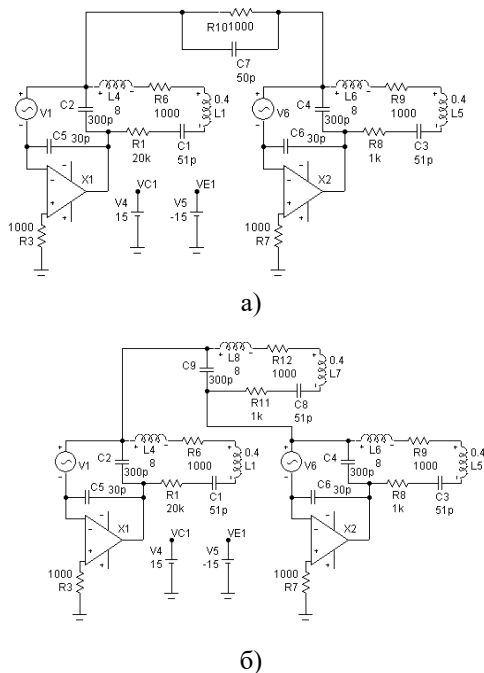


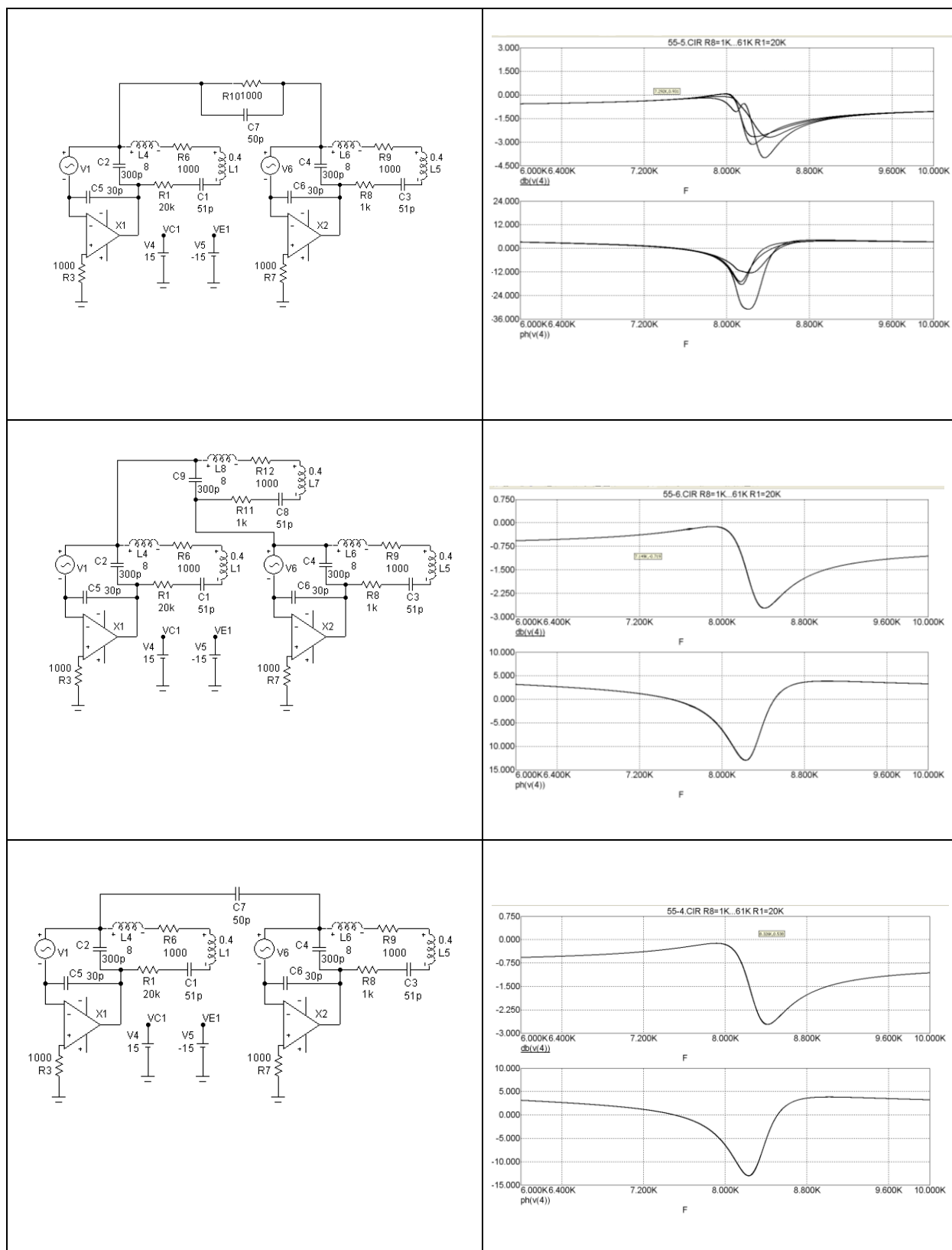
Рис. 3. Пов'язані коливальні системи поліелектродних п'єзокерамічних елементів:
а) зі зв'язком через RC-контур; б) зі зв'язком через RLC-контур; в) з зовнішньо-ємнісним зв'язком; г) з трансформаторним зв'язком; д) з взаємодукцією

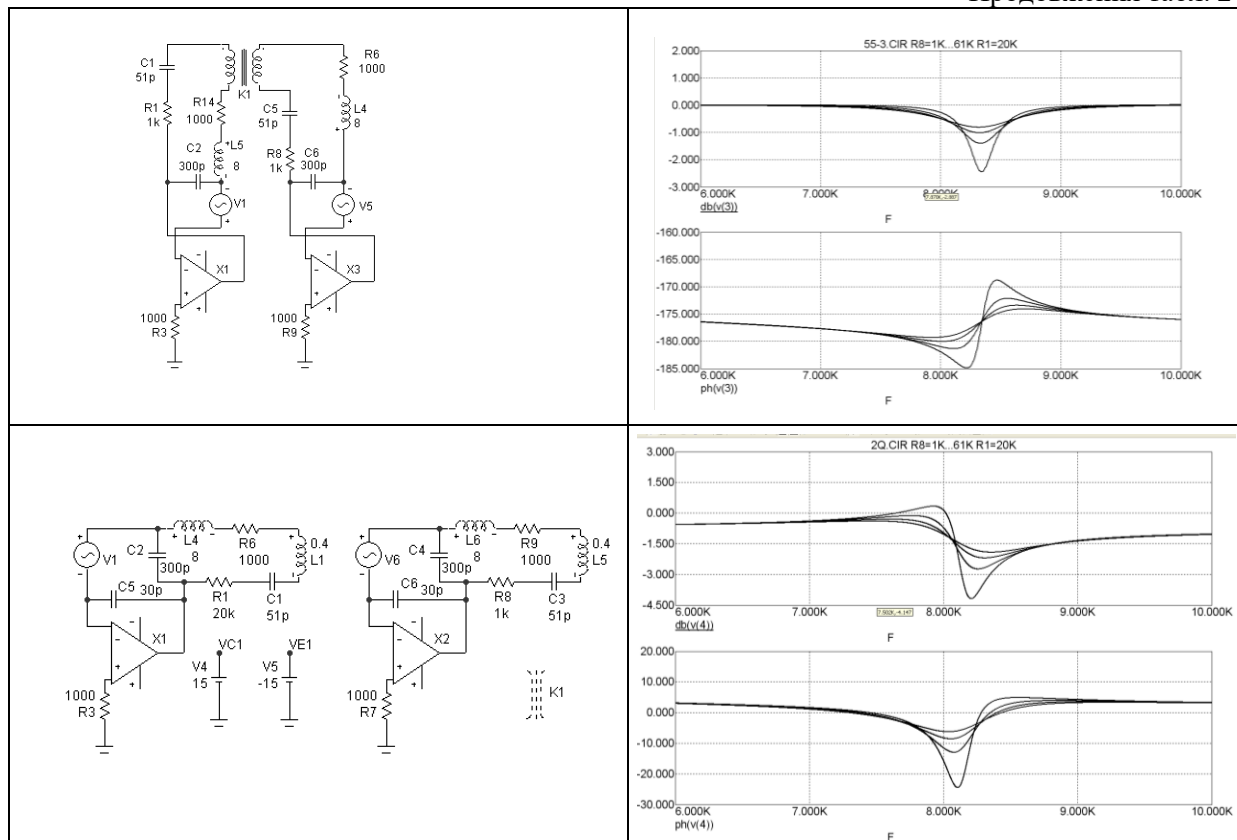
Результати моделювання варіантів схем п'єзоперетворювачів у програмі MicroCap запропоновані в табл. 2.

Під час детального порівняння амплітудно-частотних характеристик усіх варіантів схем (табл. 2) з експериментальними результатами було встановлено, що найбільш точно процеси, які відбуваються в поліелектродних п'єзоелементах, описує схема, зображена на рис. 3, в) зв'язок через взаємодукцію.

В результаті порівняння експериментальних результатів з теоретичними похибками схемотехнічного моделювання (для схеми рис. 3, д) – 3%.

Пов'язані коливальні системи





Висновок. Досліджено схемотехнічні моделі біморфних п'єзоелементів, виявлено оптимальну електричну схему і п'єзоперетворювачі з вихідним підсилювачем заряду та підсилювачем напруги в додатковому каналі зворотного зв'язку. Отримано амплітудно-частотні, фазо-частотні характеристики та перехідні характеристики п'єзоперетворювачів. Отримані дані збігаються з результатами теоретичних досліджень.

Список літератури

1. Мусиенко М. П. Полиморфные пьезокерамические преобразователи давления с пространственной электромеханической отрицательной обратной связью: дис. докт. техн. наук: 05.13.05. Одесса, 2006. 172 с.
2. Шарапов В. М., Мусиенко М. П. и др. Пьезокерамические преобразователи с дополнительным каналом обратной связи. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2004. № 3. С. 101–107.
3. Шарапов В. М., Мусиенко М. П. Определение условий повышения точности пьезопреобразователей с двумя цепями обратной связи. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2005. № 2. С. 24–27.
4. Шарапов В. М., Мусиенко М. П. Повышение точности пьезопреобразователей с двумя цепями пространственной электромеханической отрицательной обратной связи. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2005. № 2.
5. Шарапов В. М., Мусиенко М. П. Пьезопреобразователи с двумя цепями пространственной электромеханической отрицательной обратной связи. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* 2005. № 1.
6. Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарпова Е. В. Пьезокерамические преобразователи физических величин / под ред. В. М. Шарапова. Черкассы: ЧГТУ, 2005. 631 с.
7. Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Туз В. В. Пьезоэлектрический преобразователь с

- п'єзоелементом в цепі обратної зв'язи усилителя заряда. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2006. № 2. С. 118–120.
8. Шарапов В. М., Минаев И. Г., Бондаренко Ю. Ю., Кисиль Т. Ю., Мусиенко М. П., Роттэ С. В., Чудаев И. Б. П'єзоелектрические преобразователи: справ. пособие / под ред. В. М. Шарапова. Черкасы: ЧГТУ, 2004. 435 с.
 9. Патент України 12410. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В. М., Мусієнко М. П., Туз В. В. МПК G01R31/02 по заявці № 200505700 від 13.06.2005, опубл. 15.02.06, Бюл. № 2.
 10. Патент України 12411. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В. М., Мусієнко М. П., Туз В. В. МПК G01L 1/16 по заявці № 200505701 від 13.06.2005, опубл. 15.02.06, Бюл. № 2.
 4. Sharapov, V. M., Musienko, M. P. (2005) Improving the accuracy of piezoelectric transducers with two circuits of dimensionalelectromechanical inverse feedback. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2 [in Russian].
 5. Sharapov, V. M., Musienko, M. P. (2005) Piezoelectric transducers with two circuits of dimensional electromechanical inverse feedback. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 1 [in Russian].
 6. Sharapov, V. M., Musienko, M. P., Sharapova, E. V. (2005) Piezoceramic transducers of physical quantities / Sharapov V. M. (ed.). Cherkassy: ChGTU, 631 p. [in Russian].
 7. Sharapov, V. M., Musienko, M. P., Tuz, V. V. (2006) Piezoelectric transducer with piezoelement in the inverse feedback circuit of charge amplifier. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 118–120 [in Russian].
 8. Sharapov, V. M., Minaiev, V. M., Bondarenko, Yu. Yu., Kisil, T. Y., Musienko, M. P., Rotte, S. V., Chudaieva, I. B. (2004) Piezoelectric transducers: reference book. Ed. by Sharapov V. M. Cherkassy: ChGTU, 435 p. [in Russian].
 9. Patent of Ukraine 12410. Piezoelectric transducer of mechanical quantities. Sharapov, V. M., Musienko, M. P., Tuz, V. V. IPC G01R31/02 on application No. 200505700 dated 06.13.2005, published on 02.15.2006, Bull. No. 2 [in Ukrainian].
 10. Patent of Ukraine 12411. Piezoelectric transducer of mechanical quantities. Sharapov, V. M., Musienko, M. P., Tuz, V. V. IPC G01L1/16 on application No. 200505701 dated 06.13.2005, published on 02.15.2006, Bull. No. 2 [in Ukrainian].

References

V. V. Tuz, Ph.D., associate professor,
e-mail: clava2005@gmail.com

T. Yu. Kisil, Ph.D., associate professor
e-mail: kisiltetyana@ukr.net

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

**INVESTIGATION AND SELECTION OF OPTIMIZED CIRCUIT MODEL
OF BIMORPH PIEZOELECRIC ELEMENT OF DYNAMIC PRESSURE
WITH DUAL-CIRCUIT INVERSE FEEDBACK**

Issues related to the selection of the optimized circuit model of a bimorph piezoelectric element of dynamic pressure with dual-circuit inverse feedback are reviewed. Characteristics of piezoelectric transducers with source charge amplifier and voltage amplifier in additional feedback path are investigated.

Key words: *bimorph piezoelectric element, piezoelectric transducer, inverse feedback, temperature parameters, timing parameters, charge amplifier, voltage amplifier.*

Р. В. Трембовецька, к.т.н., доцент,
e-mail: r.trembovetska@chdtu.edu.ua

В. В. Тичков, к.т.н., старший викладач,

Ю. А. Петрушко, магістрант

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СВІТЛО-ЛАЗЕРНОЇ ТЕРАПІЇ

В роботі представлено один із методів розрахунку двокомпонентної оптичної системи, а саме матричний метод. Розглянуто різноманітні варіації розташування оптичних елементів: опромінюваний об'єкт розташований у нескінченності; джерело світла розташоване в передній фокальній площині освітлювальної системи; оптична система проектує джерело світла безпосередньо на освітлювальний об'єкт; освітлювальна система утворює зображення джерела в площині вхідної зіниці оптичної системи. Основна мета – підбір оптичної системи, яка буде відповідати вимогам технічного завдання. Проведено розрахунок та аналіз декількох схем двокомпонентної позитивної оптичної системи. Встановлено умови, за яких можливе виконання вимог технічного завдання, та відібрано найкращу, що задовольняє їм.

Ключові слова: світлолікування (фототерапія), спектр випромінювання, світлодіод, довжина хвилі, потужність випромінювання, оптична система, матричний метод розрахунку.

Постановка проблеми. Прогрес медичної науки і техніки значною мірою визначається досягненнями в галузі оптичної електроніки. На сьогодні в медичній практиці все більше застосовуються немедикаментозні методи функціональної регулюючої терапії, що ґрунтуються на взаємодії випромінювання оптичного діапазону з біологічними об'єктами. Оптико-електронна медична апаратура на основі лазерів, світловипромінюючих діодів, теплових та газорозрядних випромінювачів оптичного спектрального діапазону має невичерпні можливості при лікуванні хворих із різноманітними захворюваннями.

Клас низькоінтенсивних напівпровідникових лазерів та світловипромінюючих діодів у видимому та ближньому ІЧ діапазоні спектра все більше застосовується в медичній практиці внаслідок суттєвого розширення можливостей методик проведення процедур і терапевтичної ефективності.

Аналіз джерел досліджень і публікацій. Світлолікування (фототерапія) – використання з лікувальною і профілактичною метою електромагнітних коливань оптичного діапазону (світла), які включають інфрачервоне, видиме і ультрафіолетове випромінювання.

Світло може впливати на організм двома шляхами – через орган зору або через шкіру.

Як відомо, шкіра людини – це багатокомпонентне мутне біологічне середовище, оптичні характеристики якого залежать від декількох факторів [1]:

- фізіологічного стану;
- рівня гідратації, гомогенності, видової варіативності.

Оскільки біологічна тканина оптично неоднорідна із середнім показником заломлення > 1 , тому на границі розділу шкіра-повітря частина випромінювання відбивається. За даними роботи [1], коефіцієнт відбиття залежить як від довжини хвилі випромінювання, так і від типу шкіри.

Внаслідок поглинання інтенсивність падаючої хвилі зменшується при проходженні крізь «мутне» середовище. Можливість речовини поглинати випромінювання залежить від декількох факторів: електронного складу її атомів і молекул, довжини хвилі випромінювання, товщини поглинаючого шару та внутрішніх параметрів (температури та концентрації поглинаючих центрів).

В біологічних тканинах поглинання викликано молекулами води або макромолекулами. Одними з основних біологічних поглиначів є меланін та гемоглобін. Відоме «терапевтичне вікно» (600-1200 нм), де вода і макромолекули слабо поглинають випромінювання. В спектральному діапазоні «терапевти-

чного вікна» випромінювання проникає з мінімальними перешкодами в біологічні тканини, що використовують для лікування глибоких тканинних структур. Таким чином, ступінь поглинання визначає кінцевий результат світло-лазерної дії [2–3].

Для точного визначення ступеня поглинання тими чи іншими органами та структурами необхідно знати оптичний коефіцієнт поглинання тканин, що розглянуто в роботах [2–5].

Для взаємодії світла з біологічними об'єктами важливими є: час опромінення, режим опромінення (безперервний або імпульсний), періодичність і тривалість впливу. Фізіологічна і лікувальна дія оптичного випромінювання визначається декількома факторами, серед яких найважливішими є довжина хвилі використаного випромінювання і тривалість дії. Метою світло-лазерного опромінення є введення енергії випромінювання в локальний об'єм тканини і стимулювання в ній необхідних фотохімічних або теплових процесів, які дають сприятливий медичний ефект. Очевидно, що чим більша частка енергії випромінювання поглинається у виділеному об'ємі тканини, тим досконаліша медична процедура.

Особливість такої терапії є наступною [6–7, 10]:

- потужність випромінювання, необхідна для сприйняття організмом, потрапляє в область нетеплової дії;
- нормалізуючий фізіологічний ефект зберігається і після припинення дії; тривалість збереження ефекту збільшується від сеансу до сеансу;
- лікувальний ефект спостерігається в осередку патології, проте дія може виконуватися у віддаленій від запалення зоні.

Таким чином, необхідно розробити оптичну систему, яка буде перетворювати оптичне випромінювання від світлодіода в зону розміром 10-15 мм на біологічному об'єкті із рівномірною щільністю розподілу по зоні.

Мета роботи – дослідження багатокомпонентної оптичної системи.

Постановка задачі. Одним із основних елементів розроблювальної системи є освітлювальна система, яка призначена для створення необхідної освітленості опромінюваного об'єкта. Вона повинна зібрати максимально можливу частину загального світлового потоку, що дає джерело світла, та забезпечити необхідний напрямок.

Як джерело світла вибираємо світлодіоди [8]:

№	Тип світлодіода	Параметри
1	C3535M-ANF1-E1H11N	585-590 nm = жовтий, 45,7 lm, 125 град., 3,45×3,45 mm
2	C3535M-DNL1-A1J11H	440-445 nm = дійсний синій, 560-600 mW, 125 град., 3,45×3,45 mm
3	C3535M-DNL1-A1J11H	445-450 nm = дійсний синій, 600-650 mW
4	C3535M-GNL1-A1G11H	520-525 nm = зелений, 80,6-87,4 lm, 125 град., 3,45×3,45 mm
5	C3535M-RNL1-E1H11N	620-625nm = червоний, 56,8-62,0 lm, 125 град., 3,45×3,45 mm
8	C3535X-FNL1-E1H11N	730-740nm = інфрачервоний, 440-480 mW, 3,45×3,45 mm
9	C3535X-INA1-E1D11N	850-860 nm = інфрачервоний, 200-240 mW, 80 deg.
10	C3535X-JNL1-E1H11N	925-955nm = інфрачервоний, 400-560 mW, 140 deg

До основних переваг світловипромінюючих діодів можна віднести: більш високу концентрацію потоку оптичного випромінювання у відносно малому тілесному куті, вузький спектральний склад, високий ККД, менші габарити, енергоспоживання, тепловідведення.

Для опромінення об'єкта кінцевого розміру можна застосувати такі схеми:

- опромінюваний об'єкт розташований у нескінченності; джерело світла розташоване в передній фокальній площині освітлювальної системи;
- оптична система проектує джерело світла безпосередньо на освітлювальний об'єкт;
- освітлювальна система утворює зображення джерела в площині вхідної зіниці наступної оптичної системи.

Таким чином, для збільшення потоку випромінювання, що спрямовується від джерела на освітлювальний об'єкт, необхідно застосувати спеціальні оптичні елементи – конденсори.

Із трьох можливих схем для цієї мети найкраще застосувати третю схему, яка дасть можливість у певних межах варіювати розміром зони (10–15 мм). Застосовуємо конденсор, який створює дійсне зображення джерела світла на кінцевій відстані від оптичної системи. Зазвичай конденсори складаються тільки з позитивних лінз, тому вони мають значні сферичні та хроматичні аберації, які збільшуються із кутом охоплення $2S$ та лінійним збільшенням β .

Оскільки конструкція світлодіода припускає вбудовану лінзу [8], то другим елементом конденсора можна використати лінзу –

LL01CR-DF60L06-M2-T, що має $35^\circ(50\%int)$, $60^\circ(90\%int)$, $D=13,0mm$, $h=7.1mm$ [9].

На рис. 1 зображено схему, яка буде використовуватися для аналізу оптичних схем. Складна двокомпонентна система складається з декількох простих систем, які задані положенням фокусів $f\Phi$ та головних площин $HH\Phi$, взаємне розташування яких задається відстанню d_1 – відстань між задньою головною площиною попереднього компонента і передньою головною площиною наступного.

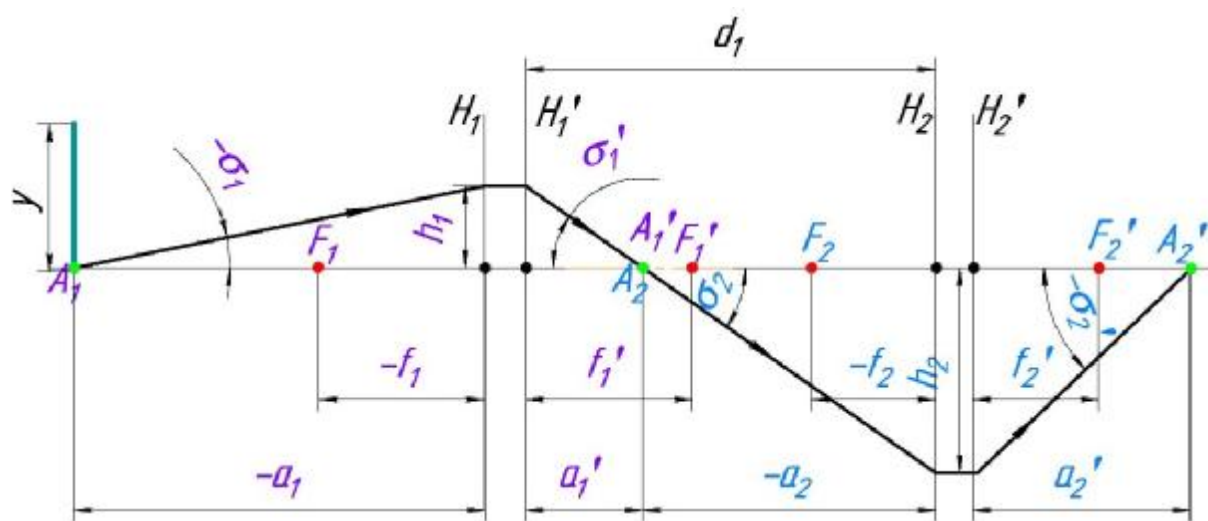


Рис. 1. Оптична схема для розрахунку двокомпонентної системи:

y – розмір предмета (в цьому випадку розмір випромінюючої площадки світлодіода); a_1 – відстань від предмета до першого оптичного компонента; S_1 – апертурний кут в області предмета (в цьому випадку приймаємо кут випромінювання світлодіода); $a\Phi$ – відстань від об'єктива до площини аналізатора; $a_2\Phi$ – відстань, що визначає положення точки зображення $A_2\Phi$, яка утворюється еквівалентною системою; $f_1\Phi = -f_1$ – відповідно задня та передня фокусні відстані першого оптичного компонента; h_1, h_2 – висота падіння променя на оптичний компонент

Для визначення відстаней $a\Phi$, a_2 , $a_2\Phi$ та розміру зображення $y\Phi$ використовуємо матричний метод розрахунку оптичних систем [11]. Параметри променя в просторі предметів і зображення можуть бути задані тільки в тому випадку, якщо вибрані опорні площини. Тому задаємо опорні площини: ОП1 – характеризує положення предмета відносно передньої головної площини H_1 ; ОП2, ОП3 –

розташовані в головних площинах першого оптичного компонента; ОП4 – характеризує положення проміжного зображення, яке утворюється першою лінзою; ОП5, ОП6 – розташовані в головних площинах другого компонента; ОП7 – характеризує положення зображення відносно задньої головної площини $H_2\Phi$ (рис. 2).

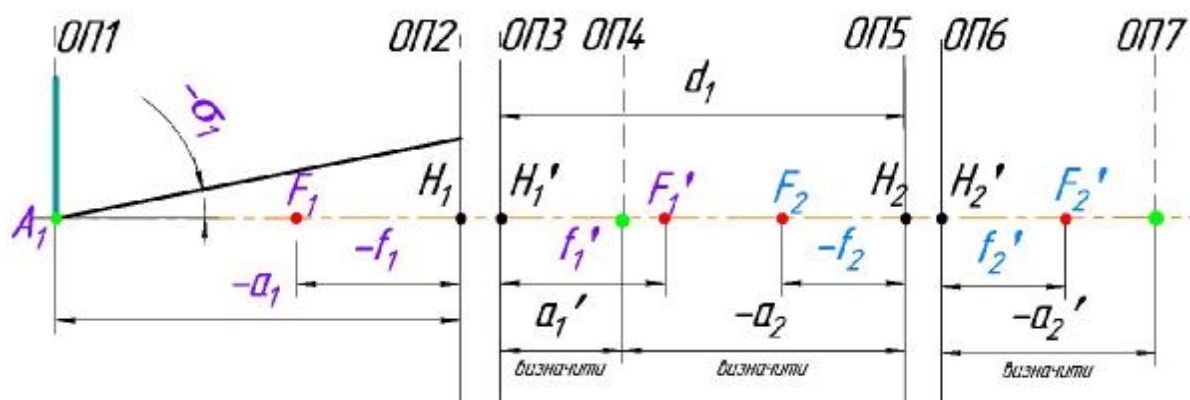


Рис. 2. Розташування опорних площин

Розраховуємо параметри вихідного променя за заданими параметрами вхідного для першого компонента.

$$M_1 = \hat{A}_2 \times M_{H1} \times \hat{A}_1, \quad (1)$$

де $M_{H1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{pmatrix}$ – матриця заломлення

головних площин першої лінзи;

$\hat{A}_2 = \begin{pmatrix} a_1 & a_1' \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\hat{A}_1 = \begin{pmatrix} 1 & -a_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матриця

переносу в області зображення та предмета відповідно.

Розв'язавши матрицю (1), отримаємо такі коефіцієнти:

$$A_1 = 1 - \frac{a_1}{f_1}; B_1 = -\frac{a_1'}{f_1} - \frac{a_1}{f_1} \times a_1 + a_1'$$

$$C_1 = -\frac{1}{f_1}; D_1 = 1 + \frac{a_1}{f_1}$$

Як видно з отриманих результатів, коефіцієнти A_1 , B_1 , C_1 , D_1 містять невідомий параметр a_1 . Для його визначення необхідно

$$B_1 = -\frac{a_1'}{f_1} - \frac{a_1}{f_1} \times a_1 + a_1' = 0 \Rightarrow a_1' = \frac{a_1}{f_1} \times a_1 - a_1' \quad (2)$$

Це правило застосовують у тому випадку, коли як опорні площини вибрані оптично спряжені площини ОП1 та ОП4. Тоді коефіцієнт A показує лінійне збільшення оптичної системи, C – оптичну силу системи, D – кутове збільшення оптичної системи.

Розраховуємо параметри вихідного променя за заданими параметрами вхідного для двоконцентної оптичної системи.

Для такого розташування опорних площин загальна матриця перетворення буде складатися з окремих матриць перенесення зображення та матриць заломлення між головними площинами [7]:

$$M = \hat{A}_2 \times M_{H2} \times \hat{A} \times M_{H1} \times \hat{A}_1, \quad (3)$$

де $M_{H1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{pmatrix}$ – матриця заломлення

головних площин першої лінзи;

$M_{H2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_2} & 1 \end{pmatrix}$ – матриця заломлення

головних площин другої лінзи;

$\hat{A}_2 = \begin{pmatrix} a_2 & a_2' \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\hat{A}_1 = \begin{pmatrix} 1 & -a_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матриця

переносу в області зображення та предмета відповідно

$\hat{A} = \begin{pmatrix} d & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ – матриця переносу між лінзами.

Оскільки в виразі (2) маємо перемноження матриць, то принципово записати в рівнянні окремі матриці у зворотному порядку порівняно з прийнятою для них нумерацією.

Розв'язавши цю матрицю, отримаємо такі коефіцієнти:

$$A = 1 - \frac{a_2}{f_2} - \frac{\frac{a_1}{f_1} \times d + a_2}{f_1};$$

$$B = -\frac{a_2}{f_2} - \frac{a_2}{f_2} \frac{d}{f_1} + a_2 \frac{1}{f_1} + \frac{a_2}{f_2} \frac{d}{f_1} + a_2 \frac{1}{f_1}$$

$$C = -\frac{1}{f_2} - \frac{1}{f_2} \frac{d}{f_1} + \frac{1}{f_1}$$

$$D = -\frac{1}{f_2} - \frac{1}{f_2} \frac{d}{f_1} + \frac{1}{f_1}$$

Для визначення невідомого параметра a_2 , як було показано вище, коефіцієнт B прирівнюємо до нуля і з отриманого рівняння визначаємо a_2 :

$$a_2 = \frac{a_1 \times f_1 - a_1 \times d - d \times f_1}{f_2} \quad (4)$$

Тоді координати вихідного променя визначаються:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

де $\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}$ – стовпчики матриці вихідного і вхідного променів відповідно.

$V = n \times S$ – кутова координата.

Застосовуємо формули (1)–(5) для аналізу двокомпонентних оптичних систем з такими параметрами:

y_1 , мм	d_1 , мм	a_2 , мм	D_{12} , мм	L , мм
10-15	60±5	до 100	11	до 70

Схема 1. Вихідні дані

y_1 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	d_1 , мм	a_1 , мм	S_1 , градус
1.3	16	14	60	-25	-60

Результат розрахунку

y_2 , мм	a_2 , мм	$h_{\max}$, мм	L , мм
7,1	57	43	88

Як видно, за параметрами y_1 та a_2 отримані дані задовольняють вимогам технічного завдання, проте для повного використання світлового потоку потрібна лінза з діаметром 86 мм, в противному випадку частина потоку буде втрачатися.

Схема 2. Вихідні дані

y_1 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	d_1 , мм	a_1 , мм	S_1 , градус
1.3	9,5	16	57	-13	-60

Результат розрахунку

y_2 , мм	a_2 , мм	$h_{\max}$, мм	L , мм
9,88	61	23	70

Результат аналогічний, як і для схеми 1.

Схема 3. Вихідні дані

y_1 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	d_1 , мм	a_1 , мм	S_1 , градус
1.3	16	13,4	25±5	-13	-60

Результат розрахунку

y_2 , мм	a_2 , мм	$h_{\max}$, мм	L , мм
1,134	15,59	33	95

Як видно, всі параметри не задовольняють технічному завданню. Змінюючи відстань між компонентами від 26 до 31 мм, маємо зменшення зображення, при цьому відстань $a_2 = 15,47$ мм майже не змінюється.

Встановимо, як впливає фокусна відстань другого компонента на відстань L та розмір зони зображення.

Схема 4. Збільшуємо фокусну відстань f_2 , всі інші параметри залишаємо без змін.

Вихідні дані

y_1 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	d_1 , мм	a_1 , мм	S_1 , градус
1.3	16	45	25±5	-13	-60

Результат розрахунку

$y\Phi$, мм	$a\Phi$, мм	$h_{\max}$, мм	L, мм
6,199	85,23	32	180

Як видно, за параметрами $y\Phi$ та $a\Phi$ отримані дані задовольняють вимогам ТЗ, проте, як і в попередніх схемах, потрібна лінза за великого діаметра. Також маємо загальне збільшення розміру L оптичної насадки майже в два рази.

В усіх чотирьох схемах не задовольняється вимога рівномірності освітлення по зоні зображення.

Для усунення цього недоліку необхідно зменшити кут розходження пучка після другого компонента. Цю вимогу можна досягти, використовуючи одну з властивостей фокальних площин. Тобто для забезпечення мінімального розходження пучка після оптичної насадки необхідно сумістити зображення, що утворено першим оптичним компонентом, із передньою фокальною площиною другого компонента. Виконаємо цю умову для розрахунків наступної схеми.

При цьому розмір паралельного пучка значною мірою обумовлюється відстанню між компонентами d. Чим більша відстань, тим більший розмір пучка, і, відповідно, для максимального використання світлового потоку необхідна лінза великих розмірів. Тому для подальших розрахунків визначимо цю відстань, щоб задовольнити вимоги технічного завдання за параметром $D_{12}=11$ мм. На загальний розмір оптичної насадки впливає проміжне зображення першого компонента і для зменшення відстані $a\Phi$ необхідно, щоб виконувалася вимога $|f_1| > |a_1|$.

Схема 5. Вихідні дані

y , мм	$f_1\Phi$, мм	$f_2\Phi$, мм	d_1 , мм	a_1 , мм	s_1 , градус
1.3	10	-	2	-3,5	-60

Щоб визначити фокусну відстань $f_2\Phi$, необхідно:

· Із формули (2) визначити відстань, де утворюється проміжне зображення першого компонента:

$$a\Phi = \frac{a_1}{a_1 + f_1\Phi} \times f_1\Phi = -5.38 \text{ мм.}$$

· Відстань до другої лінзи:

$$a_2 = a\Phi - d = 7.38 \text{ мм.}$$

Тоді відповідно фокусна відстань повинна бути $f_2\Phi = a_2$.

Результат розрахунку рис. 3:

· Розмір першої лінзи

$$D_1 = 2 \times a_1 \times \tan(s_1) = 12 \text{ мм.}$$

· Розмір другої лінзи і, відповідно, паралельного пучка променів

$$D_2 = 2 \times a_2 \times \tan(s_2) = 16,47 \text{ мм.}$$

Оскільки пучок після другої лінзи паралельний, то відстань $a\Phi$ не встановлюється. Загальна довжина насадки без урахування елементів та конструкції закріплення приблизно 20 мм, як видно із рис. 3, обумовлюється фокусними відстанями першої лінзи.

Оптична система, що побудована за принципом суміщення проміжного зображення і передньої фокальної площини другого компонента (рис. 3), не має можливості регулювання розміру зони, оскільки фокусна відстань $f_2\Phi$ безпосередньо залежить від відстані між компонентами d. Якщо ж виконати переміщення одного компонента відносно іншого в межах ± 5 мм при всіх інших фіксованих параметрах, то маємо, як і в схемах 1-4, нерівномірність опромінення по зоні зображення. Цей розрахунок необхідно перевірити на фізичну можливість виготовлення конструктивних параметрів лінз та уточнити розмір d.

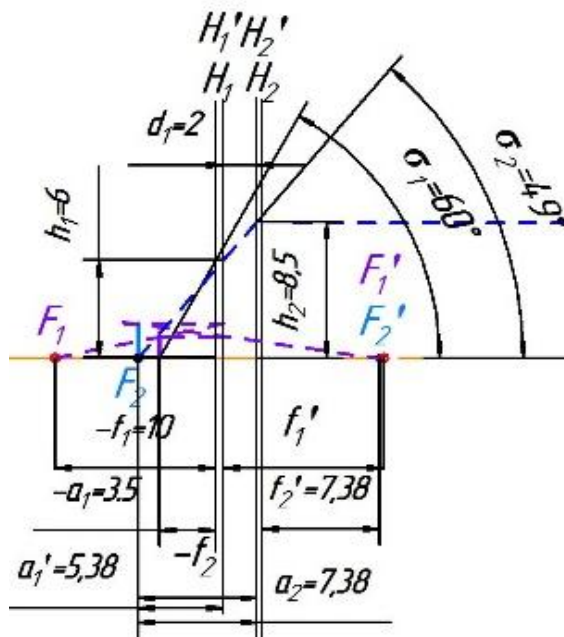


Рис. 3. Розрахована двокомпонентна оптична схема 5

Висновки. В роботі виконано розрахунок та аналіз двокомпонентної оптичної системи, яка складається з позитивних лінз. Запропоновано використовувати матричний метод розрахунку оптичної багатокомпонентної системи. Із розрахунків видно, що жодна із запропонованих схем не відповідає повністю вимогам технічного завдання. Схема 5 задовольняє вимогам технічного завдання за геометричним розміром лінз та рівномірністю зони опромінення. Цей розрахунок необхідно перевірити на фізичну можливість виготовлення конструктивних параметрів лінз і уточнити відстань між лінзами.

Для заданого типу джерела світла використовувати двокомпонентну оптичну систему із позитивних лінз недоцільно. Таким чином, можна обрати світловипромінюючі джерела з іншою діаграмою спрямованості, які також необхідно перевірити розрахунком на відповідність технічному завданню.

В подальшому необхідно проаналізувати можливість використання двокомпонентної системи, що складається з від'ємної та позитивної лінзи, використовуючи запропоновану методику матричного розрахунку.

Запропонований матричний метод розрахунку можна використовувати для дослідження оптичних систем будь-якої складності з різноманітними схемами (послідовностями) розташування оптичних елементів.

Список літератури

1. Пушкарева А. Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани: учеб. пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. 103 с.
2. Серебряков В. А. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии в медицине». Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009. 266 с.
3. Смирнов А. П., Абрамов Д. А., Пименов А. Ю. Компьютерное моделирование оптических систем: учеб. пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2012. 84 с.
4. Кузнецов К. А., Колчигин Н. Н., Коваленко И. Ф., Шкорбатов Ю. Г. Исследование реакций клеток человека на воздействие низкоинтенсивного микроволнового излучения и постоянного магнитного поля. *Применение лазеров в медицине и биологии*: материалы XLVI Меж-

дунар. науч.-практ. конф. Харьков, 2017. С. 83–85.

5. Трёмбовецкая Р. В. Анализ взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2012. №.4. С. 101–104.
6. Буйлин В. А., Ларюшин А. И., Никитина М. В. Свето-лазерная терапия: руководство для врачей. Тверь: Триада, 2004. 256 с.
7. Улащик В. С., Лукомский И. В. Общая физиотерапия: учебник. 3-е изд., стереотип. Минск: Книжный Дом, 2008. 512 с.
8. URL: www.ledlink-optic.com
9. URL: www.tslc.com.tw
10. Беликов А. В., Скрипник А. В. Лазерные биомедицинские технологии: учеб. пособие. Ч. 1. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. 116 с.
11. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. 2012. Т. 2. Долгопрудный: Интеллект, 784 с.

References

1. Pushkareva, A. Ye. (2008) Methods of mathematical modeling in biotissue optics. St. Petersburg: SPbGU ITMO, 103 p. [in Russian].
2. Serebryakov, V. A. (2009) A basic summary of lectures on the course «Laser technologies in medicine». St. Petersburg: SPbGU ITMO. 266 p. [in Russian].
3. Smirnov, A. P., Abramov, D. A., Pimenov A. Yu. (2012) Computer modeling of optical systems. St. Petersburg: SPbGU ITMO. 84 p. [in Russian].
4. Kuznetsov, K. A., Kolchigin, N. N., Kovalenko, I. F., Shkorbatov, Yu. G. (2017) Investigation of human cell reactions to the effect of low-intensity microwave radiation and a constant magnetic field. *Primeneniye lazerov v meditsine i biologiyi*: proceedings of the XLVI Internat. sci.-pract. conf. Kharkov, pp. 83–85 [in Russian].
5. Trembovetskaya, R. V. (2012) Analysis of the interaction of laser radiation with biological tissues. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 101–104 [in Russian].

6. Builin, V A, Laryushin, A I, Nikitina, M. V. (2004) Light-laser therapy: a guide for doctors. Tver: Triada, 256 p. [in Russian].
7. Ulaschik, V. S., Lukomsky, I. V. (2008) General physiotherapy. 3rd ed., stereotype. Minsk: Knizhnyi Dom, 512 p. [in Russian].
8. URL: www.ledlink-optic.com
9. URL: www.tslc.com.tw
10. Belikov, A. V., Skripnik, A. V. (2008) Laser biomedical technology (part 1). St. Petersburg: SPbGU ITMO, 116 p. [in Russian].
11. Saleh, B., Teich, M. (2012) Optics and photonics. Principles and applications. Vol. 2. Dolgoprudny: Intellect, 784 p. [in Russian].

R. V. Trembovetska, Ph.D., associate professor,

e-mail: r.trembovetska@chdtu.edu.ua

V. V. Tychkov, Ph.D., senior lecturer,

Yu. A. Petrushko, magistrant

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE RESEARCH OF MULTICOMPONENT OPTICAL SYSTEM FOR LIGHT-LASER THERAPY

In this paper one of the methods for calculating a two-component optical system, namely matrix method, is presented. Different variations of optical elements location, such as: irradiated object is located at infinity; light source is located in the front focal plane of lighting system; optical system designs a light source directly to lighting object; lighting system forms the image of the source in the plane of entrance pupil of optical system, are considered. The main goal is to select optical system, which will meet the requirements of technical task. The calculation and analysis of several schemes of a two-component positive optical system are carried out. The conditions are set for the possible fulfillment of the requirements of technical specification and the best that satisfies them is selected.

Key words: light-laser therapy (phototherapy), radiation spectrum, light-emitting diode, wave length, radiation power, optical system, matrix calculation method.

S. V. Burmistrov¹, Ph.D.,

e-mail: sergijburmistrov@yandex.ua

O. M. Panasco², Ph.D., associate professor,

e-mail: lena.pa@ukr.net

N. V. Kovalska¹, the head of cyclic commission
of computer systems and networks

e-mail: kovnata2005@ukr.net

¹Cherkasy State Business-College

V. Chornovola str., 243, Cherkasy, 18028, Ukraine

²Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MATRIX METHOD OF PARALLEL DECOMPOSITION FOR MINIMIZATION OF SYMMETRIC BOOLEAN FUNCTIONS IN THE FORM OF EXTENDED POLYNOMIAL

A matrix method of parallel decomposition in order to minimize symmetric Boolean functions in orthogonal form of representation in the form of extended polynomial by modulus 2 has been developed. Symmetrical Boolean functions are characterized by the fact that they are not minimized in classical form of representation, but well – in the form of Zhegalkin polynomials. Compared to Zhegalkin polynomials, extended polynomials have better indicators of the complexity of implementing digital devices by total coefficient S_L (1.49 times) and by total coefficient S_{AD} (2.37 times) due to a slight deterioration of the total coefficient S_S (deterioration of 1.293 times). The coefficient S_S is less important for the development of digital devices than the coefficients S_L and S_{AD} .

Another advantage of using extended polynomials consists in the use of the idea of polarization of inputs of Boolean functions. Due to this, this method can be used as a powerful component of complete matrix method of parallel decomposition for obtaining a complex minimal form of Boolean functions, which has the best indicators of the complexity of digital blocks implementation due to a slight decrease in the speed of their work.

Unlike Zhegalkin polynomials having only one variant of the minimal form, an extended polynomial can have several minimal forms with the same complexity of implementation, that is essential for minimizing the systems of Boolean functions.

An essential feature of implementation of the method consists in the use of ready-made expanded matrices and tables of a complete list of conjunctive sets, which significantly accelerates the process of minimization in time

Key words: symmetric Boolean function, minimization of symmetric Boolean functions, orthogonal form of representation, classical form of representation, polynomial form of Reed-Muller representation, Zhegalkin polynomial, extended polynomial of sum by modulus 2.

Relevance of research. Minimization of Boolean functions (BF) with a large number of arguments is one of the key and time consuming steps in the process of synthesizing digital blocks (DB) of promising computer systems

The development of new minimization methods is intended to accelerate the minimization process for BF with a large number

of arguments, to find optimal options for minimal forms, depending on the defining values of the complexity of the implementation. New methods are realized on the basis of the investigation of the internal structural structure of BF in terms of the phenomenon of decomposition of Boolean functions (1) and the genetic fractal nature of the internal structure of BF [2].

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \overline{x_i} \wedge Q_{i0}(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) \cup x_i \wedge Q_{i1}(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) \quad (1)$$

As a result, an arbitrary BF is the result of a mutual composition of n pairs of maternal BFs obtained on the basis of a mutual non-

contradiction. Each BF contains its own genetic code – complete information about all the maternal BFs on which it is based.

Empirical studies of genetic relationships between maternal and daughter BF's based on the properties of the decomposition phenomenon made it possible to construct a genealogy tree [2], which combines all BF's [2] within their complete set. The tree structure shows a clear relationship between the entire BF and the influence of the internal properties of the parent BF on a specific Boolean function.

Primary maternal BF's are two BF groups with one argument that defines BF properties in terms of minimization:

- Boolean function-constants (**BF-CONSTANTS**) – the logical "0" and the logical "1";
- **SYMMETRIC BF**, Boolean functions with one argument containing one unit in their own number (BF with numbers 01 and 10)

Boolean functions **BF-CONSTANTS** are key when minimizing BF in the classical form of representation (CFR). It is precisely the presence of BF data in the genetic code of a specific BF, which is a necessary and sufficient condition for their minimization in the classical form of presentation. In fact, minimizing BF in the orthogonal representation form [1] for obtaining a result in the boundary form of the CPF is reduced to the search for **BF-CONSTANTS** [3].

A symmetric Boolean function (**SYMMETRIC BF**) is a function whose value does not depend on the permutation of its input bits, but depends only on the number of units at the input. The Boolean functions **SYMMETRIC BF** in the boundary form of the CFR are generally not minimized, but are perfectly minimized in another boundary form – in the polynomial form of the representation of Reed-Muller (RMFR).

The search for a minimal form of BF or in one of the boundary forms or in a consolidated complex form is determined in its genetic code by the ratio of maternal **BF-CONSTANTS** and **SYMMETRIC BF**s. If **BF-CONSTANTS** or **SYMMETRIC BF**s are dominant, the most extreme form of representation is optimal. If the **BF-CONSTANTS** and the **SYMMETRIC BF**s are in parity – the optimal is the consolidated complex form of representation.

Analysis of recent research and publications. Analysis of recent research and publications. The problem of constructing an effective method of minimizing symmetric BF is devoted to a number of works, a simple list of which is quite solid. In these works the features

of symmetric BF and ways of optimization of the process of minimization are considered. This problem is global and, as a result, has no simple solution. Zakrevsky's scientific group made a significant contribution to the development of this topic over the last few decades. The last publications of this group include works [4,5], in which the features of RMFR are studied. Considerable attention is paid to this subject at Kiev Polytechnic Institute [6], which describes the study of the process of minimizing of RMFR. In [7], an algorithm for minimizing systems of partially determined Reed-Muller polynomials is described. Sufficient attention to the Reed-Muller polynomial system is given in works [8, 9, 10].

Formulating the goals of the article. Symmetric Boolean functions are of particular interest in the development of computing digital blocks and blocks of coding systems. Considering their key importance, **the actual problem** is the construction of an effective method for minimizing symmetric BF in an orthogonal form of representation (ORFP) for a given group of Boolean functions that could independently be used to obtain a result in the boundary form – RMFP, or as part of the minimization to obtain the result in a consolidated complex presentation form, which is a mixture of KFR and RMFR.

The purpose of the paper is to develop an effective method for minimizing symmetric Boolean functions based on the polarization of their inputs in the form of an extended series.

Presenting main material. Taking into account the experience of constructing a matrix parallel decomposition method in the ORFP [3], the same ideas were used when developing a method for minimizing symmetric BF. In fact, the proposed method of minimization is an extension and weighty component of the complete matrix method of parallel decomposition on symmetric BF.

The essence of the method and the algorithm of minimization should be explained on a concrete example. Let BF contain 4 arguments and have a number 64 975₁₀ (binary vector – 1111 1101 1100 1111₂).

The minimization algorithm consists of the following steps:

1. *Construction of a matrix for obtaining a result in the form of a polynomial in modulus 2 conjunctive sets of direct arguments.* The matrix is square, has a dimension 2^n , where n is the number of arguments in BF. The matrix contains

the extended series, having the same indicators of complexity of implementation. Therefore, it is necessary to consider the option when several

solutions with the same complexity of implementation will be obtained on the basis of expression (7).

Table 1

A complete list of conjunctive sets for BF containing 4 arguments and their schedules on a row (5)

№ in order	Extension members	The presence of members of a row (5)															
		1	x_1	x_2	x_2x_1	x_3	x_3x_1	x_3x_2	$x_3x_2x_1$	x_4	x_4x_1	x_4x_2	$x_4x_2x_1$	x_4x_3	$x_4x_3x_1$	$x_4x_3x_2$	$x_4x_3x_2x_1$
1	$\overline{x_4} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_1}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	$\overline{x_4} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_2} \cdot x_1$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
3	$\overline{x_4} \cdot \overline{x_3} \cdot x_2 \cdot \overline{x_1}$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	$\overline{x_4} \cdot \overline{x_3} \cdot x_2 \cdot x_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18	$\overline{x_4} \cdot x_3 \cdot \overline{x_2}$	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
79	$x_4 \cdot x_3 \cdot x_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
80	$x_4 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot x_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

As a result of the search, we have received the final answer (8), which contains a single result:

$$y = 1 \oplus \overline{x_4} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_2} \oplus x_4 \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_2} \cdot x_1 \quad (8)$$

Investigation of complete sets L_2 of Boolean functions from 2 arguments, L_3 of Boolean functions from 3 arguments and L_4 from 4 arguments in terms of minimization by the indicated method showed a significant

improvement in the complexity of the implementation of devices constructed on the basis of this method in comparison with Zhegalkin algebra (see Table 2). Due to a slight deterioration of the S_S – factor of the input bus, the S_{AD} coefficient – the total number of conjunctives in combinational scheme – is reduced significantly, and the S_L coefficient is the total number of conjunctures in combinational scheme.

Table 2

Changing integral characteristics of the structural complexity of chips on the complete set of $L(2)$, $L(3)$ and $L(4)$ Boolean functions

№ in order	The number of arguments in the boolean function	The value of the total complexity of implementation factors								
		S_S			S_L			S_{AD}		
		Polyn Zegalkina	Advanced polynom	% of the original value	Polyn Zegalkina	Advanced polynom	% of the original value	Polyn Zegalkina	Advanced polynom	% of the original value
1	2	32	29	90,6	40	29	72,5	32	6	18,7
2	3	848	948	111,8	1 664	1 116	67,1	1 024	340	33,2
3	4	228 608	295 541	129,3	1 081 344	727 569	67,3	524 288	220 922	42,14

Conclusions:

1. A matrix method of parallel decomposition is developed for minimizing the symmetric Boolean functions in the orthogonal representation form. This method can be used independently to obtain the minimal form of the Boolean function in the boundary form in the form of a polynomial in the amount of 2 conjugate sets of arguments and in the form of a complete matrix parallel decomposition method in conjunction with [3].
2. The results obtained by this method have a number of advantages compared with the results in Zhegalkin polynomial – a significant improvement in the complexity of the implementation of digital devices by coefficients S_L (1.49 times) and S_{AD} (2.37 times) due to a slight deterioration of the coefficient S_S (deterioration in 1,293 times)
3. An essential feature of the method is the use of already ready extended matrices and tables of a complete list of conjunctive sets, which significantly accelerates the process of minimization over time.

References

1. Kochkarev, Yu. A., Panteleev, N. N., Kazarinova, N. L. (1999) Classical and alternative minimal forms of logical functions: catalog-reference book. Monograph. G. E. Pukhov Institute of Modeling Problems in Energy Sector, Cherkasy Institute of Management, 195 p. [in Russian].
2. Burmistrov, S. V. (2016) Synthesis of discrete devices based on the use of Boolean functions in the orthogonal form of representation: dissertation for Ph.D. in technical sciences, 209 p. [in Ukrainian].
3. Burmistrov, S. V. Piven, O. B. (2015) The matrix method of parallel decomposition as a generalized method of minimization in the orthogonal form of representation. *Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny*, No. 4, pp. 151–156 [in Ukrainian].
4. Dyachenko, V. V., Suprun, V. P. (2015) Minimization of symmetric Boolean functions in the class of Reed-Muller polynomials. *International scientific conference "Discrete mathematics, algebra and their applications. Abstracts"*, Minsk, Republic of Belarus, p. 152 [in Russian].
5. Alekseychuk, A. N., Konyushok, S. N. (2014) Algebraically degenerate approximations of Boolean functions. *Cybernetics and system analysis*, T. 50, No. 6, pp. 3–14 [in Russian].
6. Alekseychuk, A. N., Kulinich, O. N., Sokur, V. V., Konyushok, S. N. (2016) Estimates of complexity and algorithms for minimizing Boolean functions in the class of canonical polarized polynomials. *Modelyuvannya ta informatsiyni tekhnolohiyi*. National Academy of Science of Ukraine, G. E. Pukhov Institute of Modeling Problems in Energy Sector. Kiev, Vol. 76, pp. 95–99 [in Russian]. (ISSN 2309-7647)
7. Zhen-Xue He, Li-Min Xiao, Li Ruan, Fei Gu, Zhi-Sheng Huo, Guang-Jun Qin, Ming-Fa Zhu, Long-Bing Zhang, Rui Liu, Xiang Wang. (2017) A power and area optimization approach of mixed polarity Reed-Muller expression for incompletely specified Boolean functions. *Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 32, Issue 2, pp. 297–311.
8. Kochkarev, Yu. A., Kushch, S. O., Panasco, O. M. (2010) The analysis of consumer indicators of realization of Reed-Muller form of representation of logical functions. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*, No. 2, pp. 64–68 [in Ukrainian].
9. Kochkarev, Yu. A., Panasco, O. M. (2010) Estimation of efficiency of application of bitwise inverting of input variables at optimization of structure of digital blocks. *Prikladnaya radioelektronika*. Kharkov National University of Radio Electronics, Vol. 10, No. 2, pp. 295–299 [in Russian].
10. Kochkarev, Yu. A., Panasco, O. M. (2010) Investigation of the efficiency of polarization of variables when optimizing the structure of digital blocks. *Informatsiyni tekhnolohiyi v osviti, nautsi i tekhnitsi: VII All-Ukr. sci.-pract. conf. (05-06.04)*, p. 81 [in Russian].

С. В. Бурмістров¹, к.т.н.,
e-mail: sergijburmistrov@yandex.ua

О. М. Панаско², к.т.н., доцент,
e-mail: lena.pa@ukr.net

Н. В. Ковальська¹, завідувач цикловою комісією
комп'ютерних систем і мереж
e-mail: kovnata2005@ukr.net

¹Черкаський державний бізнес-коледж

вул. В. Чорновола, 243, м. Черкаси, 18028, Україна

²Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МАТРИЧНИЙ МЕТОД ПАРАЛЕЛЬНОЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ СИМЕТРИЧНИХ БУЛЕВИХ ФУНКЦІЙ У ВИГЛЯДІ РОЗШИРЕНОГО ПОЛІНОМА

В роботі розроблено матричний метод паралельної декомпозиції для мінімізації симетричних булевих функцій в ортогональній формі представлення у вигляді розширеного полінома суми за модулем 2. Симетричні булеві функції характеризуються тим, що вони погано мінімізуються в класичній формі представлення, але добре – поліномами Жегалкіна. Результати, отримані цим методом, порівняно з результатами в поліномі Жегалкіна мають суттєве покращення показників складності реалізації цифрових пристроїв за сумарними коефіцієнтами S_L (в 1,49 разу) та S_{AD} (в 2,37 разу) за рахунок незначного погіршення сумарного коефіцієнта S_S (погіршення в 1,293 разу), що не є таким значущим при розробці таких цифрових пристроїв, як коефіцієнти S_L і S_{AD} . Також за рахунок поляризації входів булевих функцій цей метод може бути використано як один із складових чинників повного матричного методу паралельної декомпозиції для отримання комплексної мінімальної форми булевих функцій, що має кращі показники складності реалізації, ніж класичні форми представлення булевих функцій. Цей метод дає можливість отримувати для булевих функцій кілька результатів з однаковими показниками складності реалізації, що є суттєвим при мінімізації систем булевих функцій. Суттєвою особливістю методу є застосування вже готових розширених матриць і таблиць повного переліку кон'юнктивних наборів, що суттєво прискорює процес мінімізації в часі.

Ключові слова: симетрична булева функція, мінімізація симетричних булевих функцій, ортогональна форма представлення, класична форма представлення, поліноміальна форма представлення Ріда-Мюллера, поліном Жегалкіна, розширений поліном суми за модулем 2.

О. М. Мирошник, к.т.н., доцент,

доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт

e-mail: omiroshnik@ukr.net

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСПЕРТНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ЖИТЛА У БУДИНКАХ ПІДВИЩЕНОЇ ПОВЕРХОВОСТІ

У статті розглядається задача визначення рівня техногенної безпеки житла у будинках підвищеної поверховості. Запропоновано для визначення пріоритетності факторів, що впливають на безпеку житла та є аргументами відповідної цільової функції, використати експертне оцінювання, елементи методу аналізу ієрархій і теорії нечітких множин. Визначено особливості індивідуального та групового експертного оцінювання.

Ключові слова: *рівень техногенної безпеки, надзвичайна ситуація, експертне оцінювання.*

Вступ. Низька поінформованість населення про рівень техногенної безпеки житла у будинках підвищеної поверховості (БПП) та, як результат, неадекватність його ціни і безпекових характеристик визначають актуальність розробки технології та інформаційно-консультативного супроводу суб'єктів ринку нерухомості (будівельних та страхових компаній, жителів, працівників пожежного захисту). Одним із її важливих елементів є визначення рівня техногенної безпеки житла у БПП. Певні кроки у цьому напрямку вже були зроблені раніше. Зокрема, дисертаційне дослідження О. М. Джулая [1] присвячене визначенню рівня пожежної безпеки як залежності

$$R = f(X, Z), \quad (1)$$

де R – рівень пожежної безпеки, X – множина внутрішніх факторів, Z – множина зовнішніх характеристик.

Ідентифікація залежності (1) здійснювалася на основі статистичної інформації з використанням регресійного аналізу [2], методу групового врахування аргументів [3], нейронних мереж [4].

Більш глибокий аналіз предметної області запропоновано у статті [5]. Автор пропонує розширити множину факторів, які враховуються при визначенні рівня пожежної безпеки житла у багатоповерхових житлових будинках. Відповідна модель є такою:

$$R = g(X_k, Z_k, P_1, P_2, k), \quad (2)$$

де X_k – множина внутрішніх факторів, які впливають на безпеку житла, Z_k – множина

відповідних зовнішніх характеристик, P_1 – ймовірність бути травмованим на пожежі, P_2 – ймовірність загинути від пожежі, k – номер поверху житла. Модель (2) є точнішою, оскільки для мешканців ймовірності P_1, P_2 та номер поверху є важливими факторами при визначенні безпечності житла.

Вихідні дані та постановка задачі. Результати, які одержуються при використанні моделей (1) та (2), становлять аналітичне підґрунтя процесів прийняття рішень при будівництві та купівлі житла. Водночас, необхідно зазначити недоліки цих моделей. Значна кількість внутрішніх факторів і зовнішніх характеристик не дозволяє встановити пріоритети як емпірично, так і аналітично. Адекватний аналіз такої кількості факторів можливий за умов проведення препроцесінгу даних [6], визначення їх інформативності та значущості [7], що вимагає значних інтелектуальних зусиль і обчислювальних затрат. Крім того, в моделях (1) та (2) не враховано такий фактор, як кількість пожеж на певних поверхах та можливість виникнення надзвичайної ситуації зовні будівлі. Вказані вище недоліки свідчать про необхідність розв'язання задачі визначення пріоритетності факторів, які використовуються для встановлення рівня техногенної безпеки житла БПП, як умови об'єктивізації відповідних процесів прийняття рішень.

Таким чином, **метою роботи** є підвищення ефективності процесів прийняття рішень суб'єктами ринку нерухомості та надання їм інформаційно-консультативного супроводу шляхом розробки технології експертного

визначення рівня техногенної безпеки житла у будинках підвищеної поверховості.

Метод визначення пріоритетів факторів на основі аналізу ієрархій та суб'єктивних висновків

Після уточнень моделі (1) та (2) модифікуються до такого виду:

$$R^k = h(X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k), \quad (3)$$

де R^k – рівень техногенної безпеки житла у БПП на k -му поверсі, X_k, Z_k – внутрішні фактори та зовнішні характеристики для k -го поверху, P_1^k, P_2^k, P_3^k – ймовірності бути травмованим, загинути та виникнення пожежі на k -му поверсі, відповідно. Визначимо пріоритети вищезазначених аргументів моделі (3) за методом аналізу ієрархій Т. Сааті [8]. На першому етапі шляхом експертного опитування формуємо матрицю $\Xi = \{\theta_{ij}, i, j = \overline{1, 5}\}$,

$$\Xi = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_k & Z_k & P_1^k & P_2^k & P_3^k \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_k \\ Z_k \\ P_1^k \\ P_2^k \\ P_3^k \end{matrix} & \begin{matrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} & \theta_{14} & \theta_{15} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} & \theta_{24} & \theta_{25} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} & \theta_{35} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} & \theta_{45} \\ \theta_{51} & \theta_{52} & \theta_{53} & \theta_{54} & \theta_{55} \end{matrix} \end{matrix}.$$

В матриці Ξ значення $\theta_{ij} \in \{1, 2, \dots, 9\}$,

де

1 – означає, що i -й та j -й фактори однаково важливі;

3 – i -й фактор незначно важливіший, ніж j -й фактор;

5 – i -й фактор значно важливіший, ніж j -й фактор;

7 – i -й фактор явно важливіший, ніж j -й фактор;

9 – i -й фактор абсолютно важливіший, ніж j -й фактор.

Матриця Ξ є обернено симетричною, тобто $\theta_{ij} = 1 / \theta_{ji}$, $i, j = \overline{1, 5}$. Вагові коефіцієнти факторів $(X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k)$ визначаються як координати власного вектора матриці Ξ , який відповідає максимальному власному числу і знаходиться із системи рівнянь

$$\begin{cases} \Xi \cdot V = \lambda_{\max} \cdot V, \\ v_1 + v_2 + \dots + v_5 = 1, \end{cases} \quad (4)$$

де V – відповідний власний вектор, $V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$, $\lambda_{\max}$ – максимальне власне число матриці Ξ . Зауважено, що елементи множин X_k та Z_k необхідно розглядати з позиції їх впливу на техногенну безпеку житла.

Розв'язок системи (4) дозволить знайти пріоритети факторів (груп факторів), що впливають на рівень техногенної безпеки, для одного експерта. Безумовно, такий розв'язок є важливим інформативним фактором, якщо експерт і є особою, що приймає рішення (ОПР), оскільки вона, маючи або розраховавши кількісні дані, що визначають елементи вибору $(X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k)$, зможе використовувати кількісні оцінки переваг у процесі прийняття рішень.

Розглядаючи проблему з вищого ієрархічного рівня, зауважимо, що розв'язок (4) є суб'єктивним. Його не можна використати при визначенні загальних тенденцій будівництва, цінової політики та рекомендацій щодо забезпечення техногенної безпеки житла у БПП, оскільки такий розв'язок найчастіше є зміщеним.

Модифікація схеми Беллмана-Заде для визначення пріоритетності факторів

Для об'єктивізації значень пріоритетів факторів, що впливають на безпеку житла, модифікуємо схему Беллмана-Заде [9]. Задачу сформулюємо наступним чином.

Позначимо $(X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k) = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5) = Y$ – множину факторів, які підлягають аналізу, $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ – множина експертів, які будуть оцінювати фактори та визначати їх пріоритетність. Задача експертного оцінювання полягає у впорядкуванні елементів Y за висновками експертів з E .

Метод розв'язання задачі матиме такі кроки:

Крок 1. Формуємо матриці попарних порівнянь $\Xi_k, k = \overline{1, 4}$ для кожного експерта, в яких будуть знаходитись порівняльні оцінки елементів Y , $\Xi_k = \{\theta_{ij}^k | k = \overline{1, n}, i, j = \overline{1, 5}\}$.

Крок 2. Для констант матриці Ξ_k знаходимо власний вектор V_k , що відповідає максимальному власному числу $\lambda_{\max}^k, k = \overline{1, n}$.

Крок 3. Позначимо $\mu_{E_i}(Y_j)$ – число із $[0, 1]$, що вказує на оцінку пріоритетності фактора Y_j експертом $E_i, j = \overline{1, 5}, i = \overline{1, 4}, \mu_{E_i}(Y_j) = v_{ij}$. Тоді висновки експерта E_i подаємо як нечітку множину $\tilde{E}_i$, визначену на універсальній множині Y , тобто

$$\tilde{E}_i = \left\{ \frac{\mu_{E_i}(Y_1)}{Y_1}, \frac{\mu_{E_i}(Y_2)}{Y_2}, \frac{\mu_{E_i}(Y_3)}{Y_3}, \frac{\mu_{E_i}(Y_4)}{Y_4}, \frac{\mu_{E_i}(Y_5)}{Y_5} \right\}. \quad (5)$$

Крок 4. Оскільки оптимальним є розв'язок, який одночасно найкращий для усіх експертів, то, враховуючи положення теорії нечітких множин [9], знаходимо його як перетин часткових експертних висновків

$$\tilde{E} = \bigcap_{i=1}^n \tilde{E}_i = \left\{ \frac{\min_{i=1,n} \mu_{E_i}(Y_1)}{Y_1}, \frac{\min_{i=1,n} \mu_{E_i}(Y_2)}{Y_2}, \dots, \frac{\min_{i=1,n} \mu_{E_i}(Y_5)}{Y_5} \right\}. \quad (6)$$

Крок 5. Нормуючи значення, які знаходяться в чисельниках (6), одержимо об'єктивовані пріоритетності факторів, що впливають на техногенну безпеку житла.

Очевидно, що експерти, які беруть участь у процесі оцінювання пріоритетності факторів, мають різну компетентність і виникає необхідність її визначення. Існує багато підходів до розв'язання цієї задачі [10]. Найчастіше використовуються два з них. У першому випадку рішення про компетентність експертів приймає ОПР на основі наявної інформації з використанням, наприклад, методу аналізу ієрархій [8]. Якщо ж така інформація відсутня, то можна застосувати метод визначення компетентності експертів на основі аксіоми незміщеності [11]. Роль ОПР у другому випадку зводиться до формування тестових питань для експертів.

Оптимальний розв'язок у такому випадку знаходиться як перетин

$$\tilde{E} = \bigcap_{i=1}^n \tilde{E}_i = \left\{ \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{E_i}(Y_1))^{\alpha_i}}{Y_1}, \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{E_i}(Y_2))^{\alpha_i}}{Y_2}, \dots, \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{E_i}(Y_5))^{\alpha_i}}{Y_5} \right\}. \quad (7)$$

Експериментальна верифікація

Розглянемо особливості реалізації запропонованої технології. Припустимо, що експерт є один. Оскільки значення матриці Ξ задаються суб'єктивно, то існує значна ймовірність того, що вони будуть погано узгодженими. Тому експерт задає лише один рядок

матриці (у нашому випадку – перший), а елементи інших рядків розраховуються за формулою

$$a_{ij} = \frac{a_{1j}}{a_{1i}}, i, j, k = \overline{1, 5}. \quad (8)$$

Нехай матриця попарних порівнянь факторів є такою:

$$\Xi = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_k & Z_k & P_1^k & P_2^k & P_3^k \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_k \\ Z_k \\ P_1^k \\ P_2^k \\ P_3^k \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 1/9 & 1/8 \\ 2 & 1 & 2/3 & 2/9 & 1/4 \\ 3 & 3/2 & 1 & 1/3 & 3/8 \\ 9 & 9/2 & 3 & 1 & 9/8 \\ 8 & 4 & 8/3 & 8/9 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

Розв'язуючи задачу (4), одержимо вектор пріоритетів – (0,04; 0,08; 0,13; 0,39; 0,35). У випадку, коли висновки про важливість факторів робить група експертів, формуємо множину таблиць:

$$\Xi_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_k & Z_k & P_1^k & P_2^k & P_3^k \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_k \\ Z_k \\ P_1^k \\ P_2^k \\ P_3^k \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1/3 & 1/4 & 1/8 & 1/8 \\ 3 & 1 & 3/4 & 3/8 & 3/8 \\ 4 & 4/3 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 8 & 8/3 & 2 & 1 & 1 \\ 8 & 8/3 & 2 & 1 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$\Xi_2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_k & Z_k & P_1^k & P_2^k & P_3^k \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_k \\ Z_k \\ P_1^k \\ P_2^k \\ P_3^k \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1/4 & 1/4 & 1/8 & 1/9 \\ 4 & 1 & 1 & 1/2 & 4/9 \\ 4 & 1 & 1 & 1/2 & 4/9 \\ 8 & 2 & 2 & 1 & 8/9 \\ 9 & 9/4 & 9/4 & 9/8 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$\Xi_3 = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_k & Z_k & P_1^k & P_2^k & P_3^k \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_k \\ Z_k \\ P_1^k \\ P_2^k \\ P_3^k \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1 & 1/5 & 1/9 & 1/9 \\ 1 & 1 & 1/5 & 1/9 & 1/9 \\ 5 & 5 & 1 & 5/9 & 5/9 \\ 9 & 9 & 9/5 & 1 & 1 \\ 9 & 9 & 9/5 & 1 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$\Xi_4 = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_k & Z_k & P_1^k & P_2^k & P_3^k \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_k \\ Z_k \\ P_1^k \\ P_2^k \\ P_3^k \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 1/7 & 1/9 \\ 2 & 1 & 2/3 & 2/7 & 2/9 \\ 3 & 3/2 & 1 & 3/7 & 1/3 \\ 7 & 7/2 & 7/3 & 1 & 7/9 \\ 9 & 9/2 & 3 & 9/7 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

Після розрахунків одержимо:

$$V_1 = (0,04; 0,13; 0,17; 0,33; 0,33),$$

$$V_2 = (0,04; 0,02; 0,18; 0,36; 0,40),$$

$$V_3 = (0,04; 0,04; 0,20; 0,36; 0,36),$$

$$V_4 = (0,05; 0,09; 0,14; 0,32; 0,41).$$

Таким чином, експертні висновки можна записати як нечіткі множини:

$$\tilde{E}_1 = \left\{ \frac{0,04}{X_k}, \frac{0,13}{Z_k}, \frac{0,17}{P_1^k}, \frac{0,33}{P_2^k}, \frac{0,33}{P_3^k} \right\};$$

$$\tilde{E}_2 = \left\{ \frac{0,04}{X_k}, \frac{0,02}{Z_k}, \frac{0,18}{P_1^k}, \frac{0,36}{P_2^k}, \frac{0,40}{P_3^k} \right\};$$

$$\tilde{E}_3 = \left\{ \frac{0,04}{X_k}, \frac{0,04}{Z_k}, \frac{0,20}{P_1^k}, \frac{0,36}{P_2^k}, \frac{0,36}{P_3^k} \right\};$$

$$\tilde{E}_4 = \left\{ \frac{0,05}{X_k}, \frac{0,09}{Z_k}, \frac{0,14}{P_1^k}, \frac{0,32}{P_2^k}, \frac{0,41}{P_3^k} \right\};$$

Результатом є нечітка множина

$$\tilde{E} = \left\{ \frac{0,04}{X_k}, \frac{0,02}{Z_k}, \frac{0,14}{P_1^k}, \frac{0,32}{P_2^k}, \frac{0,33}{P_3^k} \right\}.$$

Остаточний результат після формування і є пріоритетами факторів:

$$V = (0,05; 0,02; 0,16; 0,38; 0,39).$$

Якщо припустити, що експерти мають компетентності, вказані у векторі $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = (0,2; 0,3; 0,4; 0,1)$, то нечіткі множини будуть такими:

$$E_1 = \left\{ \frac{0,04^{0,2}}{X_k}, \frac{0,13^{0,2}}{Z_k}, \frac{0,17^{0,2}}{P_1^k}, \frac{0,33^{0,2}}{P_2^k}, \frac{0,33^{0,2}}{P_3^k} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,53}{X_k}, \frac{0,66}{Z_k}, \frac{0,7}{P_1^k}, \frac{0,8}{P_2^k}, \frac{0,8}{P_3^k} \right\};$$

$$E_2 = \left\{ \frac{0,04^{0,3}}{X_k}, \frac{0,02^{0,3}}{Z_k}, \frac{0,18^{0,3}}{P_1^k}, \frac{0,36^{0,3}}{P_2^k}, \frac{0,4^{0,3}}{P_3^k} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,38}{X_k}, \frac{0,316}{Z_k}, \frac{0,6}{P_1^k}, \frac{0,74}{P_2^k}, \frac{0,76}{P_3^k} \right\};$$

$$E_3 = \left\{ \frac{0,04^{0,4}}{X_k}, \frac{0,04^{0,4}}{Z_k}, \frac{0,2^{0,4}}{P_1^k}, \frac{0,36^{0,4}}{P_2^k}, \frac{0,36^{0,4}}{P_3^k} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,28}{X_k}, \frac{0,28}{Z_k}, \frac{0,53}{P_1^k}, \frac{0,67}{P_2^k}, \frac{0,67}{P_3^k} \right\};$$

$$E_4 = \left\{ \frac{0,05^{0,1}}{X_k}, \frac{0,09^{0,1}}{Z_k}, \frac{0,14^{0,1}}{P_1^k}, \frac{0,32}{P_2^k}, \frac{0,43}{P_3^k} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,74}{X_k}, \frac{0,79}{Z_k}, \frac{0,82}{P_1^k}, \frac{0,89}{P_2^k}, \frac{0,91}{P_3^k} \right\}.$$

У результаті перетину множин $\tilde{E}_i, i = \overline{1,4}$, одержимо

$$\tilde{E} = \left\{ \frac{0,28}{X_k}, \frac{0,28}{Z_k}, \frac{0,53}{P_1^k}, \frac{0,67}{P_2^k}, \frac{0,67}{P_3^k} \right\},$$

або після нормування

$$E = \left\{ \frac{0,12}{X_k}, \frac{0,12}{Z_k}, \frac{0,22}{P_1^k}, \frac{0,28}{P_2^k}, \frac{0,28}{P_3^k} \right\}.$$

Таким чином, одержано вектор пріоритетів факторів $V = \{0,12; 0,12; 0,22; 0,28; 0,28\}$.

Результати експериментів вказують на значну дисперсію пріоритетів, визначених одним експертом, групою рівнокомпетентних експертів та експертів із різним рівнем компетентності. Зокрема, найбільш поляризованими є висновки одного експерта та групи експертів з однаковою компетентністю. Їх аналіз свідчить про розбіжність суджень про рівень впливу внутрішніх факторів та зовнішніх характеристик на стан техногенної безпеки житла у БПП. Разом із цим майже однаковим є їх висновки про значний вплив кількості травмованих на пожежах на рівень безпеки (у 2-3 рази більший, ніж вплив внутрішніх факторів та зовнішніх характеристик). І приблизно ще у три рази вплив ймовірності виникнення пожежі та ймовірності загинути на пожежі переважає вплив ймовірності бути травмованим.

Висновки і перспективи. Запропонована технологія та проведені експериментальні дослідження є важливим кроком до вдосконалення процесу інформаційно-аналітичного забезпечення суб'єктів ринку нерухомості у напрямку визначення рівня техногенної безпеки житла у БПП. Одержані результати дозволяють здійснювати кількісні порівняння якісних факторів, що впливають на рівень техногенної безпеки житла, та визначати домінуючі безпекові характеристики. Ще одним важливим наслідком розробленої технології є можливість об'єктивізації процесу побудови цільової функції, що визначає рівень техногенної безпеки у БПП. Змістовним висновком із експериментальних досліджень є збіжність значень пріоритетів факторів та характеристик до певних величин. Для окремих експертів такі величини мають екстремальний характер, але із збільшенням кількості експертів їх сумарні зважені оцінки вирівнюються, що свідчить про їх суб'єктивізм.

Запропонована технологія є важливим аспектом у створенні інформативних програмних продуктів, з допомогою яких можна визначити рівень техногенної безпеки житла у БПП та оптимальні шляхи його зниження. Її можна як конкретизувати для житла на окремих поверххах, так і узагальнити для усього будинку.

Список літератури

1. Джулай О. М. Еволюційні моделі та методи аналізу і оптимізації рівня пожежної безпеки житлових об'єктів: дис. канд. техн. наук: 05.13.06. Черкаси, 2006. 164 с.
2. Грубер И. Эконометрия. Введение в эконометрию. Киев: Алерта, 1996. Т. 1. 434 с.
3. Ивахненко А. Г. Юрачковский Ю. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. Москва: Радио и связь, 1996. Т. 1. 434 с.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Москва: Вильямс, 2006. 1104 с.
5. Мирошник О. М. Ієрархічно-індуктивне моделювання ідентифікації області компромісу між вартістю житла та рівнем його пожежної безпеки. *Вісник ВПІ*. 2009. № 3. С. 46–50.
6. Снитюк В. Є., Говорухін С. О. Технологія data mining і засоби її реалізації. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2002. № 3. С. 80–84.
7. Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі, методи, алгоритми. Київ: Mclaut, 2008. 363 с.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
9. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. Москва: Мир, 1976. С. 172–215.
10. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень. Київ: Mclaut, 2008. 444 с.
11. Снитюк В. Е., Рифат Мухаммед Али. Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы не-смещенности. *Вісник Черкаського інже-*

нерно-технологічного інституту. Серія: Технічні науки. 2000. № 4. С. 121–126.

References

1. July, A. M. (2006) Evolutionary models and methods for analysis and optimization of the level of fire safety of residential properties: thesis for Ph.D. in Engineering: 05.13.06. Gherkasy, 164 p. [in Ukrainian].
2. Gruber, I. (1996) Econometrics. Introduction in econometrics. Kiev: Alerta, Vol. 1, 434 p. [in Russian].
3. Ivakhnenko, A. G., Yurachkovsky, Yu. P. (1996) Modelling of complex systems by experimental data. Moscow: Radio i svyaz, Vol. 1, 434 p. [in Russian].
4. Khaikin, S. (2006) Neural networks: full course. Moscow: Williams, 1104 p. [in Russian].
5. Miroshnik, A. M. (2009) Hierarchically-inductive modelling for identifying of compromise area between the cost of housing and the level of its fire safety. *Visnyk VPI*, No. 3, pp. 46–50 [in Ukrainian].
6. Snityuk, V. Ye., Govorukhin, S. A. (2002) Data mining technology and tools for its implementation. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 80–84 [in Ukrainian].
7. Snityuk, V. Ye. (2008) Prediction. Models, methods, algorithms. Kyiv: Mclaut, 363 p. [in Ukrainian].
8. Saati, T. (1993) Decision-making. Hierarchy analysis method. Moscow: Radio i svyaz, 278 p. [in Russian].
9. Bellman, R., Zadeh, L. (1976) Decision-making in vague conditions. In: Issues of the analysis and decision-making. Moscow: Mir, pp. 172–215 [in Russian].
10. Gnatienko, G. M., Snityuk, V. Ye. (2008) Expert technologies of decision-making. Kyiv: Mclaut, 444 p. [in Ukrainian].
11. Snityuk, V. Ye., Rifat Mohammed Ali (2000) Models and methods of determining the competence of experts on the basis of the unbiasedness axiom. *Visnyk Cherkaskogo inzhenerno-tekhnologichnogo instytutu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 121–126 [in Russian].

O. M. Miroshnik, *Ph.D., associate professor,*
associate professor of the department of fire tactics and emergency-rescuer activities
e-mail: omiroshnik@ukr.net
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine
Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

TECHNOLOGY OF EXPERT DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL SECURITY OF HOUSING IN MULTI-STOREY BUILDINGS

The low awareness of the population about the level of technogenic security of housing in multi-storey buildings and, as a result, the inadequacy of its price and security characteristics determine the relevance of the development of technology and information-consulting support of the subjects of real estate market (construction and insurance companies, residents, firefighters). The determination of the level of technogenic safety is one of its important elements.

Existing approaches to the definition of the level of technogenic safety do not allow an objective assessment of the safety index for the inhabitants. They take into account the number of internal factors and external characteristics, and do not take into account the priorities of these factors, both empirically and analytically. Therefore, for the solution of this problem, the technology of expert determination of anthropogenic safety level is proposed.

The technology of expert determination of the level of technogenic safety is based on experts' conclusions. The competence of experts can be determined by the decision-maker or by the axiom of unboundedness. As a result, experts' conclusions obtained on the priority of factors will allow to identify the dependence on existing approaches and to establish an indicator of the level of technogenic security analytically.

The proposed technology and pilot studies are an important step towards improving the process of informational and analytical provision of real estate market subjects in the direction of determining the level of technogenic security of housing in multi-storey residential buildings.

The article deals with the problem of determining the level of technogenic security of housing in high-rise buildings. It is proposed to use the expert evaluation, elements of hierarchy analysis method and fuzzy set theory to determine the priority of the factors that influence on the security of housing and are arguments of corresponding target function. The peculiarities of individual and group expert evaluation are determined.

Key words: *level of technogenic security, emergency situation, expert evaluation.*

Наукове видання

ВІСНИК
Черкаського державного
технологічного університету

СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ
1 • 2018

VISNYK
Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu

SERIA: TEHNICHNI NAUKY
1 • 2018

Статті друкуються в авторській редакції.

Відповідальність за точність і коректність посилань та достовірність наукових результатів у публікаціях несуть автори. Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів. Матеріали друкуються з максимальним збереженням авторської стилістики та орфографії.

Комп'ютерна обробка Вознюк Т. І.
Коректура Костенко Т. В.

Видавець – Черкаський державний технологічний університет
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.

Виготівник – ФОП ГОРДІЄНКО Є.І.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції Серія ДК № 4518 від 04.04.2013 р.

Україна, 18000, м. Черкаси тел./факс: (0472) 56-56-12, (067) 444-28-94

e-mail: book.druk@gmail.com

Формат 60x84 1/8. Гарнітура Times New Roman.

Умовн. друк. арк. 16,28. Обл.-вид. арк. 17,61. Наклад 100 прим. Зам. № 18-050.